

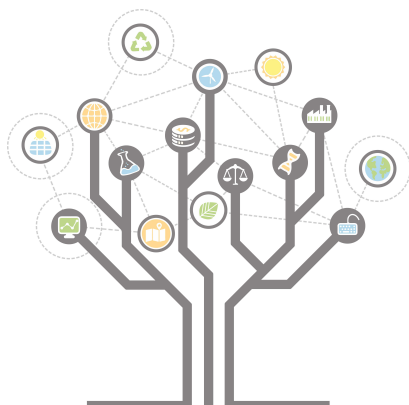
---

---

[illegible]

\_\_\_\_\_

---



---



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ANA LESIČAR

**ISPITIVANJE VLAČNIH SVOJSTAVA GEOSINTETIKA**

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2022.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva  
za 14. 07. 2022. u 9 sa  
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu  
Varaždin, 30. 06. 2022.

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva:

izr. prof. dr. sc. Saša Korac

### Članovi povjerenstva

- 1) izr. prof. dr. sc. Boris Kevur
- 2) prof. dr. sc. Stjepan Strelec
- 3) doc. dr. sc. Marija Gazdek

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

**ISPITIVANJE VLAČNIH SVOJSTAVA GEOSINTETIKA**

KANDIDAT:

ANA LESIČAR

*Ana Lesičar*

MENTOR:

Izv.prof.dr.sc. BORIS KAVUR

VARAŽDIN, 2022.

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

### Određivanje vlačnih svojstava geosintetika

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv.prof.dr.sc. Boris Kavur**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 20. 06. 2022.g.

ANA LESIČAR

(Ime i prezime)

Ana Lesičar

(Vlastoručni potpis)

## IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

ODREĐIVANJE VLAČNIH SVOJSTAVA GEOSINTETIKA

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 20. 06. 2022.

izv. prof. dr. sc. BORIS KAVUR  
(Mentor)

B. Kavur  
(Vlastoručni potpis)

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru izv.prof.dr.sc. Borisu Kavuru na iskazanom povjerenju, vodstvu i korisnim savjetima kojima mi je pomogao tijekom izrade ovog rada, i što je uvijek imao strpljenja i vremena za moje upite.

Zahvaljujem se svim profesorima i asistentima sa smjera Geoinženjerstvo okoliša na suradnji i stečenim znanjima.

Zahvaljujem se svojoj obitelji posebno svojim roditeljima na strpljenju, moralnoj podršci i potpori, te povjerenju koje su mi ukazali tijekom studija.

I na kraju, najveća zahvala ide mojem Karlu, koji je uvijek tu uz mene, bez čije podrške i ljubavi nijedan moj uspjeh koji sam postigla ne bi bio moguć.

Hvala!

## SAŽETAK

**Ime i prezime:** Ana Lesičar

**Naslov rada:** Ispitivanje vlačnih svojstava geosintetika

U radu su opisani geosintetici i njihova svojstva. Istraživanje u okviru teme diplomskog rada provedeno je na uzorcima geotekstila i geomreže.

U prvom dijelu rada analizirano je ponašanje netkanog geotekstila u vlačnim ispitivanjima obavljenim prema normi HRN EN ISO 10319. Uzorci geotekstila poznatog i renomiranog europskog proizvođača uzorkovani su u okviru kontrolnih ispitivanja vlačnih svojstava prema navedenoj normi. Obradeno je 17 ispitivanja istog tipa proizvoda korištenog pri geotehničkim zahvatima u R. Hrvatskoj tijekom perioda od 1,5 godine u kojem proizvođač nije mijenjao tehničke specifikacije ispitivanog proizvoda. Vlačna ispitivanja su obavljena orijentacijom uzorka uzdužno, poprečno i dijagonalno u odnosu na smjer proizvodnje. U svakom smjeru ispitano je po 5 ispitnih uzoraka. Rezultati ispitivanja su ovdje prikazani i statistički analizirani.

U drugom dijelu rada istraživana je mogućnost primjene ispitnog postupka EOTA TR 41, koji je razvijen za vlačno ispitivanje troosnih geomreža, za dvoosne mreže koje se standardno ispituju prema normi HRN EN ISO 10319 u smjeru proizvodnje (MD) i okomito na smjer proizvodnje (CMD). Hipoteza ovog istraživanja bila je da se ispitivanje dvoosne geomreže može obaviti u raznim smjerovima tako da se ispitni uzorak ugradi u kidalicu s odgovarajućom orijentacijom. Dvoosna geomreža od poznatog i renomiranog proizvođača podvrgnuta je tako ispitivanjima vlačnih svojstava u kojima je kut između osi proizvodnje i smjera ispitivanja bio: 0°, 30°, 45°, 60° i 90°. U radu su prikazane i analizirane dobivene vlačne čvrstoće pri deformacijama 0.5, 1 i 2 %, te maksimalne vlačne čvrstoće za svaki smjer.

**Ključne riječi:** geosintetici, vlačna svojstva, geomreža, geotekstil

## **ABSTRACT**

**Name and surname:** Ana Lesičar

**Title:** Determination of tensile properties of geosynthetics

The paper describes geosynthetics and their properties. The research, within the topic of the diploma thesis, was conducted on samples of geotextiles and geogrid.

The first part of the paper analyses the behavior of nonwoven geotextiles in tensile tests performed according to the standard HRN EN ISO 10319. Several samples of geotextiles from a well-known and reputable European manufacturer were sampled as part of control tests of tensile properties according to the specified standard. Seventeen tests of the same type of product were processed. This product was used in geotechnical projects in Croatia during a period of 1,5 years in which the manufacturer did not change the technical specifications of the tested product. Tensile tests were performed by orienting samples longitudinally, transversely and diagonally in relation to the direction of production. In each direction 5 test samples were tested. The test results are presented and statistically analyzed here.

The second part of the paper investigates the possibility of applying the EOTA TR 41 test procedure, which is originally developed for triaxial geogrids, for biaxial geogrid that is usually tested according to HRN EN ISO 10319 in the direction of production (MD, machine direction) and perpendicularly to it (CMD, cross-machine direction). The hypothesis of this research was that the testing of a biaxial geogrid can be performed in various directions by fitting the test sample into jaws with the appropriate orientation. The biaxial geogrid from a well-known and renowned manufacturer was subjected to tensile tests in which the angle between the production axis and the test direction was: 0°, 30°, 45°, 60° and 90°. This paper presents and analyzes the obtained tensile strengths at deformations of 0.5, 1 and 2%, and the maximum tensile strengths for each direction.

**Key words:** geosynthetics, tensile properties, geogrid, geotextile

## Sadržaj

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD .....                                       | 1  |
| 2. GEOSINTETICI .....                               | 2  |
| 2.1. Geotekstil .....                               | 4  |
| 2.2. Geomreže .....                                 | 8  |
| 3. MATERIJALI I METODE .....                        | 11 |
| 3.1. Materijali .....                               | 11 |
| 3.1.1. Netkani geotekstil .....                     | 11 |
| 3.1.2. Dvoosna geomreža.....                        | 12 |
| 3.2. Metode.....                                    | 12 |
| 3.2.1. HRN EN ISO 10319 .....                       | 12 |
| 3.2.2. EOTA TR 41 .....                             | 15 |
| 4. REZULTATI ISPITIVANJA I ANALIZA .....            | 18 |
| 4.1. Ispitivanja netkanog geotekstila .....         | 18 |
| 4.2. Ispitivanja dvoosne geomreže .....             | 30 |
| 5. ZAKLJUČAK.....                                   | 38 |
| Literatura.....                                     | 40 |
| Popis slika .....                                   | 42 |
| Popis tablica.....                                  | 44 |
| Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu ..... | 45 |

# 1. UVOD

Prije oko 50 godina, prva generacija geosintetika zauzela je svoje mjesto u geotehničkom i hidrotehničkom inženjerstvu. Danas se geosintetik klasificira kao neovisni građevinski materijal zbog njegove raznolikosti i specifičnih svojstava. Postoje geotekstili, geomreže, geomembrane, geopletiva, bentonitni tepisi, geocijevi, geokompoziti i srodni proizvodi, a omogućuju tehnički jednostavna, jeftina i alternativna rješenja.

Geosintetici su građevni proizvodi koji se proizvode od sintetičkih polimera odnosno sadržavaju ga u barem jednom svom dijelu, a koriste se u tlu i drugim materijalima pri geotehničkim, hidrotehničkim i ostalim građevinskim i ekološkim zahvatima. [1]

Mnoge se geotehničke primjene danas ne mogu zamisliti bez geosintetika. Najčešća primjena geosintetika je kod izvedbe prometnica, hidrotehničkih građevina, mostova, zaštite okoliša i sličnih izvedbi.

U ovom radu analizirat će se ponašanje dva tipa geosintetika: netkanog geotekstila i dvoosne geomreže u vlačnim ispitivanjima koja su provedena u okviru kontrole kvalitete navedenih proizvoda.

## 2. GEOSINTETICI

Geosintetici su sintetički materijali neophodni u suvremenom građevinarstvu proizvedeni od polietilena, polipropilenskog polimera ili ugljikovodičnih lanaca koji se koriste za širok spektar inženjerske primjene, najčešće kod stabilizacije terena. Njihova visoka kvaliteta, brza ugradnja i ekonomska vrijednost čine geosintetik izvrsnim rješenjem za primjenu u tlu, stijeni ili drugim primjenama povezanim s geotehničkim inženjerstvom. Isplativa su alternativa drugim skupim metodama stabilizacije kao što su odvodnjavanje, iskop i zamjena pomoću kemijske stabilizacije. Geosintetici imaju širok spektar primjene, a najčešće se koriste u geotehnici, građevinarstvu uključujući izgradnju cesta, željezničkih pruga te ostalu infrastrukturu, stabilizaciju terena, izgradnju brana, nasipa, za kontrolu odnosno prevenciju erozije, kod izgradnje odlagališta otpada te mnogim drugim područjima.

Geosintetički materijali imaju pet osnovnih funkcija u zahvatima u građevinarstvu:

- odvajanje,
- ojačanje tla (stabilizacija – poboljšanje nosivosti i stabilnosti),
- filtriranje i dreniranje,
- zaštita pokosa od erozije,
- osiguranje vodonepropusnosti (brtvljenje). [2]

Odvajanje podrazumijeva korištenje geosintetičkog materijala u vidu folije koji tako razdvaja dva sloja tla koji se značajno razlikuju po svom granulometrijskom sastavu, čvrstoći i krutosti. Na taj način se osigurava njihov integritet i povoljno mehaničko ponašanje.

Ojačanje se poduzima kao nužna mjera u svim situacijama kada tlo ima nedovoljnu nosivost odnosno čvrstoću kako bi se spriječio slom i velike posmične deformacije tla.

Funkcije filtriranja i dreniranja koje može obaviti odgovarajući geosintetik imaju različite definicije. Pod funkcijom filtriranja se podrazumijeva vodopropusnost geosintetika okomito na njegovu površinu koju nazivamo permitivnost. Pri odgovarajućoj permitivnosti geosintetik treba spriječiti iznošenje sitnih čestica (eroziju) strujnom silom procjeđivanja vode iz sloja sitnozrnatog u sloj krupnozrnatog materijala.

Pod funkcijom dreniranja se pak podrazumijeva vodopropusnost geosintetika u njegovoj ravnini koju nazivamo transmisivnost.

Zaštita od erozije koja nastaje djelovanjem tekuće vode i vjetrova po površini tla ili pokosa danas se uspješno postiže oblaganjem ugroženih površina različitim geosintetičkim proizvodima.

Brtvljenjem se podrazumijeva funkcija sprječavanja procjeđivanja vode s otopljenim tvarima kroz propusne, porozne slojeve tla kojima se propusnost značajno smanjuje ugradnjom odgovarajućeg geosintetika kao npr. bentonitnog tepiha i/ili geomembrane.

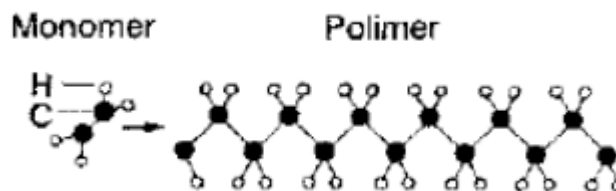
Na tržištu se danas pojavljuju brojni geosintetički proizvodi koji mogu obavljati samo neku ili više prethodno nabrojenih funkcija pa tako razlikujemo: geotekstile, geomreže, geomembrane, geocijevi, geopletiva, geomembrane i bentonitne tepihe.

Nagli razvoj geosintetika i njihovo dobro prihvaćanje na tržištu su posljedica:

- ubrzanog onečišćenja okoliša i rastuće svijesti ljudi o posljedicama nebrige za okoliš po njihovu zdravlje i ugrozu vlastitog opstanka na Zemlji,
- razvoja znanosti, suvremenih tehnologija i novih materijala, te uvođenja niza novih zakona iz domene zaštite okoliša.

Raširenost geosintetika je s jedne strane posljedica njihove niske nabavne cijene koja proizlazi iz masovne industrijske proizvodnje, a s druge strane to je i posljedica prednosti koje gradnja upotrebom geosintetika donosi u odnosu na tradicionalnu, koja uključuje samo prirodne, zemljane materijale. Proces gradnje s geosinteticima omogućuje primjenu boljih, sigurnijih i trajnijih projektnih rješenja. Gradnja konstrukcija u tlu i od tla u kombinaciji s geosinteticima je znatno brža, racionalnija i efikasnija, te manje uvjetovana povoljnim vremenskim prilikama. Osim toga, industrijski materijali za razliku od prirodnih imaju tvornički kontrolirana i predvidiva svojstva koja se prema potrebama inženjerske konstrukcije mogu birati i prilagoditi sukladno potrebama.

Kao osnovni materijali - sirovine za proizvodnju geosintetika upotrebljavaju se polimerni materijali, čiji je glavni izvor petrokemijska industrija. Ti su materijali sastavljeni od vrlo velikih molekula (makromolekula) koje se pak sastoje od brojnih malih jedinica, sličnog oblika, takozvanih monomera. Da bi se monomeri mogli povezati u makromolekule te tako stvoriti polimere, moraju proći kroz proces polimerizacije. Taj je proces (povezivanje) shematski prikazan na slici 1. [3] [4]



Slika 1. Povezivanje polietilenskih monomera u makromolekulu (polimerizacija) [6]

Polimeri, kao sirovina, imaju oblik praha ili zrnaca, a proizvode ih posebne kemijske industrije. Postoje tri glavne skupine polimernih materijala: termoplastici, termosetici i elastomeri. Njihova svojstva ovise o njihovoj građi, ali zajedničko im je svojstvo osjetljivost prema temperaturi. Zagrijavanje omogućuje njihovo oblikovanje ili posebno strukturiranje. [4] [5]

## 2.1. Geotekstil

Geotekstili se uglavnom izrađuju od polipropilena, polietilena ili polietilen tereftalata. Kod proizvodnje polipropilena i polietilena vremenom su se dogodili značajni napredci u procesu polimerizacije.

Geotekstili su zapravo prvi geosintetički proizvodi koji su se na tržištu pojavili početkom 1960-ih. Prije toga, inženjerski tekstil, također nazvan inženjerskim tkaninama uglavnom se izrađivao od prirodnih materijala kao što su trava, lan, bambus i juta. Iako su prirodni materijali i dalje dostupni, velika većina geotekstila proizvedena je danas od industrijskih polimera.

Geotekstili se koriste prvenstveno za funkcije odvajanja, filtriranja, dreniranja i ojačanja.

Danas nalazimo tri glavne vrste geotekstila, koje su definirane postupcima koji se koriste u njihovoj proizvodnji:

- netkani,
- tkani,
- pleteni.

Netkani materijali predstavljaju najčešće korištenu skupinu geotekstila zbog širokog spektra primjene.

Bez tkanja tekstili se proizvode mehaničkim, termičkim ili kemijskim povezivanjem diskontinuiranih ili pak kontinuiranih vlakana. Vlakna formiraju slojeve, pri čemu se ne primjenjuje pletenje ili tkanje. Ovisno o vrsti vlakna koja izgrađuju tkaninu, proizvodnja se razlikuje u slučaju primjene dugih vlakana, koja zovemo filamentima, ili pak kratkih vlakana, koja se nazivaju stapel. [6]

Dakle, prema tipu vlakana razlikujemo netkane geotekstile od:

- kratkih vlakana,
- kontinuiranih vlakana.

Netkani geotekstili od kratkih vlakana dobivaju se postupkom koji uključuje dvije faze. U prvoj fazi, istisnuta polimerna nit se sječe i balira. U drugoj fazi proizvodnje, bale se otvaraju i miješaju u cilju proizvodnje geotekstila. Niti se povezuju mehaničkim, kemijskim ili toplinskim načinom. Ovako nastaje široki asortiman geotekstila sa velikim rasponom mase po jedinici površine.

Netkani geotekstili od kontinuiranih vlakana dobivaju se jednofaznim, učinkovitim i vrlo jeftinim postupkom iz polimernih peleta.

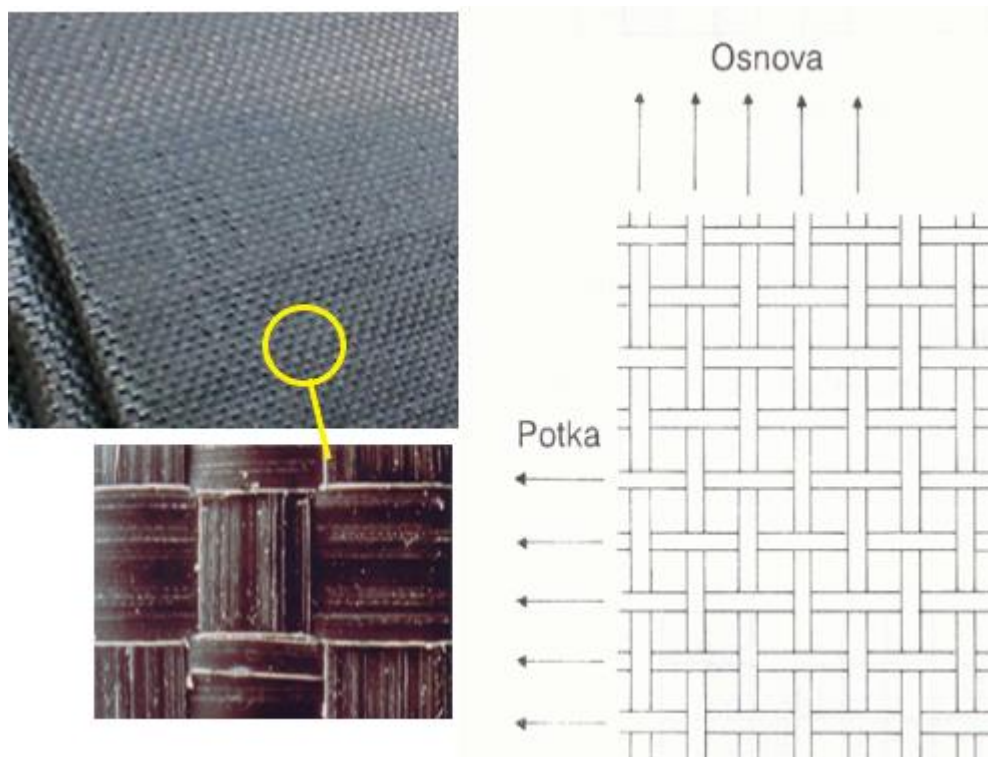
Tkani geotekstili se rjeđe koriste za razliku od netkanih. Pleteni geotekstili imaju vrlo specifične primjene u kojima se zahtijevaju neka svojstva koja pak ne mogu zadovoljiti tkani ili netkani. Nadalje, na tržištu se pojavljuju i novi proizvodi kao kombinacija različitih materijala ili pak u kombinaciji s drugim geosintetičkim proizvodima kao tzv. višeslojni kompoziti.

Fizička svojstva geotekstila odražavaju sirovine i proizvodne procese koji se koriste za njihovu proizvodnju. Fizička svojstva pomažu u prepoznavanju i razlikovanju različitih vrsta geotekstila. Fizička svojstva uključuju specifičnu težinu, masu po jedinici površine, debljinu, molekularnu težinu, toplinska svojstva i krutost. Budući da postoje četiri različita sintetička vlakna i prirodni materijali koji se koriste za izradu geotekstila, dvije osnovne vrste geotekstila s nekoliko varijacija i mnoštvo različitih funkcija, fizikalna svojstva uvelike se razlikuju od jednog do drugog geotekstila.

Tkani i netkani geotekstili izrađeni su od četiri polimerna materijala (poliamid, poliestar, polietilen i polipropilen) i prirodnih materijala. Tkani geotekstili mogu se izrađivati s monofilamentnim pređama, višefilamentnim pređama ili njihovom kombinacijom. Netkani geotekstil vezan je jednom od nekoliko metoda: toplinskom,

mehaničkom ili kemijskom. Uz brojne kombinacije materijala i procesa, nije teško vidjeti da će se fizička svojstva geotekstila uvelike razlikovati među proizvodima.

Tkani su tekstili načinjeni od dva ili više nizova vlakana. Postupak se tkanja sastoji u tome da se isprepleću nizovi niti u međusobno okomitom položaju. Niz niti koji ide uzdužno (u smjeru proizvodnje) zove se osnova, a niz niti okomitih na taj smjer, potka slika 2. [3] [4]



Slika 2. Niti osnove i potke u tkanom geotekstilu [6]

Tkanje se obavlja posebnim strojevima koji mogu proizvoditi razne vrste geotekstila.

Niti osnove i potke u tkanom tekstu mogu biti položene i istkane na razne načine.

Način na koji su položene niti zove se vez. [3] [4]

Važno je razumjeti primjenu namijenjenu geotekstilu. To uključuje odvajanje, filtriranje, ojačanje i odvodnju. Neka fizička svojstva geotekstila nisu bitna za određene primjene, dok su druga apsolutno presudna za njihovu namjeravanu uporabu. Na primjer, toplinska svojstva geotekstila možda neće imati značaja u primjeni u odlagalištima otpada gdje je ojačanje primarna funkcija geotekstila. Međutim, u ovom su slučaju debljina i masa po jedinici površine kontrolni parametri. [7]

Funkcija ojačanja sloja tla uložnim geotekstilom se često koristi u geotehničkom inženjerstvu. Vlačna čvrstoća i površinsko trenje najvažnija su mehanička svojstva

geotekstila koji se koristi za ojačanje tla. Tlo praktično nema čvrstoće na vlačna opterećenja ili je ona jako mala. Stabilnost sloja tla može se postići umetanjem odgovarajućeg geotekstila u smjeru djelovanja vlačnih sila. Tlo vlastitim trenjem omogućuje prijenos vlačnih sila na geotekstil i iskorištava njegovu vlačnu čvrstoću. Da bi ojačanje tla geotekstilom bilo učinkovito potrebna je odgovarajuća vlačna čvrstoća i krutost geotekstila. Polimeri koji se koriste za proizvodnju geotekstila s primarnom funkcijom ojačanja trebaju biti otporni na postupnu promjenu vlačnih svojstava starenjem odnosno ne pokazivati značajnije puzanje (povećanje deformacije pod konstantnim opterećenjem) tijekom čitavog životnog vijeka proizvoda. [8]



Slika 3. Različite vrste geotekstila [9]

Geotekstil položen u tlo poboljšava koheziju između zrna i nastali kompozit može podnijeti veća opterećenja i vlačne ili posmične sile. Kako bi se spriječilo prekomjerne posmične deformacije kompozit koji čini tlo s položenim geotekstilom mora imati odgovarajuću krutost kako bi se vlačna čvrstoća geotekstila aktivirala pri dovoljno malim deformacijama. Tkani geotekstili koriste se za ojačanje nasipa i potpornih konstrukcija, jer pružaju visoku čvrstoću pri malim deformacijama. [8]

Za funkciju ojačanja uglavnom se koriste geotekstili proizvedeni od PP ili PET materijala. Za primjene gdje se traže vrlo visoke čvrstoće (npr. 400 kN/m), koriste se filamenti od kevlar, staklenih ili bazaltnih vlakana. PET filamenti imaju dobar omjer

čvrstoće i cijene geosintetika. PP se ne može uvijek koristiti jer je osjetljiv na kemijski napad u kiselim sredinama. PP je otporniji na kemijsku razgradnju, ali su njegove dugotrajne karakteristike puzanja puno lošije od PET-a. Općenito, PET je prikladniji za geotekstile koji imaju funkciju ojačanja, a PP za manje kritične primjene. [8]

Geotekstili se vrlo često koriste u funkciji filtracije. Za funkciju filtracije geotekstil mora ispuniti određene preduvjete kako bi funkcionirao kao učinkovit filter. Dobar filter treba omogućiti vodi prolazak bez značajnijeg hidrauličkog otpora, a čestice tla trebaju njime biti zadržane. [8]

Začepljenje filtra može se spriječiti ako je veći dio pora u filtru dovoljno velik da omogući prolazak manjih čestica tla. Odgovarajući protok kroz geotekstil osiguran je prisutnošću dovoljnog broja velikih pora u njegovoj strukturi, a međuodnos između dimenzije protoka pri prolasku odgovarajućeg volumena tekućine kroz filter i njegove učinkovitosti u svrhu filtracije osiguravaju se filterskim pravilom. [8]

## 2.2. Geomreže

Geomreže su geosintetski materijali koji se koriste za ojačavanje i poboljšavanje čvrstoće tla i sličnih materijala. Najčešće se koriste za ojačavanje potpornih konstrukcija građenih od tla, pri gradnji cesta ili nasutih građevina. Za razliku od tla, geomreže mogu preuzeti vlačna naprezanja u konstrukciji.

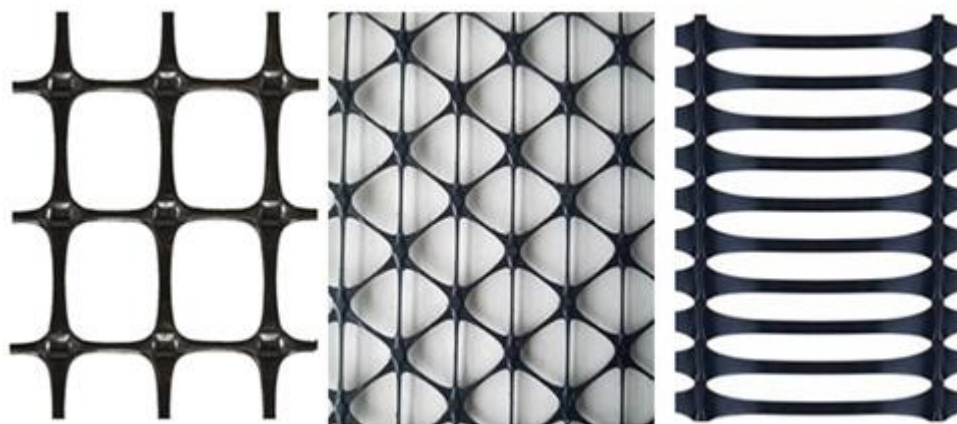


Slika 4. Priprema dvoosne geomreže za ispitivanje vlačnih svojstava

Geomreže su obično izrađene od polimernih materijala, poput poliestera, polietilena ili polipropilena. Mogu biti tkane ili pletene od pređe, toplinski zavarene ili proizvedene probijanjem otvora na folijama materijala, koje se potom razvlače u toplom stanju kako bi se dobila mreža pravilno raspoređenih otvora. Razvoj metoda pripreme relativno krutih polimernih materijala istezanjem, u smislu "hladnog rada", povećao je mogućnost da se takvi materijali mogu koristiti za funkciju ojačavanja tla za potporne konstrukcije, kolničke konstrukcije i temeljna tla.

Za uspješnu funkciju ojačanja zrnatog tla geomrežom nužno je da veličina otvora mreže bude odgovarajuća s obzirom na veličinu i oblik pojedinačnih zrna tla odnosno da otvor omogući dobro uglavljivanje zrna pri čemu naravno zrna ne smiju biti ni prevelika ni premala u odnosu na njega.

Veličina i oblik otvora mreže treba omogućiti dobro međusobno uklještenje zrna, kako bi geomreža mogla stupiti u funkciju već pri malim razinama posmičnih deformacija u tlu. Pri tome je bitna čvrstoća rebara mreže, ali isto tako je važna i čvrstoća čvorova. Čvor je mjesto spoja dva ili više rebara.



Slika 5. Različite vrste geomreža (a) dvoosna geomreža, (b) troosna geomreža, (c) jednoosna geomreža [10]

Trenutno postoje tri tipa geomreža. Prvi tip predstavljaju mreže dobivene bušenjem otvora i razvlačenjem u pravilnu mrežu. Drugi tip predstavljaju fleksibilnije geomreže nalik tekstilu koje koriste snopove poliesterskih vlakana presvučenih polietilenom. U ovom procesu stotine neprekidnih vlakana okupljaju se zajedno i čine pređe koje su utkane u uzdužna i poprečna rebra s velikim otvorenim prostorima. Čvorovi se spajaju pletenjem ili ispreplitanjem prije nego što je cijela jedinica zaštićena naknadnim premazom. Treći tip predstavljaju geomreže izrađene laserskim ili ultrazvučnim spajanjem poliesterskih ili polipropilenskih šipki ili traka u obliku mreže.

### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Materijali

Za proizvodnju sintetičkih vlakana i tkanina mogu se koristiti razni polimeri, uključujući poliamide (najlon-66, najlon-6 i najlon 46), poliakrilonitril, polivinil alkohol, polietilen naftalen, polipropilen (PP), polietilen (PE) i polietilen tereftalat (PET), i još mnogi drugi. Međutim, za proizvodnju geotekstila su PP, PE i PET vrste polimera koji se koriste u velikoj većini slučajeva. Od njih je PP dominantni polimer koji se koristi na tržištu geotekstila (tablica 1.).

Tablica 1. Vrste polimera koji se koriste za proizvodnju geotekstila [11]

| Geosintetik | Vrsta polimera              | Procijenjeni postotak u upotrebi |
|-------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Geotekstil  | Polipropilen – PP           | 90%                              |
|             | Polietilen – PE             | 5%                               |
|             | Polietilen teraftalen – PET | 5%                               |

##### 3.1.1. Netkani geotekstil

Za analizu vlačnih svojstava geotekstila u ovom radu odabran je netkani tip. Najčešće korištena skupina geotekstila u geotehničkim projektima bez sumnje je ona od netkanog geotekstila. Ova vrsta geotekstila pojavljuje se u obliku mreže ili filca nastalog od vlakana ili od niti.

Netkani geotekstili su geotekstili koji se proizvode bez upotrebe postupka tkanja. Vlakna se međusobno izravno vežu mehaničkim, termičkim ili kemijskim postupkom vezivanja. Moguća je i kombinacija različitih metoda lijepljenja.

Geotekstil čija su vlačna ispitivanja ovdje analizirana proizveden je od mehanički povezanih beskonačnih vlakana polipropilena koji je odgovarajuće stabiliziran kako bi se povećala njegova otpornost na štetni utjecaj UV zračenja. Prema uputama

proizvođača navedeni proizvod je namijenjen za funkcije filtracije i odvajanja različitih materijala u geotehničkim i hidrotehničkim projektima.

### 3.1.2. Dvoosna geomreža

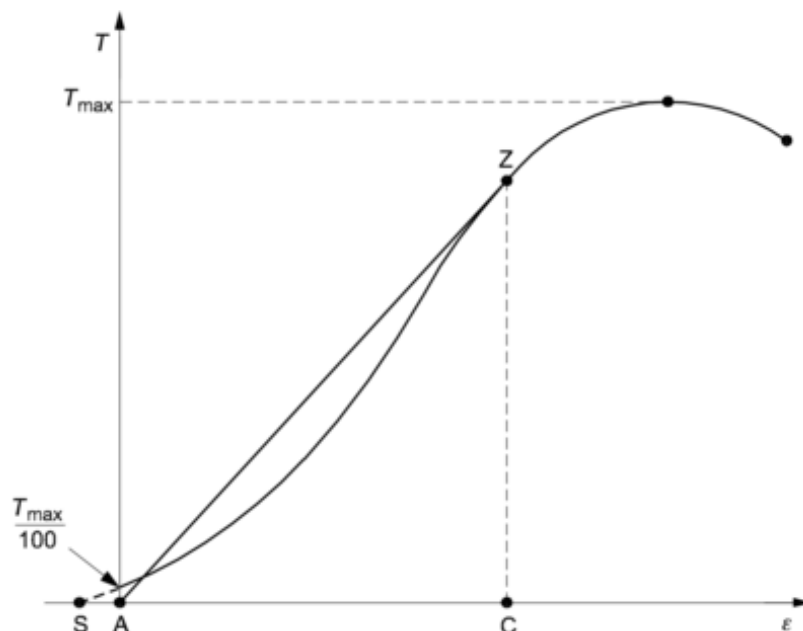
Za analizu vlačnih svojstava geomreža u ovom radu je odabrana dvoosna geomreža koja je proizvedena od polimernih traka, koje su postavljene u uzdužnom i poprečnom smjeru te kemijskim načinom povezane, kako bi se dobila odgovarajuća čvrstoća i krutost mreže za primjenu u tlu.

## 3.2. Metode

### 3.2.1. HRN EN ISO 10319

Ispitivanje vlačnih svojstava predmetnog netkanog geotekstila obavljeno je prema metodi opisanoj u normi HRN EN ISO 10319 [12] koja podrazumijeva ispitivanje vlačne čvrstoće na širokim trakama. Metoda je primjenjiva na većinu geosintetika, uključujući tkani geotekstil, netkani geotekstil, geokompozite, pleteni geotekstil i metalne proizvode. Metoda se također može primijeniti na geomreže [13] i slične geotekstile otvorene strukture, ali dimenzije uzoraka će možda trebati prilagoditi. Ne primjenjuje se na polimerne ili bitumenske geosintetičke barijere, ali se primjenjuje na glinene geosintetičke barijere koje kolokvijalno nazivamo bentonitnim tepisima i koriste se za sve situacije kada je potrebno osigurati nisku vodopropusnost okomito na ravninu tepiha.

Norma EN ISO 10319 specificira metodu ispitivanja vlačne čvrstoće koja obuhvaća mjerenje karakteristika istezanja uzorka u vlačnom opterećenju i uključuje postupke za izračun sekantne krutosti, maksimalnog opterećenja po jedinici širine i deformacije pri maksimalnom opterećenju. Normom su također definirane posebne točke na krivulji odnosa naprezanja i deformacije uzorka. Postupci za mjerenje vlačnih svojstava kondicioniranih i vlažnih uzoraka uključeni su u EN ISO 10319.



Slika 6. Opterećenje po jedinici širine/krivulja deformacije [12]

Pri ispitivanju vlačne čvrstoće i svojstava istezanja geotekstila, svaki se ispitni uzorak prihvaća čeljustima kidalice u cijeloj širini od 200 mm u stezaljke ili čeljusti stroja za ispitivanje vlačne čvrstoće koji radi pri konstantnoj brzini pomaka, a vlačna sila primjenjuje se na ispitni uzorak sve dok uzorak ne pukne. Vlačna svojstva ispitnog uzorka izračunavaju se i bilježe automatski hardware-om i software-om kidalice u realnom vremenu. Brzina ispitivanja odnosno deformacije uzorka održava se tijekom ispitivanja unutar raspona  $(20 \pm 5)$  % početne nominalne duljine uzorka po minuti.

Osnovna razlika između ove metode i drugih metoda za ispitivanje vlačnih svojstava materijala je širina uzorka. U ovoj metodi, širina je veća od duljine uzorka, jer neki geosintetici imaju tendenciju skupljanja pod opterećenjem u području duljine mjerača. Veća širina smanjuje učinak skupljanja takvih geotekstila i osigurava bliži odnos očekivanom ponašanju geotekstila na terenu, kao i standard za usporedbu geosintetika. Kad su potrebne informacije o naprezanju odnosno deformaciji, mjerenja istezanja uzorka se izводе pomoću odgovarajućeg mehaničkog ili prikladnog ekstenzometra, koji prati pomake dviju referentnih točaka na uzorku. Ove referentne točke nalaze se na osi simetrije uzorka i nalaze se na razmaku od 60 mm odnosno 30 mm sa svake strane od sredine uzorka. Razmak ovih točaka se prema potrebi može prilagoditi za geomreže kako bi se unutar njega uključio barem jedan red čvorova.

Vlačno ispitivanje je obavljeno u ispitnom uređaju koji se kolokvijalno naziva kidalicom. Ovakva ispitivanja se uvijek trebaju uskladiti i sa uvjetima koje propisuje

međunarodna norma ISO 7500-1, odnosno kidalica treba biti umjerena u skladu s tom normom.

Tijekom ispitivanja u kidalici, vlačno opterećenje postupno raste konstantnom brzinom. Ispitivanje geotekstila i sličnih proizvoda vrši se na uzorku širine barem 200 mm ili veće, a duljina uzorka je 100 mm, ne računajući dijelove uzorka obuhvaćene čeljustima. Ispitivanje treba obaviti na ispitnim uzorcima koji se pripremaju iz materijala koji je podvrgnut ispitivanju. Ispitni uzorci se u kidalici orijentiraju u dva okomita smjera, od kojih je prvi smjer proizvodnje geosintetika ( $0^\circ$ , MD - eng. machine direction), a drugi na njega okomit ( $90^\circ$ , CMD – engl. cross-machine direction) tj. postavljen poprečno na smjer proizvodnje.



Slika 7. Kidalica proizvođača Zwick/Roell Z100

Vlačna čvrstoća ( $\alpha_f$ ) uzorka, izražena u kN/m, određuje se iz rezultata ispitivanja prema izrazu:  $\alpha_f = F_f \cdot c$  (1), gdje je  $F_f$  zabilježena maksimalna sila, izražena u kN, a  $c$  za slučaj ispitivanja geotekstila i sličnih materijala zatvorene strukture predstavlja kvocijent  $1/B$ , gdje je  $B$  širina uzorka u metrima.

Za slučaj ispitivanja geomreža,  $c$  predstavlja omjer minimalnog broja vlačnih elemenata u 1 m širine geomreže ( $N_m$ ) i broja vlačnih elemenata uključenih u ispitni uzorak ( $N_s$ ).

Sekantna čvrstoća uzorka se određuje prema izrazu:

$$J_{\text{sec}} = (F_c \cdot 100) / \varepsilon \quad (3)$$

gdje je  $F_c$  ispitivanjem određena sila pri deformaciji  $\varepsilon$  izraženoj u postotku, a  $c$  odgovarajuća vrijednost, ovisno o tipu geosintetika (geotekstil ili geomreža), izračunata korištenjem izraza. [12]

### 3.2.2. EOTA TR 41

Ispitivanje vlačnih svojstava predmetne dvoosne geomreže obavljeno je prema metodi opisanoj u tehničkom izvješću EOTA TR 41 [14] [15] s manjom modifikacijom koja se sastojala u uvođenju dodatnog smjera ispitivanja. Dakle, dodatno na smjerove ispitivanja koje predviđa navedeno izvješće ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ), geomreža je ispitana i orijentacijom uzorka  $45^\circ$  u odnosu na smjer proizvodnje ( $0^\circ$ ).

Navedeno tehničko izvješće namijenjeno je isključivo za ispitivanje troosnih geomreža u specificiranim smjerovima koji odgovaraju pravilnoj mreži jednakostraničnih trokuta koje tvori takva troosna mreža.

U ovom radu je postavljena hipoteza da je ispitivanje dvoosne geomreže moguće također provesti prema navedenom tehničkom izvješću kako bi se odredila vlačna svojstva u smjerovima koji nisu uobičajeni za takve mreže.

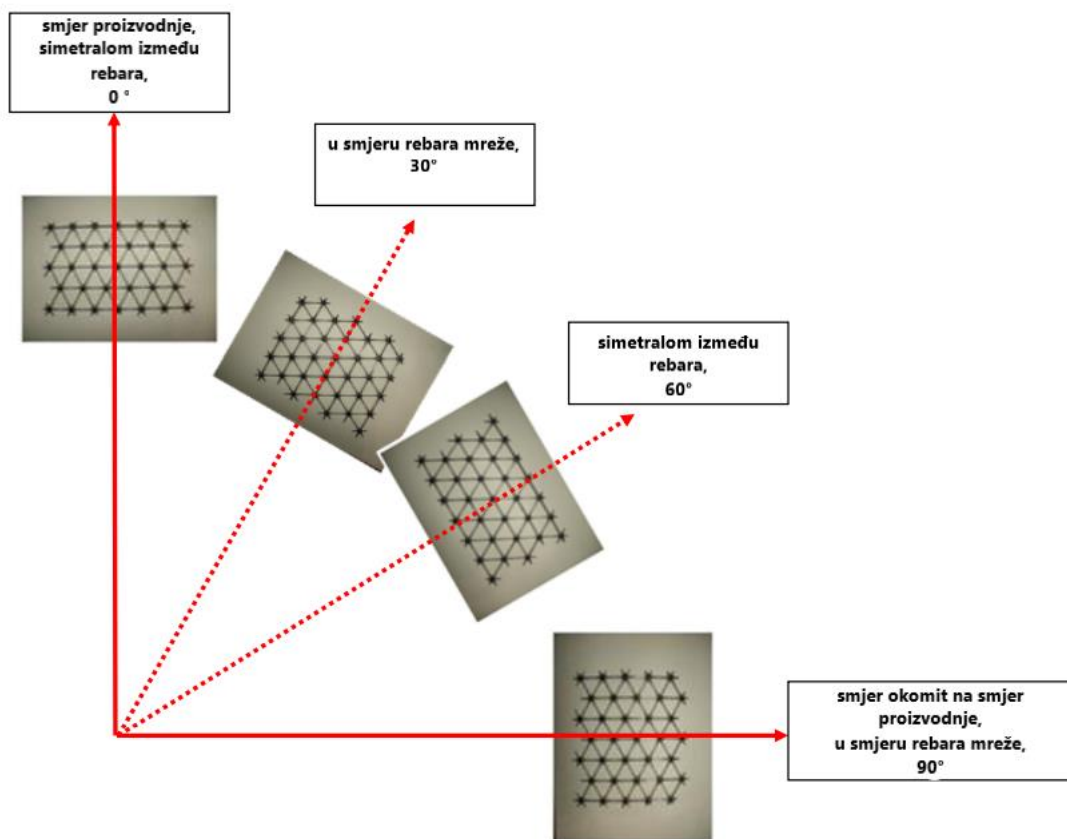
Tehničko izvješće EOTA TR 41 predstavlja modifikaciju norme HRN EN ISO 10319 tako da se prilagođenim postupkom ispitivanja mogu određivati vlačna svojstva troosnih geomreža u definiranim radijalnim smjerovima.

EOTA TR 41 opisuje funkciju stabilizacije znatog materijala geomrežom koji se nalazi u konstrukciji nosivih slojeva ceste ili željezničke pruge. Nosivi slojevi su izloženi povremenim, ali čestim dinamičkim promjenjivim opterećenjima koja uzrokuju deformacije kako u vertikalnom tako i u svim horizontalnim odnosno radijalnim smjerovima. U slučaju da se ovakve radijalne deformacije ne kontroliraju, plastični pomaci među zrnima nosivog sloja mogu s vremenom dovesti do nezadovoljavajućeg stanja konstrukcije.

Tijekom ugradnje i zbijanja nosivog sloja, koji je ojačan ugradnjom geomreže, javlja se mehanizam uklještenja geomreže i agregata tako da zrna agregata penetriraju u otvore mreže i bivaju poduprta rebrima mreže. Tu se javlja i efekt obuhvata zrna geomrežom. Takva djelovanja (uklještenje i obuhvat) doprinose stabilizaciji nosivog sloja jer sprečavaju trajne plastične deformacije među zrnima nosivog sloja, čime je njegova funkcija dugotrajno osigurana, a troškovi održavanja bi trebali zbog toga biti znatno smanjeni.

Postupak definiran dokumentom EOTA TR 41 razvijen je na temelju norme EN ISO 10319 kako bi se omogućilo određivanje sekantne krutosti pri malim deformacijama. Osim toga, u ispitivanju troosnih mreža važno je odrediti vlačna svojstva i krutost u smjerovima orijentacije nosivih elemenata mreže koji se nalaze pod kutovima  $30^\circ$  odnosno  $60^\circ$  u odnosu na smjer proizvodnje odnosno okomito na smjer proizvodnje. Te dodatne smjerove ne predviđa norma EN ISO 10319.

Modificiranim postupkom se stoga ispitivanje vlačnih svojstava obavlja u četiri smjera koji su prikazani na slici 8.



Slika 8. Shematski prikaz smjerova ispitivanja prema EOTA TR 41 [14]

EOTA TR 41 zahtjeva da se u svakom smjeru pripremi (izreže) i ispita najmanje 3 uzorka. Istim tehničkim izvješćem propisana je minimalna širina uzorka od 200 mm. Širina uzorka definirana je kako bi se održala simetrija oko središnje točke i ravnoteža vlačnih sila tijekom ispitivanja. Dužina uzorka nije definirana. Ona se određuje ovisno o geometrijskim karakteristikama geomreže, a bitno je ispuniti uvjet da sadrži minimalno dva slobodna čvora.

Za razliku od HRN EN ISO 10319, dokument EOTA TR 41 ne zahtijeva korištenje ekstenzometara, a deformacija se mjeri pomakom čeljusti uređaja. Radijalna sekantna čvrstoća izražena u kN/m računa se prema izrazu

$$j=(F \cdot (1/B) \cdot 100)/\epsilon \quad [14]$$

pri čemu je  $F$  ispitivanjem određena sila u kN pri deformaciji  $\epsilon$ ,  $B$  efektivna širina uzorka u metrima te  $\epsilon$  deformacija pri kojoj je određena sila  $F$  izražena u postocima. [14]

U obavljenim ispitivanjima dvoosne geomreže efektivna širina za svaki pripremljeni i ispitani uzorak je bila 200 mm, odnosno jednaka efektivnoj širini za slučajeve ortogonalnih ispitnih uzoraka (za smjerove  $0^\circ$  i  $90^\circ$ ). Dakle, širina koso izrezanih uzoraka je u proračunu definirana takvom bez obzira na količinu vlačnih elemenata koju uključuje i koju naravno nije moguće jednoznačno odrediti zbog nepravilne geometrijske orijentacije.

## 4. REZULTATI ISPITIVANJA I ANALIZA

### 4.1. Ispitivanja netkanog geotekstila

Netkani geotekstil poznatog i renomiranog proizvođača je uzorkovan radi provedbe kontrolnih ispitivanja vlačnih svojstava prema normi EN ISO 10319. Obavljeno je ukupno 17 ispitivanja istog tipa proizvoda kroz vremenski period od 1,5 godine. Vlačna ispitivanja su obavljena orijentacijom uzorka geotekstila uzdužno, poprečno i dijagonalno u odnosu na smjer proizvodnje. U svakom smjeru ispitano je 5 ispitnih uzoraka. Rezultat svakog ispitivanja iskazan je kao srednja vrijednost vlačne čvrstoće i pripadne srednje vrijednosti deformacije.

U tablicama 2, 3 i 4 prikazani su pojedinačni rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće uzoraka geotekstila orijentiranih u uzdužnom, poprečnom i dijagonalnom smjeru u odnosu na smjer proizvodnje.

Tablica 2. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u uzdužnom smjeru

| Oznaka<br>ispitnog<br>uzorka | Maks. vlačna<br>sila,<br>$F_f$ | Vlačna<br>čvrstoća,<br>$\alpha_f$ | Deformacija<br>pri maks.<br>opterećenju,<br>$\varepsilon_f$ | Vrijeme<br>ispitivanja | Deformacija |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------|-------------|
|                              | kN                             | kN/m                              | %                                                           | min                    | Mm          |
| 1                            | 5,03                           | 25,10                             | 72,40                                                       | 6,30                   | 43,41       |
|                              | 4,51                           | 22,50                             | 70,00                                                       | 5,90                   | 42,01       |
|                              | 4,22                           | 21,10                             | 82,20                                                       | 7,10                   | 49,32       |
|                              | 4,41                           | 22,00                             | 84,10                                                       | 7,30                   | 50,44       |
|                              | 3,93                           | 19,70                             | 71,90                                                       | 6,40                   | 43,15       |
| 2                            | 4,31                           | 21,60                             | 80,50                                                       | 6,40                   | 48,33       |
|                              | 4,05                           | 20,30                             | 68,90                                                       | 5,40                   | 41,34       |
|                              | 4,14                           | 20,70                             | 73,20                                                       | 5,90                   | 43,92       |
|                              | 4,23                           | 21,20                             | 88,50                                                       | 7,00                   | 53,11       |
|                              | 4,40                           | 22,00                             | 94,10                                                       | 7,70                   | 56,44       |
| 3                            | 3,37                           | 16,90                             | 89,30                                                       | 8,00                   | 53,58       |
|                              | 2,99                           | 15,00                             | 82,20                                                       | 7,10                   | 49,33       |
|                              | 3,08                           | 15,40                             | 88,60                                                       | 7,40                   | 53,14       |
|                              | 3,41                           | 17,00                             | 87,30                                                       | 7,30                   | 52,36       |
|                              | 3,58                           | 17,90                             | 92,00                                                       | 7,60                   | 55,19       |
| 4                            | 4,37                           | 21,90                             | 83,20                                                       | 7,50                   | 49,91       |
|                              | 4,51                           | 22,50                             | 83,10                                                       | 7,60                   | 49,84       |
|                              | 5,01                           | 25,10                             | 93,60                                                       | 8,40                   | 56,15       |
|                              | 4,84                           | 24,20                             | 79,90                                                       | 7,10                   | 47,91       |
|                              | 4,79                           | 23,90                             | 84,40                                                       | 7,50                   | 50,65       |
| 5                            | 4,17                           | 20,90                             | 88,90                                                       | 8,50                   | 53,35       |
|                              | 4,24                           | 21,20                             | 82,00                                                       | 7,60                   | 49,22       |
|                              | 4,72                           | 23,60                             | 85,40                                                       | 8,00                   | 51,23       |
|                              | 5,16                           | 25,80                             | 88,00                                                       | 8,40                   | 52,81       |
|                              | 4,71                           | 23,60                             | 84,50                                                       | 7,80                   | 50,69       |
| 6                            | 4,47                           | 22,40                             | 101,30                                                      | 8,00                   | 60,76       |
|                              | 4,09                           | 20,40                             | 76,70                                                       | 8,50                   | 46,02       |
|                              | 4,10                           | 20,50                             | 91,20                                                       | 8,00                   | 54,73       |
|                              | 4,13                           | 20,60                             | 92,90                                                       | 8,60                   | 55,72       |
|                              | 4,33                           | 21,60                             | 101,70                                                      | 8,80                   | 61,01       |
| 7                            | 4,68                           | 23,40                             | 68,10                                                       | 6,30                   | 40,85       |
|                              | 5,12                           | 25,60                             | 74,10                                                       | 7,00                   | 44,48       |
|                              | 5,30                           | 26,50                             | 76,20                                                       | 7,40                   | 45,72       |
|                              | 4,84                           | 24,20                             | 85,40                                                       | 8,00                   | 51,23       |
|                              | 4,48                           | 22,40                             | 85,50                                                       | 8,60                   | 51,32       |
| 8                            | 3,67                           | 18,40                             | 90,80                                                       | 8,20                   | 54,45       |
|                              | 4,28                           | 21,40                             | 106,50                                                      | 9,60                   | 63,92       |
|                              | 3,47                           | 17,40                             | 78,50                                                       | 7,10                   | 47,11       |
|                              | 3,67                           | 18,40                             | 73,10                                                       | 6,50                   | 43,84       |
|                              | 4,06                           | 20,30                             | 92,50                                                       | 8,50                   | 55,49       |
| 9                            | 4,06                           | 20,30                             | 91,20                                                       | 8,20                   | 54,71       |

|    |      |       |        |      |       |
|----|------|-------|--------|------|-------|
|    | 4,15 | 20,80 | 82,50  | 7,80 | 49,53 |
|    | 4,25 | 21,20 | 97,00  | 8,60 | 58,20 |
|    | 4,34 | 21,70 | 101,30 | 9,10 | 60,76 |
|    | 4,34 | 21,70 | 91,60  | 8,50 | 54,98 |
| 10 | 5,71 | 19,60 | 90,50  | 3,50 | 20,44 |
|    | 6,04 | 17,10 | 89,30  | 3,00 | 16,85 |
|    | 5,82 | 19,20 | 80,40  | 3,20 | 18,60 |
|    | 6,20 | 19,10 | 93,20  | 4,00 | 24,24 |
|    | 6,10 | 20,40 | 96,30  | 4,00 | 23,07 |
| 11 | 4,93 | 24,20 | 83,70  | 5,30 | 31,87 |
|    | 4,94 | 24,00 | 80,90  | 5,70 | 37,33 |
|    | 4,92 | 22,40 | 79,50  | 4,90 | 31,14 |
|    | 5,01 | 23,00 | 78,80  | 5,70 | 33,75 |
|    | 5,14 | 25,80 | 92,20  | 5,60 | 34,82 |
| 12 | 4,90 | 24,50 | 78,70  | 7,60 | 47,24 |
|    | 4,57 | 22,80 | 65,80  | 6,10 | 39,49 |
|    | 4,33 | 21,70 | 72,00  | 6,70 | 43,19 |
|    | 4,33 | 21,70 | 72,00  | 6,70 | 43,19 |
|    | 3,89 | 19,40 | 84,00  | 7,50 | 50,42 |
| 13 | 5,26 | 26,30 | 93,40  | 8,70 | 56,05 |
|    | 4,83 | 24,20 | 76,40  | 7,20 | 45,86 |
|    | 5,07 | 25,30 | 96,40  | 9,00 | 57,84 |
|    | 5,01 | 25,00 | 82,00  | 7,60 | 49,20 |
|    | 5,40 | 27,00 | 103,90 | 9,70 | 62,34 |
| 14 | 4,45 | 22,20 | 91,10  | 9,00 | 54,67 |
|    | 4,12 | 20,60 | 72,40  | 7,00 | 43,46 |
|    | 5,04 | 25,20 | 81,30  | 8,20 | 48,80 |
|    | 4,70 | 23,50 | 84,10  | 8,30 | 50,44 |
|    | 5,07 | 25,30 | 80,60  | 8,40 | 48,37 |
| 15 | 4,90 | 24,50 | 78,70  | 7,60 | 47,24 |
|    | 4,72 | 23,60 | 85,40  | 8,00 | 51,23 |
|    | 4,71 | 23,60 | 84,50  | 7,80 | 50,69 |
|    | 4,79 | 23,90 | 84,40  | 7,50 | 50,65 |
|    | 4,47 | 22,40 | 101,30 | 8,00 | 60,76 |
| 16 | 4,75 | 23,80 | 94,30  | 8,70 | 56,60 |
|    | 4,78 | 23,90 | 94,50  | 8,50 | 56,71 |
|    | 4,89 | 24,50 | 91,10  | 8,20 | 54,67 |
|    | 4,88 | 24,40 | 90,90  | 8,00 | 54,54 |
|    | 4,79 | 23,90 | 82,60  | 7,60 | 49,55 |
| 17 | 3,79 | 18,90 | 95,40  | 8,50 | 57,22 |
|    | 3,32 | 16,60 | 84,50  | 7,30 | 50,71 |
|    | 3,26 | 16,30 | 98,20  | 8,50 | 58,94 |
|    | 3,37 | 16,90 | 94,40  | 8,10 | 56,65 |
|    | 3,63 | 18,10 | 94,80  | 8,10 | 56,85 |

Tablica 3. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u poprečnom smjeru

| Oznaka<br>ispitnog<br>uzorka | Maks. vlačna<br>sila,<br>$F_f$ | Vlačna<br>čvrstoća,<br>$\alpha_f$ | Deformacija<br>pri maks.<br>opterećenju,<br>$\varepsilon_f$ | Vrijeme<br>ispitivanja | Deformacija |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------|-------------|
|                              | kN                             | kN/m                              | %                                                           | min                    | Mm          |
| 1                            | 5,38                           | 26,90                             | 24,20                                                       | 2,30                   | 14,53       |
|                              | 6,18                           | 30,90                             | 30,40                                                       | 2,80                   | 18,27       |
|                              | 5,76                           | 28,80                             | 24,20                                                       | 2,30                   | 14,52       |
|                              | 5,79                           | 28,90                             | 28,90                                                       | 2,60                   | 17,34       |
|                              | 5,94                           | 29,70                             | 26,20                                                       | 2,50                   | 15,73       |
| 2                            | 5,80                           | 29,00                             | 27,70                                                       | 2,50                   | 16,61       |
|                              | 6,00                           | 30,00                             | 28,30                                                       | 2,50                   | 17,01       |
|                              | 6,04                           | 30,20                             | 29,30                                                       | 2,60                   | 17,55       |
|                              | 5,92                           | 29,60                             | 25,60                                                       | 2,30                   | 15,34       |
|                              | 6,56                           | 32,80                             | 27,60                                                       | 2,60                   | 16,59       |
| 3                            | 5,80                           | 29,00                             | 29,30                                                       | 2,80                   | 17,59       |
|                              | 5,53                           | 27,70                             | 29,20                                                       | 2,80                   | 17,51       |
|                              | 6,00                           | 30,00                             | 30,90                                                       | 3,00                   | 18,55       |
|                              | 5,95                           | 29,80                             | 29,60                                                       | 2,70                   | 17,73       |
|                              | 5,33                           | 26,60                             | 25,60                                                       | 2,50                   | 15,33       |
| 4                            | 5,89                           | 29,50                             | 24,40                                                       | 2,60                   | 14,62       |
|                              | 6,10                           | 30,50                             | 27,60                                                       | 2,90                   | 16,58       |
|                              | 6,32                           | 31,60                             | 28,80                                                       | 3,00                   | 17,28       |
|                              | 6,23                           | 31,10                             | 35,60                                                       | 3,20                   | 21,39       |
|                              | 6,49                           | 32,40                             | 31,10                                                       | 3,00                   | 18,69       |
| 5                            | 6,21                           | 31,00                             | 34,20                                                       | 3,30                   | 20,55       |
|                              | 5,73                           | 28,70                             | 31,40                                                       | 2,90                   | 18,84       |
|                              | 5,96                           | 29,80                             | 28,50                                                       | 2,90                   | 17,09       |
|                              | 5,79                           | 29,00                             | 32,10                                                       | 3,00                   | 19,25       |
|                              | 6,20                           | 31,00                             | 30,70                                                       | 3,00                   | 18,41       |
| 6                            | 6,35                           | 31,70                             | 30,40                                                       | 2,90                   | 18,23       |
|                              | 6,41                           | 32,10                             | 27,60                                                       | 2,60                   | 16,56       |
|                              | 5,93                           | 29,70                             | 28,90                                                       | 3,10                   | 17,37       |
|                              | 5,90                           | 29,50                             | 29,00                                                       | 2,60                   | 17,41       |
|                              | 6,18                           | 30,90                             | 29,50                                                       | 2,90                   | 17,72       |
| 7                            | 5,12                           | 25,60                             | 47,80                                                       | 4,90                   | 28,71       |
|                              | 4,80                           | 24,00                             | 33,90                                                       | 3,40                   | 20,32       |
|                              | 5,11                           | 25,60                             | 36,00                                                       | 3,60                   | 21,60       |
|                              | 4,55                           | 22,80                             | 39,20                                                       | 3,60                   | 23,51       |
|                              | 5,26                           | 26,30                             | 36,40                                                       | 3,60                   | 21,84       |
| 8                            | 5,83                           | 29,10                             | 47,10                                                       | 3,10                   | 28,26       |
|                              | 5,75                           | 28,70                             | 35,50                                                       | 3,20                   | 21,27       |
|                              | 5,99                           | 30,00                             | 47,60                                                       | 4,10                   | 28,54       |
|                              | 5,78                           | 28,90                             | 42,90                                                       | 4,10                   | 25,77       |
|                              | 5,68                           | 28,40                             | 34,70                                                       | 3,40                   | 20,82       |
| 9                            | 6,35                           | 31,80                             | 55,00                                                       | 5,30                   | 32,99       |
|                              | 5,94                           | 29,70                             | 46,10                                                       | 4,60                   | 27,68       |
|                              | 6,13                           | 30,70                             | 42,30                                                       | 4,30                   | 25,37       |

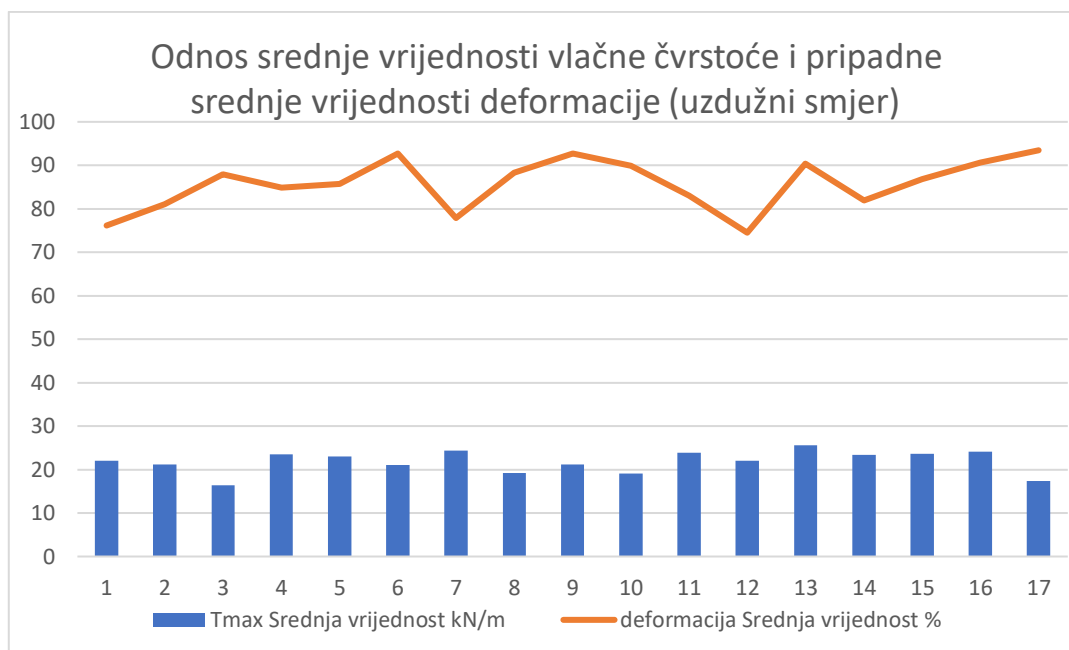
|    |      |       |       |      |       |
|----|------|-------|-------|------|-------|
|    | 5,90 | 29,50 | 37,00 | 3,80 | 22,18 |
|    | 5,96 | 29,80 | 39,60 | 4,00 | 23,75 |
| 10 | 3,92 | 28,50 | 34,10 | 8,00 | 54,29 |
|    | 3,42 | 30,20 | 28,10 | 7,80 | 53,55 |
|    | 3,85 | 29,10 | 31,00 | 7,20 | 48,24 |
|    | 3,83 | 31,00 | 40,40 | 8,20 | 55,95 |
|    | 4,09 | 30,50 | 38,40 | 8,70 | 57,79 |
| 11 | 4,83 | 24,60 | 53,10 | 7,80 | 50,24 |
|    | 4,81 | 24,70 | 62,20 | 7,30 | 48,52 |
|    | 4,48 | 24,60 | 51,90 | 7,40 | 47,72 |
|    | 4,60 | 25,00 | 56,30 | 7,20 | 47,26 |
|    | 5,16 | 25,70 | 58,00 | 8,20 | 55,34 |
| 12 | 4,77 | 23,90 | 50,50 | 4,60 | 30,28 |
|    | 5,28 | 26,40 | 43,00 | 4,30 | 25,77 |
|    | 5,17 | 25,80 | 37,70 | 3,70 | 22,64 |
|    | 5,41 | 27,00 | 41,90 | 4,40 | 25,16 |
|    | 5,42 | 27,10 | 53,50 | 5,50 | 32,08 |
| 13 | 4,63 | 23,10 | 50,60 | 4,80 | 30,34 |
|    | 5,36 | 26,80 | 42,00 | 4,40 | 25,20 |
|    | 5,40 | 27,00 | 46,40 | 4,70 | 27,85 |
|    | 5,62 | 28,10 | 50,70 | 5,10 | 30,43 |
|    | 4,31 | 21,50 | 40,80 | 4,00 | 24,46 |
| 14 | 5,13 | 25,60 | 57,20 | 5,50 | 34,33 |
|    | 5,21 | 26,10 | 57,80 | 5,30 | 34,66 |
|    | 5,38 | 26,90 | 46,10 | 4,40 | 27,65 |
|    | 4,91 | 24,60 | 38,20 | 4,00 | 22,93 |
|    | 5,00 | 25,00 | 47,00 | 4,50 | 28,20 |
| 15 | 5,29 | 26,50 | 44,40 | 4,00 | 26,64 |
|    | 5,54 | 27,70 | 38,10 | 3,20 | 22,89 |
|    | 5,12 | 25,60 | 47,80 | 4,90 | 28,71 |
|    | 5,11 | 25,60 | 36,00 | 3,60 | 21,60 |
|    | 5,25 | 26,20 | 52,80 | 5,00 | 31,67 |
| 16 | 5,17 | 25,80 | 46,30 | 4,10 | 27,75 |
|    | 5,34 | 26,70 | 52,40 | 4,60 | 31,41 |
|    | 5,34 | 26,70 | 50,00 | 4,40 | 30,02 |
|    | 5,21 | 26,00 | 42,40 | 4,20 | 25,46 |
|    | 5,13 | 25,70 | 40,20 | 3,40 | 24,14 |
| 17 | 6,04 | 30,20 | 25,30 | 2,40 | 15,17 |
|    | 6,08 | 30,40 | 24,50 | 2,40 | 14,73 |
|    | 6,22 | 31,10 | 25,70 | 2,60 | 15,43 |
|    | 6,48 | 32,40 | 24,40 | 2,50 | 14,64 |
|    | 6,09 | 30,50 | 24,20 | 2,30 | 14,54 |

Tablica 4. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u dijagonalnom smjeru

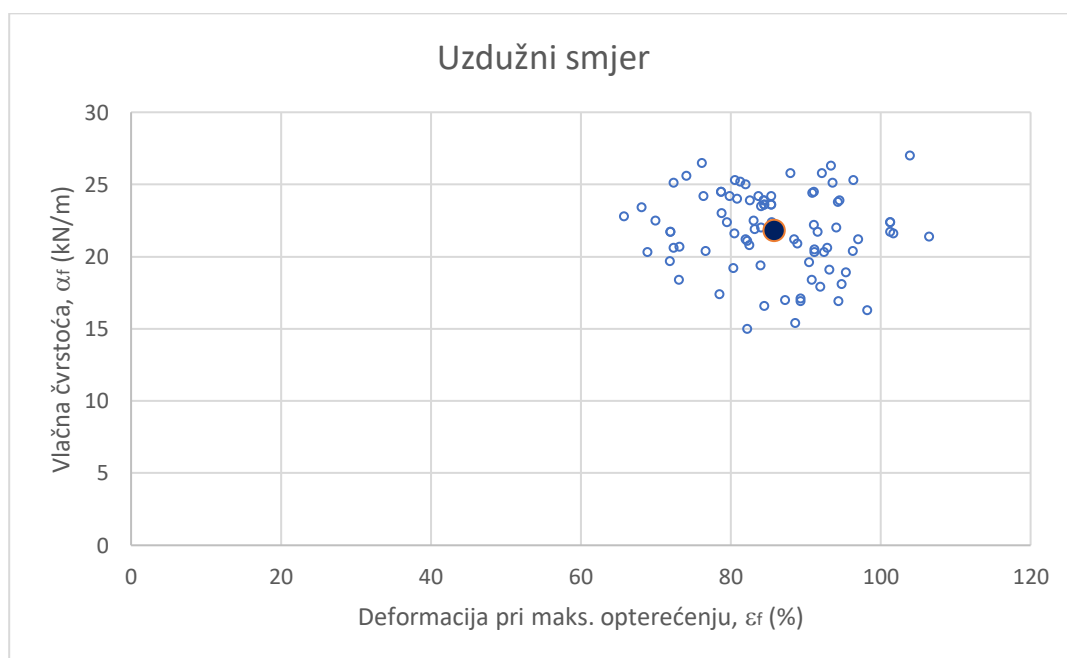
| Oznaka<br>ispitnog<br>uzorka | Maks. vlačna<br>sila,<br>$F_f$ | Vlačna<br>čvrstoća,<br>$\alpha_f$ | Deformacija<br>pri maks.<br>opterećenju,<br>$\varepsilon_f$ | Vrijeme<br>ispitivanja | Deformacija |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------|-------------|
|                              | kN                             | kN/m                              | %                                                           | min                    | Mm          |
| 1                            | 3,89                           | 19,40                             | 45,30                                                       | 3,90                   | 27,18       |
|                              | 4,51                           | 22,60                             | 53,20                                                       | 4,60                   | 31,92       |
|                              | 4,08                           | 20,40                             | 53,10                                                       | 4,60                   | 31,85       |
|                              | 4,71                           | 23,50                             | 51,70                                                       | 4,50                   | 30,99       |
|                              | 4,16                           | 20,80                             | 55,30                                                       | 4,80                   | 33,20       |
| 2                            | 5,06                           | 25,30                             | 35,20                                                       | 3,00                   | 21,11       |
|                              | 5,23                           | 26,20                             | 33,70                                                       | 2,90                   | 20,22       |
|                              | 5,11                           | 25,50                             | 33,30                                                       | 2,90                   | 20,00       |
|                              | 5,12                           | 25,60                             | 34,90                                                       | 3,00                   | 20,93       |
|                              | 4,90                           | 24,50                             | 29,20                                                       | 2,60                   | 17,54       |
| 3                            | 3,62                           | 18,10                             | 51,50                                                       | 4,40                   | 30,91       |
|                              | 3,74                           | 18,70                             | 43,90                                                       | 3,80                   | 26,35       |
|                              | 3,78                           | 18,90                             | 48,50                                                       | 4,30                   | 29,10       |
|                              | 3,78                           | 18,90                             | 53,90                                                       | 4,70                   | 32,36       |
|                              | 3,91                           | 19,50                             | 47,10                                                       | 4,20                   | 28,29       |
| 4                            | 4,29                           | 21,50                             | 51,00                                                       | 4,60                   | 30,63       |
|                              | 4,36                           | 21,80                             | 50,60                                                       | 4,50                   | 30,35       |
|                              | 3,70                           | 18,50                             | 46,80                                                       | 4,10                   | 28,11       |
|                              | 3,97                           | 19,80                             | 45,90                                                       | 4,00                   | 27,56       |
|                              | 3,31                           | 16,50                             | 48,20                                                       | 4,20                   | 28,90       |
| 5                            | 3,79                           | 18,90                             | 45,50                                                       | 3,90                   | 27,29       |
|                              | 3,97                           | 19,90                             | 53,50                                                       | 4,50                   | 32,10       |
|                              | 3,79                           | 18,90                             | 45,10                                                       | 3,90                   | 27,04       |
|                              | 3,77                           | 18,90                             | 45,00                                                       | 3,90                   | 26,98       |
|                              | 4,09                           | 20,40                             | 42,60                                                       | 3,80                   | 25,55       |
| 6                            | 6,35                           | 31,70                             | 30,40                                                       | 2,90                   | 18,23       |
|                              | 6,41                           | 32,10                             | 27,60                                                       | 2,60                   | 16,56       |
|                              | 5,93                           | 29,70                             | 28,90                                                       | 3,10                   | 17,37       |
|                              | 5,90                           | 29,50                             | 29,00                                                       | 2,60                   | 17,41       |
|                              | 6,18                           | 30,90                             | 29,50                                                       | 2,90                   | 17,72       |
| 7                            | 5,02                           | 25,10                             | 59,00                                                       | 5,60                   | 35,43       |
|                              | 5,21                           | 26,10                             | 62,30                                                       | 6,00                   | 37,39       |
|                              | 5,37                           | 26,80                             | 63,30                                                       | 6,20                   | 38,00       |
|                              | 4,78                           | 23,90                             | 54,80                                                       | 5,30                   | 32,88       |
|                              | 4,42                           | 22,10                             | 45,50                                                       | 4,20                   | 27,27       |
| 8                            | 4,07                           | 20,30                             | 35,40                                                       | 3,40                   | 21,25       |
|                              | 4,28                           | 21,40                             | 38,30                                                       | 3,50                   | 22,97       |
|                              | 4,06                           | 20,30                             | 37,00                                                       | 3,50                   | 22,18       |
|                              | 4,68                           | 23,40                             | 44,80                                                       | 4,20                   | 26,88       |
|                              | 4,41                           | 22,00                             | 45,40                                                       | 4,20                   | 27,22       |
| 9                            | 4,41                           | 22,10                             | 37,10                                                       | 3,60                   | 22,25       |

|    |      |       |       |      |       |
|----|------|-------|-------|------|-------|
|    | 3,47 | 17,30 | 36,20 | 3,60 | 21,70 |
|    | 3,97 | 19,90 | 34,90 | 3,40 | 20,92 |
|    | 4,45 | 22,30 | 40,20 | 4,00 | 24,15 |
|    | 4,00 | 20,00 | 34,20 | 3,40 | 20,52 |
| 10 | 3,77 | 18,90 | 34,40 | 3,50 | 20,63 |
|    | 4,54 | 22,70 | 44,30 | 4,20 | 26,58 |
|    | 4,32 | 21,60 | 33,90 | 3,50 | 20,34 |
|    | 4,49 | 22,40 | 38,60 | 3,70 | 23,18 |
|    | 4,49 | 22,40 | 39,20 | 3,70 | 23,53 |
| 11 | 5,02 | 25,10 | 72,90 | 6,90 | 43,74 |
|    | 5,33 | 26,60 | 86,80 | 7,90 | 52,09 |
|    | 5,23 | 26,10 | 80,00 | 7,30 | 48,02 |
|    | 5,20 | 26,00 | 76,10 | 7,30 | 45,65 |
|    | 5,18 | 25,90 | 81,90 | 7,50 | 49,16 |
| 12 | 4,11 | 20,50 | 54,10 | 5,00 | 32,47 |
|    | 4,70 | 23,50 | 59,60 | 5,60 | 35,78 |
|    | 3,83 | 19,20 | 52,50 | 4,90 | 31,52 |
|    | 4,98 | 24,90 | 77,60 | 7,10 | 46,54 |
|    | 4,57 | 22,90 | 69,10 | 6,40 | 41,46 |
| 13 | 3,50 | 17,50 | 37,80 | 3,60 | 22,67 |
|    | 4,75 | 23,70 | 49,60 | 4,80 | 29,75 |
|    | 4,28 | 21,40 | 64,40 | 6,00 | 38,67 |
|    | 3,80 | 19,00 | 47,00 | 4,50 | 28,23 |
|    | 4,38 | 21,90 | 48,30 | 4,80 | 28,99 |
| 14 | 5,31 | 26,50 | 57,40 | 5,90 | 34,45 |
|    | 5,21 | 26,00 | 53,00 | 5,30 | 31,78 |
|    | 4,89 | 24,50 | 66,80 | 6,20 | 40,11 |
|    | 4,00 | 20,00 | 42,10 | 4,10 | 25,25 |
|    | 4,32 | 21,60 | 53,50 | 5,00 | 32,10 |
| 15 | 5,51 | 27,50 | 52,30 | 4,60 | 31,38 |
|    | 5,41 | 27,10 | 52,40 | 4,30 | 31,43 |
|    | 5,45 | 27,20 | 50,00 | 4,00 | 30,02 |
|    | 5,34 | 26,70 | 52,40 | 4,60 | 31,41 |
|    | 5,17 | 25,80 | 46,30 | 4,10 | 27,75 |
| 16 | 4,85 | 24,20 | 55,60 | 4,60 | 33,35 |
|    | 4,72 | 23,60 | 57,10 | 4,50 | 34,26 |
|    | 4,72 | 23,60 | 61,90 | 4,80 | 37,14 |
|    | 4,53 | 22,60 | 56,10 | 4,40 | 33,63 |
|    | 5,16 | 25,80 | 55,10 | 4,40 | 33,07 |
| 17 | 4,15 | 20,80 | 27,00 | 2,40 | 16,20 |
|    | 4,11 | 20,60 | 28,50 | 2,70 | 17,12 |
|    | 4,37 | 21,90 | 32,40 | 2,80 | 19,42 |
|    | 4,62 | 23,10 | 30,80 | 2,70 | 18,50 |
|    | 3,95 | 19,80 | 27,00 | 2,40 | 16,22 |

Na slici 9 prikazan je odnos srednje vrijednosti vlačne čvrstoće i pripadne srednje vrijednosti deformacije za uzdužni smjer, a na slici 10 odnos pojedinačnih rezultata vlačnih čvrstoća i deformacija te pripadne prosječne vrijednosti za uzdužni smjer.

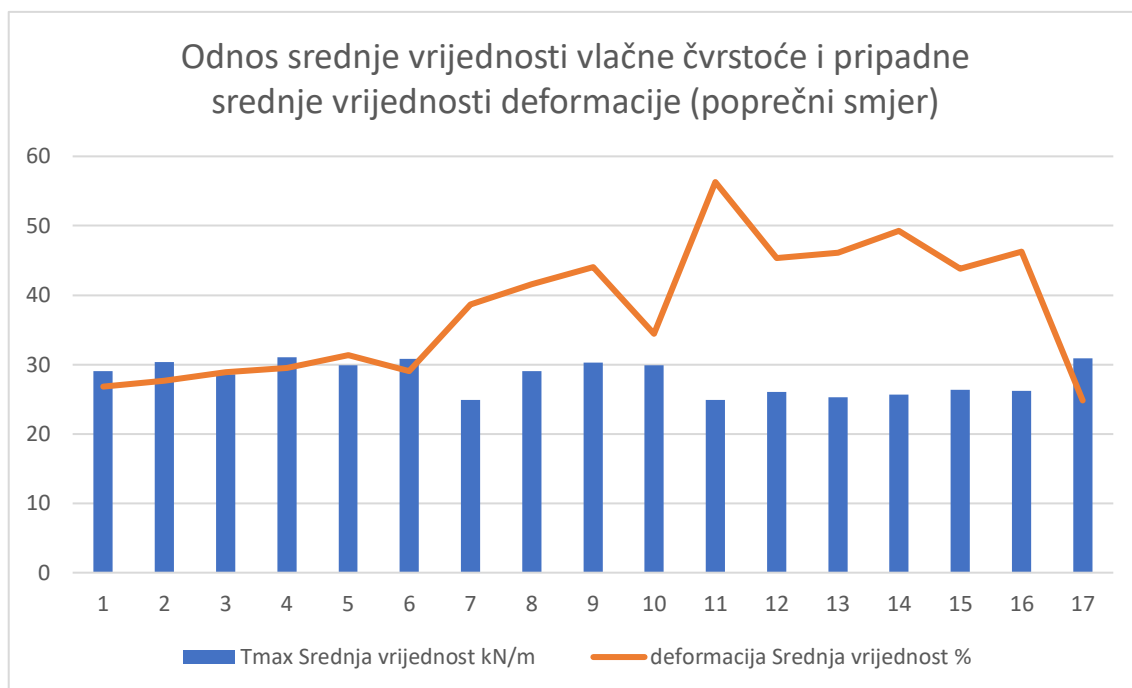


Slika 9. Odnos srednje vrijednosti vlačne čvrstoće i pripadne srednje vrijednosti deformacije za uzdužni smjer

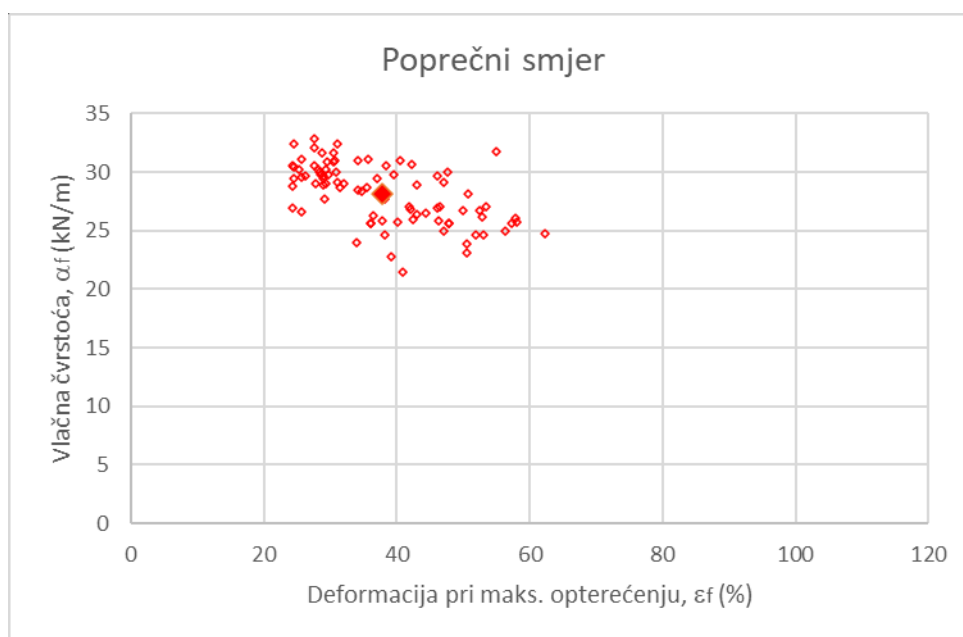


Slika 10. Odnos vlačne čvrstoće i deformacije za uzdužni smjer

Na slici 11 prikazan je odnos srednje vrijednosti vlačne čvrstoće i pripadne srednje vrijednosti deformacije za poprečni smjer, a na slici 12 odnos pojedinačnih rezultata vlačnih čvrstoća i deformacija te pripadne prosječne vrijednosti za poprečni smjer.

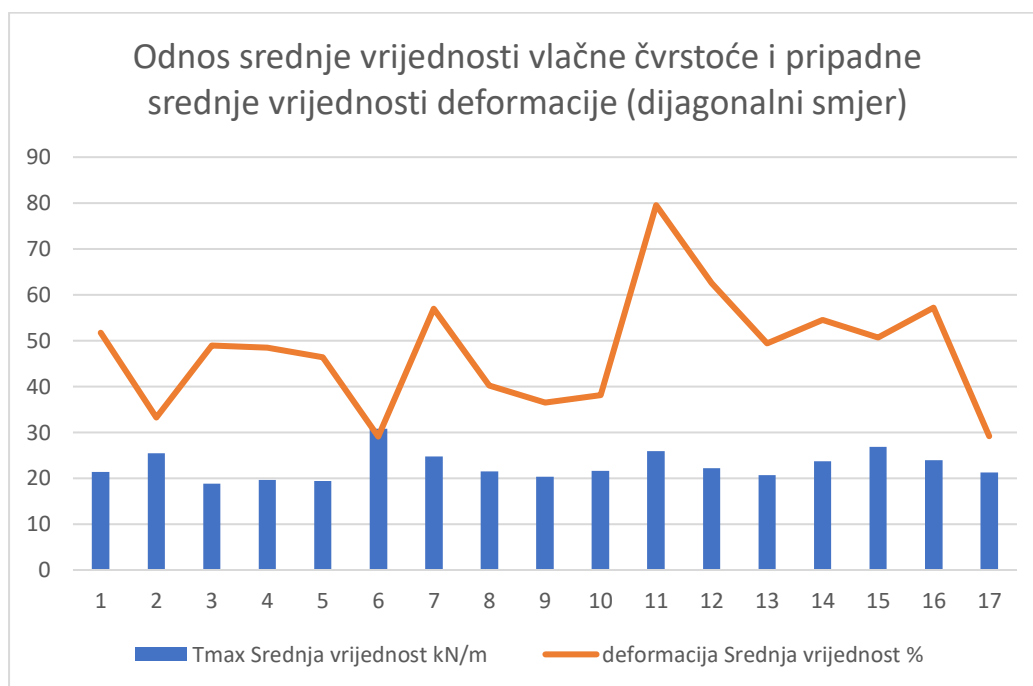


Slika 11. Odnos srednje vrijednosti vlačne čvrstoće i pripadne srednje vrijednosti deformacije za poprečni smjer

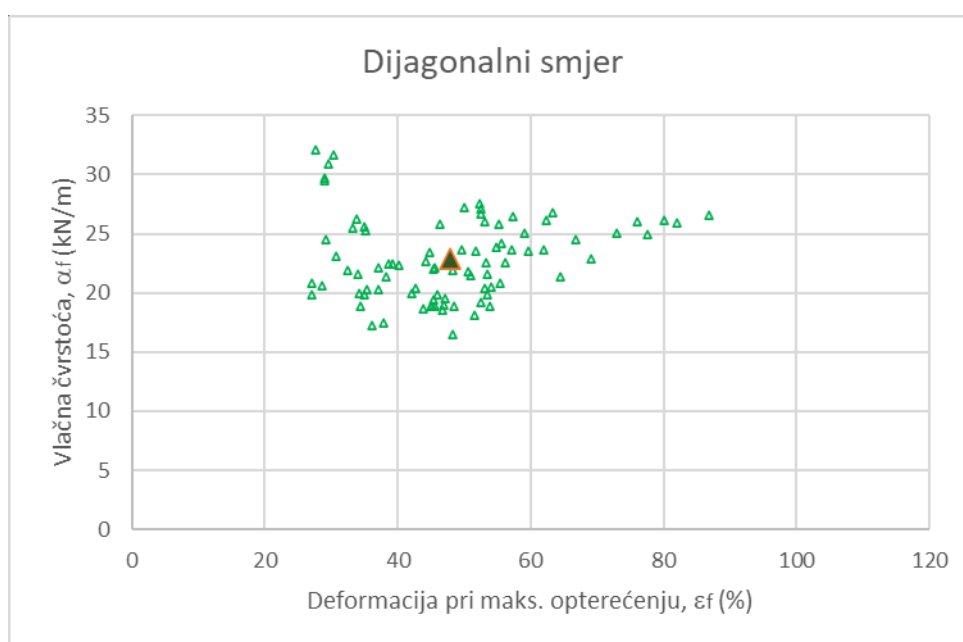


Slika 12. Odnos vlačne čvrstoće i deformacije za poprečni smjer

Na slici 13 prikazan je odnos srednje vrijednosti vlačne čvrstoće i pripadne srednje vrijednosti deformacije za dijagonalni smjer, a na slici 14 odnos pojedinačnih rezultata vlačnih čvrstoća i deformacija te pripadne prosječne vrijednosti za dijagonalni smjer.



Slika 13. Odnos srednje vrijednosti vlačne čvrstoće i pripadne srednje vrijednosti deformacije za dijagonalni smjer



Slika 14. Odnos vlačne čvrstoće i deformacije za dijagonalni smjer

U tablicama 5, 6 i 7 prikazani su rezultati statističke analize dobivenih rezultata.

Tablica 5. Statistička analiza rezultata ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u uzdužnom smjeru

| Oznaka ispitnog uzorka | Maks. vlačna sila, $F_f$ | Vlačna čvrstoća, $\alpha_f$ | Deformacija pri maks. opterećenju, $\varepsilon_f$ | Vrijeme ispitivanja | Deformacija |
|------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|-------------|
|                        | kN                       | kN/m                        | %                                                  | min                 | Mm          |
| Srednja vrijednost     | 4,50                     | <b>21,82</b>                | <b>85,77</b>                                       | 7,36                | 48,56       |
| Standardno odstupanje  | 0,66                     | <b>2,79</b>                 | <b>8,96</b>                                        | 1,38                | 9,72        |
| Koeficijent varijacije | 14,7%                    | <b>12,8%</b>                | <b>10,4%</b>                                       | 18,7%               | 20,0%       |
| Maksimalna vrijednost  | 6,20                     | <b>27,00</b>                | <b>106,50</b>                                      | 9,70                | 63,92       |
| Minimalna vrijednost   | 2,99                     | <b>15,00</b>                | <b>65,80</b>                                       | 3,00                | 16,85       |

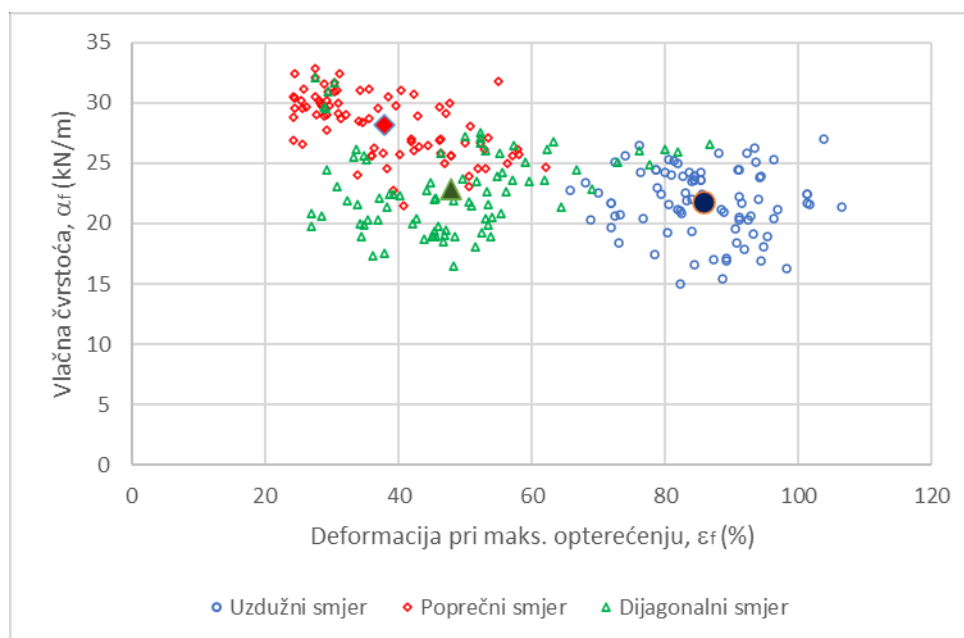
Tablica 6. Statistička analiza rezultata ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u poprečnom smjeru

| Oznaka ispitnog uzorka | Maks. vlačna sila, $F_f$ | Vlačna čvrstoća, $\alpha_f$ | Deformacija pri maks. opterećenju, $\varepsilon_f$ | Vrijeme ispitivanja | Deformacija |
|------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|-------------|
|                        | kN                       | kN/m                        | %                                                  | min                 | Mm          |
| Srednja vrijednost     | 5,50                     | <b>28,18</b>                | <b>37,87</b>                                       | 4,03                | 25,63       |
| Standardno odstupanje  | 0,67                     | <b>2,55</b>                 | <b>10,21</b>                                       | 1,64                | 11,12       |
| Koeficijent varijacije | 12,2%                    | <b>9,0%</b>                 | <b>26,9%</b>                                       | 40,6%               | 43,4%       |
| Maksimalna vrijednost  | 6,56                     | <b>32,80</b>                | <b>62,20</b>                                       | 8,70                | 57,79       |
| Minimalna vrijednost   | 3,42                     | <b>21,50</b>                | <b>24,20</b>                                       | 2,30                | 14,52       |

Tablica 7. Statistička analiza rezultata ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u dijagonalnom smjeru

| Oznaka ispitnog uzorka | Maks. vlačna sila, $F_f$ | Vlačna čvrstoća, $\alpha_f$ | Deformacija pri maks. opterećenju, $\varepsilon_f$ | Vrijeme ispitivanja | Deformacija |
|------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|-------------|
|                        | kN                       | kN/m                        | %                                                  | min                 | Mm          |
| Srednja vrijednost     | 4,57                     | <b>22,84</b>                | <b>47,81</b>                                       | 4,35                | 28,69       |
| Standardno odstupanje  | 0,68                     | <b>3,41</b>                 | <b>13,48</b>                                       | 1,24                | 8,09        |
| Koeficijent varijacije | 14,9%                    | <b>14,9%</b>                | <b>28,2%</b>                                       | 28,5%               | 28,2%       |
| Maksimalna vrijednost  | 6,41                     | <b>32,10</b>                | <b>86,80</b>                                       | 7,90                | 52,09       |
| Minimalna vrijednost   | 3,31                     | <b>16,50</b>                | <b>27,00</b>                                       | 2,40                | 16,20       |

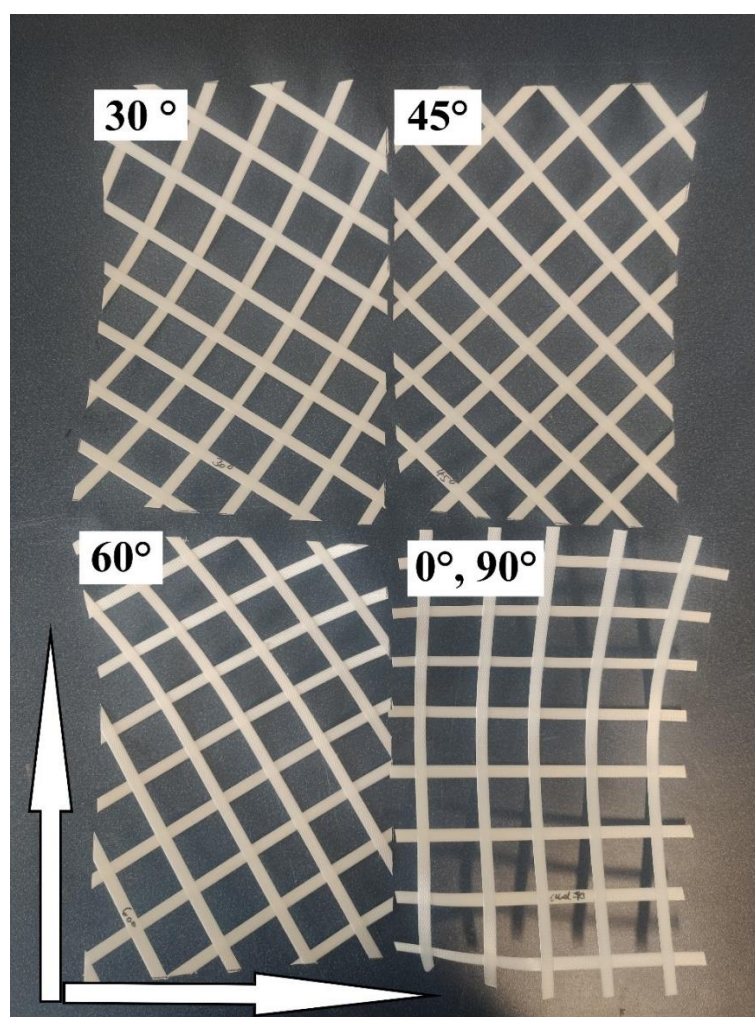
Na slici 15 zajedno su prikazani svi rezultati vlačnih čvrstoća i deformacija te pripadnih prosječnih vrijednosti za uzdužni, poprečni i dijagonalni smjer.



Slika 15. Odnos vlačne čvrstoće i deformacije za uzdužni, poprečni i dijagonalni smjer

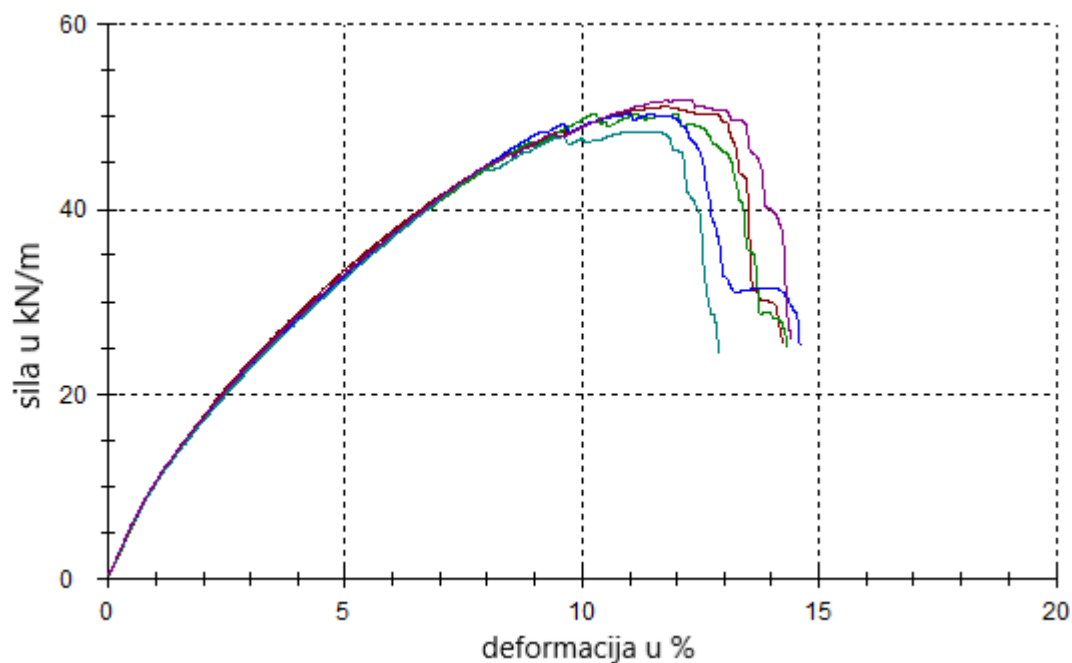
## 4.2. Ispitivanja dvoosne geomreže

Geomreža od renomiranog europskog proizvođača, koja je dobivena postavljanjem polimernih traka u uzdužnom i poprečnom smjeru (slika 16) na istom razmaku uzdužno i poprečno tako da tvore kvadratne otvore, te njihovim kemijskim povezivanjem kako bi se osigurao pravilan položaj i razmak traka, te odgovarajuća krutost i vlačna čvrstoća proizvoda, podvrgnuta je ispitivanju vlačnih svojstava prema EOTA TR 41 postupku. Dodatno na smjerove ispitivanja koje predviđa navedeni postupak ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ), geomreža je ispitana i orijentacijom uzorka  $45^\circ$  u odnosu na smjer proizvodnje. U ortogonalnim smjerovima  $0^\circ$  odnosno  $90^\circ$  ispitni uzorci sadrže po 5 vlačnih elemenata, a efektivna širina ovih ispitnih uzoraka je 200 mm. Za koso izrezane uzorke efektivna širina je također u ovom slučaju definirana kao 200 mm.

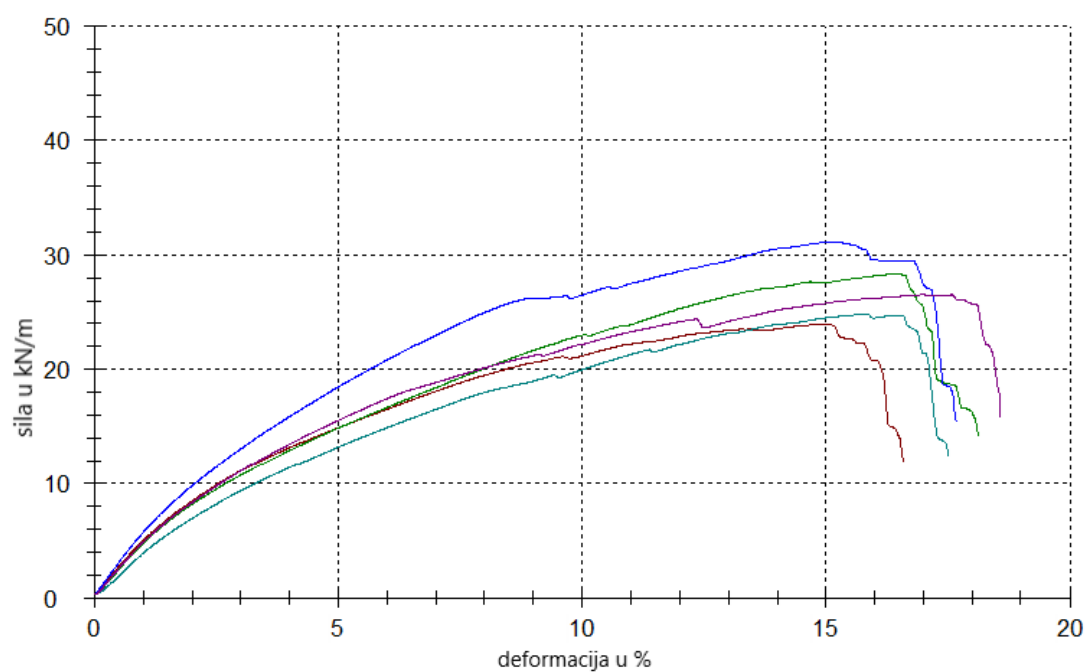


Slika 16. Izrezani ispitni uzorci geomreže za ispitivanja s orijentacijom:  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$

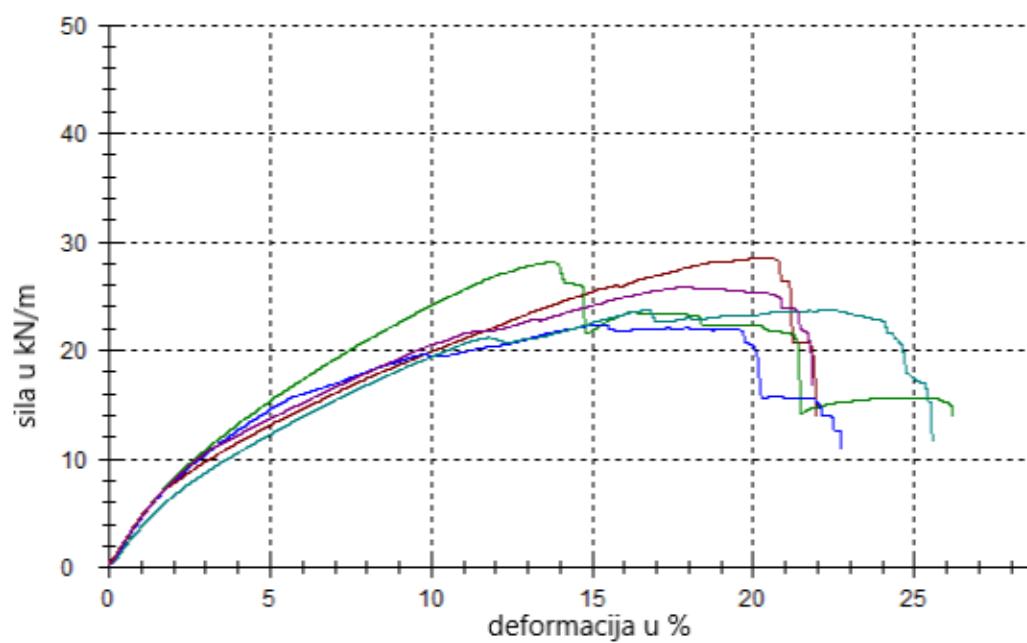
Analiza rezultata ispitivanja obavljena je pri deformacijama od 0.5, 1 i 2 %, kao i pri maksimalnoj sili odnosno deformaciji kod sloma uzorka. Odnos naprezanja i deformacije za sve smjerove i ispitane uzorke prikazan je na slikama 17, 18, 19, 20 i 21, kao i u tablicama 8, 9, 10, 11 i 12. U tablici 13 zbirno su prikazani rezultati najveće vlačne čvrstoće po svim smjerovima, te koeficijent varijacije i pripadne deformacije istezanja. U tablici 14 su za svaki smjer prikazane vlačne sile i izračunate radijalne krutosti pri deformaciji od 0.5 %.



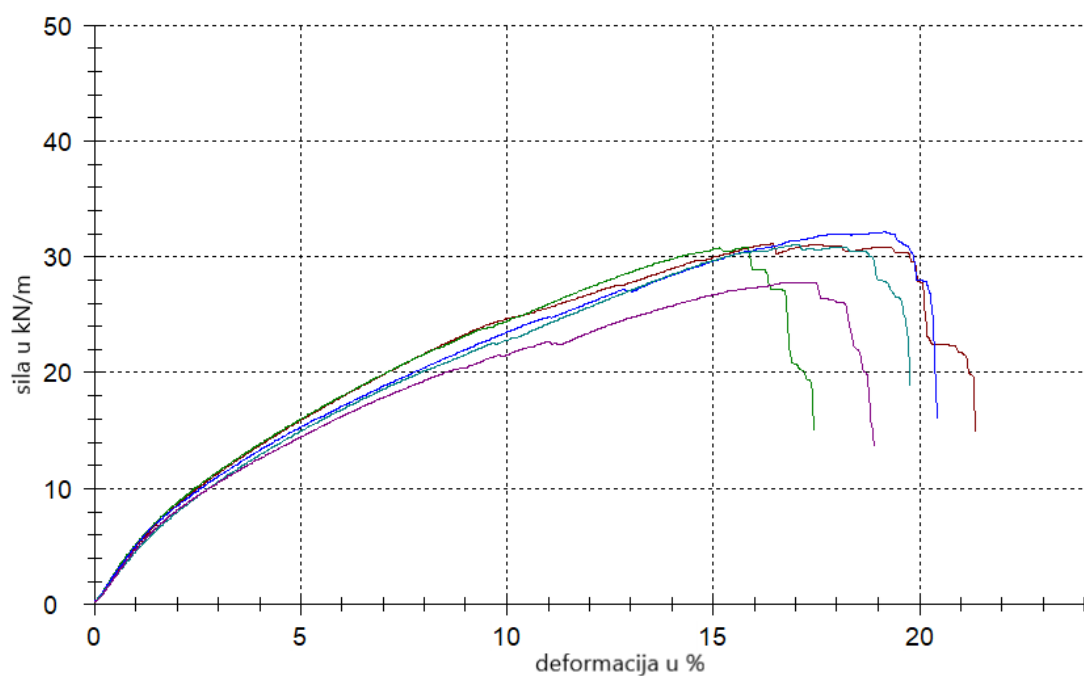
Slika 17. Odnos naprezanja i deformacija - dvoosna geomreža, smjer ispitivanja MD (uzdužni-0°)



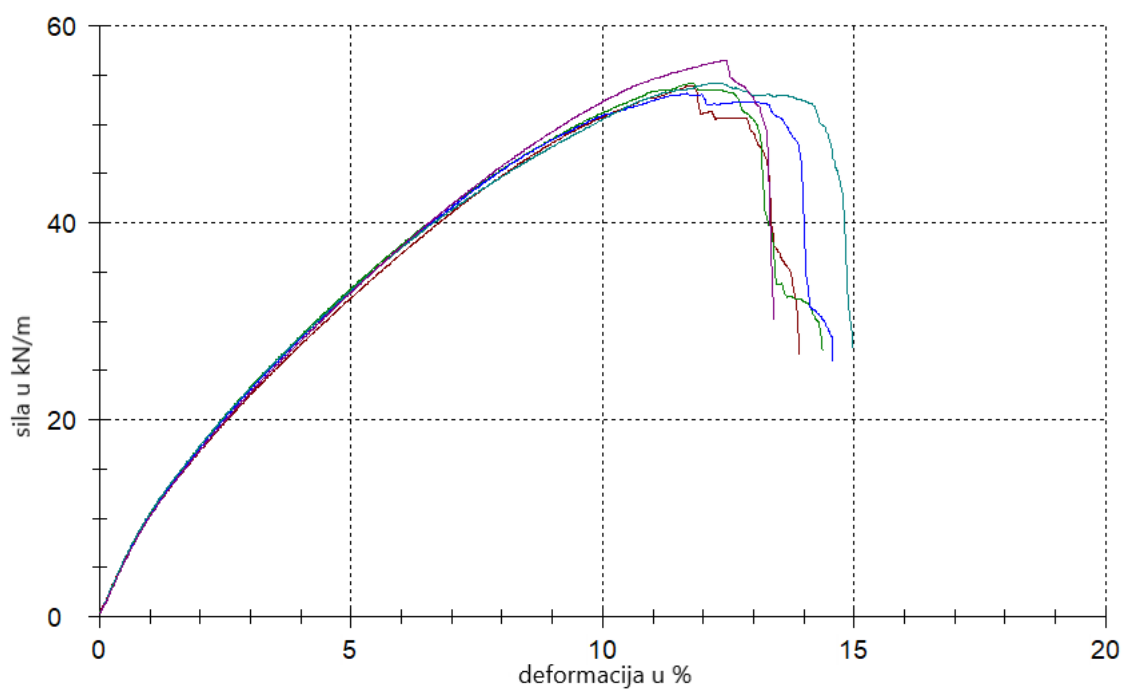
Slika 18. Odnos naprezanja i deformacija - dvoosna geomreža, smjer ispitivanja 30°



Slika 19. Odnos naprezanja i deformacija - dvoosna geomreža, smjer ispitivanja 45°



Slika 20. Odnos naprezanja i deformacija - dvoosna geomreža, smjer ispitivanja  $60^\circ$



Slika 21. Odnos naprezanja i deformacija - dvoosna geomreža, smjer ispitivanja CMD (poprečni- $90^\circ$ )

Tablica 8. Rezultati ispitivanja dvoosne geomreže, smjer ispitivanja 0°

| Uzorak                       | Orijentacija | F <sub>x1</sub> [kN] | F <sub>x2</sub> [kN] | F <sub>x3</sub> [kN] | F <sub>max</sub> | T <sub>max</sub> | ε <sub>max</sub> |
|------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1                            | 0°           | 1.12                 | 2.08                 | 3.51                 | 10.23            | 51.2             | 11.8             |
| 2                            | 0°           | 1.12                 | 2.06                 | 3.44                 | 10.06            | 50.3             | 11.2             |
| 3                            | 0°           | 1.15                 | 2.09                 | 3.47                 | 10.07            | 50.3             | 11.5             |
| 4                            | 0°           | 1.15                 | 2.06                 | 3.41                 | 9.68             | 48.4             | 11.4             |
| 5                            | 0°           | 1.18                 | 2.10                 | 3.48                 | 10.37            | 51.8             | 12.3             |
| <b>Maksimalna vrijednost</b> |              | 1.18                 | 2.10                 | 3.51                 | 10.37            | 51.8             | 12.3             |
| <b>Minimalna vrijednost</b>  |              | 1.12                 | 2.06                 | 3.41                 | 9.68             | 48.4             | 11.2             |

Iz tablice 8 vidljivo je da se vrijednosti vlačne čvrstoće pri slomu za smjer ispitivanja od 0° kreću u intervalu od 48,4 kN/m do maksimalne vrijednosti 51,8 kN/m. Vrijednosti deformacija se kreću u intervalu od 11,2% do 12,3% što je ujedno i maksimalna vrijednost deformacije.

Tablica 9. Rezultati ispitivanja dvoosne geomreže, smjer ispitivanja 30°

| Uzorak                       | Orijentacija | F <sub>x1</sub> [kN] | F <sub>x2</sub> [kN] | F <sub>x3</sub> [kN] | F <sub>max</sub> | T <sub>max</sub> | ε <sub>max</sub> |
|------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1                            | 30°          | 0,55                 | 1,00                 | 1,69                 | 4,79             | 24,0             | 14,9             |
| 2                            | 30°          | 0,50                 | 0,95                 | 1,64                 | 5,66             | 28,3             | 16,5             |
| 3                            | 30°          | 0,62                 | 1,14                 | 1,96                 | 6,22             | 31,1             | 15,1             |
| 4                            | 30°          | 0,38                 | 0,78                 | 1,39                 | 4,97             | 24,9             | 15,8             |
| 5                            | 30°          | 0,51                 | 0,97                 | 1,67                 | 5,30             | 26,5             | 17,0             |
| <b>Maksimalna vrijednost</b> |              | 0,62                 | 1,14                 | 1,96                 | 6,22             | 31,1             | 17,0             |
| <b>Minimalna vrijednost</b>  |              | 0,38                 | 0,78                 | 1,39                 | 4,79             | 24,0             | 14,9             |

Iz tablice 9 vidljivo je da se vrijednosti vlačne čvrstoće pri slomu za smjer ispitivanja od 30° kreću u intervalu od 24,0 kN/m do maksimalne vrijednosti 31,3 kN/m. Vrijednosti deformacija se kreću u intervalu od 14,9% do 17,0% što je ujedno i maksimalna vrijednost deformacije.

Tablica 10. Rezultati ispitivanja dvoosne geomreže, smjer ispitivanja 45°

| Uzorak                       | Orijentacija | F <sub>x1</sub> [kN] | F <sub>x2</sub> [kN] | F <sub>x3</sub> [kN] | F <sub>max</sub> | T <sub>max</sub> | ε <sub>max</sub> |
|------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1                            | 45°          | 0,52                 | 0,95                 | 1,55                 | 5,71             | 28,6             | 20,7             |
| 2                            | 45°          | 0,47                 | 0,92                 | 1,64                 | 5,63             | 28,1             | 13,8             |
| 3                            | 45°          | 0,49                 | 0,92                 | 1,59                 | 4,47             | 22,4             | 15,2             |
| 4                            | 45°          | 0,39                 | 0,75                 | 1,32                 | 4,74             | 23,7             | 16,8             |
| 5                            | 45°          | 0,49                 | 0,93                 | 1,60                 | 5,18             | 25,9             | 18,0             |
| <b>Maksimalna vrijednost</b> |              | 0,52                 | 0,95                 | 1,64                 | 5,71             | 28,6             | 20,7             |
| <b>Minimalna vrijednost</b>  |              | 0,39                 | 0,75                 | 1,32                 | 4,47             | 22,4             | 13,8             |

Iz tablice 10 vidljivo je se da vrijednosti vlačne čvrstoće pri slomu za smjer ispitivanja od 45° kreću u intervalu od 22,4 kN/m do maksimalne vrijednosti 28,6 kN/m. Vrijednosti deformacija se kreću u intervalu od 13,8% do 20,7% što je ujedno i maksimalna vrijednost deformacije.

Tablica 11. Rezultati ispitivanja dvoosne geomreže, smjer ispitivanja 60°

| Uzorak                       | Orijentacija | F <sub>x1</sub> [kN] | F <sub>x2</sub> [kN] | F <sub>x3</sub> [kN] | F <sub>max</sub> | T <sub>max</sub> | ε <sub>max</sub> |
|------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1                            | 60°          | 0,51                 | 0,99                 | 1,71                 | 6,23             | 31,1             | 16,4             |
| 2                            | 60°          | 0,56                 | 1,04                 | 1,75                 | 6,17             | 30,8             | 15,9             |
| 3                            | 60°          | 0,53                 | 1,02                 | 1,70                 | 6,43             | 32,2             | 19,2             |
| 4                            | 60°          | 0,47                 | 0,91                 | 1,59                 | 6,21             | 31,1             | 17,1             |
| 5                            | 60°          | 0,48                 | 0,95                 | 1,63                 | 5,56             | 27,8             | 17,0             |
| <b>Maksimalna vrijednost</b> |              | 0,56                 | 1,04                 | 1,75                 | 6,43             | 32,2             | 19,2             |
| <b>Minimalna vrijednost</b>  |              | 0,47                 | 0,91                 | 1,59                 | 5,56             | 27,8             | 15,9             |

Iz tablice 11 vidljivo je da se vrijednosti vlačne čvrstoće pri slomu za smjer ispitivanja od 60° kreću u intervalu od 27,8 kN/m do maksimalne vrijednosti 32,2 kN/m. Vrijednosti deformacija se kreću u intervalu od 15,9% do 19,2% što je ujedno i maksimalna vrijednost deformacije.

Tablica 12. Rezultati ispitivanja dvoosne geomreže, smjer ispitivanja 90°

| Uzorak                       | Orijentacija | F <sub>x1</sub> [kN] | F <sub>x2</sub> [kN] | F <sub>x3</sub> [kN] | F <sub>max</sub> | T <sub>max</sub> | ε <sub>max</sub> |
|------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1                            | 90°          | 1,16                 | 2,04                 | 3,36                 | 10,76            | 53,8             | 11,8             |
| 2                            | 90°          | 1,16                 | 2,09                 | 3,47                 | 10,83            | 54,1             | 11,8             |
| 3                            | 90°          | 1,12                 | 2,05                 | 3,43                 | 10,62            | 53,1             | 11,7             |
| 4                            | 90°          | 1,18                 | 2,10                 | 3,47                 | 10,83            | 54,2             | 12,3             |
| 5                            | 90°          | 1,11                 | 2,03                 | 3,38                 | 11,29            | 56,4             | 12,4             |
| <b>Maksimalna vrijednost</b> |              | 1,18                 | 2,10                 | 3,47                 | 11,29            | 56,4             | 12,4             |
| <b>Minimalna vrijednost</b>  |              | 1,11                 | 2,03                 | 3,36                 | 10,62            | 53,1             | 11,7             |

Iz tablice 12 vidljivo je da se vrijednosti vlačne čvrstoće pri slomu za smjer ispitivanja od 90° kreću u intervalu od 53,1 kN/m do maksimalne vrijednosti 56,4 kN/m. Vrijednosti deformacija se kreću u intervalu od 11,7% do 12,4% što je ujedno i maksimalna vrijednost deformacije.

Tablica 13. Prikaz rezultata ispitivanja dvoosne geomreže u svim smjerovima ispitivanja

| Ispitni uzorak | Najveća vlačna čvrstoća (kN/m) | Koeficijent varijacije (%) | Istezanje kod najveće vlačne sile (%) | Vlačna čvrstoća kod 0,5 % deformacije (kN/m) | Vlačna čvrstoća kod 1 % deformacije (kN/m) | Vlačna čvrstoća kod 2 % deformacije (kN/m) |
|----------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Smjer 0°       | 50,4                           | 2,6                        | 11,6                                  | 5,7                                          | 10,4                                       | 17,3                                       |
| Smjer 30°      | 26,9                           | 10,6                       | 15,9                                  | 2,55                                         | 4,85                                       | 8,35                                       |
| Smjer 45°      | 25,7                           | 10,6                       | 16,9                                  | 2,36                                         | 4,47                                       | 7,70                                       |
| Smjer 60°      | 30,6                           | 5,4                        | 17,1                                  | 2,55                                         | 4,91                                       | 8,38                                       |
| Smjer 90°      | 54,3                           | 2,3                        | 12,0                                  | 5,7                                          | 10,3                                       | 17,1                                       |

U tablici 13 možemo usporediti konačne rezultate po svim smjerovima. Vidljivo je da su najveće i ujednačene vlačne čvrstoće mreže dobivene u dva glavna ortogonalna smjera  $0^\circ$  i  $90^\circ$  dok je minimalna vrijednost dobivena u smjeru ispitivanja  $45^\circ$ , što je bilo i za očekivati. Koeficijent varijacije vrijednosti vlačne čvrstoće je bio dosta visok kod smjerova  $30^\circ$  i  $45^\circ$ , a kod smjerova  $0^\circ$  i  $90^\circ$  su zabilježene vrlo male i gotovo jednake vrijednosti koeficijenta varijacije što ukazuje na visoku homogenost svojstava mreže u dva glavna ortogonalna smjera odnosno na dobru kvalitetu mreže.

U tablici 14 prikazane su vrijednosti radijalne krutosti mreže pri deformaciji od 0,5 % za sve smjerove. Radijalne krutosti za dva glavna ortogonalna smjera su gotovo jednake, a identično ponašanje je dobiveno i u smjerovima  $30^\circ$  i  $60^\circ$ . Ovi rezultati također ukazuju na visoku kvalitetu ispitane mreže.

Tablica 14. Vrijednosti vlačne sile i radijalne krutosti pri deformaciji 0,5% za svaki smjer

| <b>Ispitni uzorak</b> | <b>Sila na 0,5% deformacije<br/>(kN)</b> | <b>Radijalna krutost pri 0,5%<br/>deformacije (kN/m)</b> |
|-----------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Smjer $0^\circ$       | 1,14                                     | 1140                                                     |
| Smjer $30^\circ$      | 0,51                                     | 510                                                      |
| Smjer $45^\circ$      | 0,47                                     | 470                                                      |
| Smjer $60^\circ$      | 0,51                                     | 510                                                      |
| Smjer $90^\circ$      | 1,15                                     | 1150                                                     |

## 5. ZAKLJUČAK

Geosintetici su sintetički materijali neophodni u suvremenom građevinarstvu proizvedeni od polietilena, polipropilenskog polimera ili ugljikovodičnih lanaca koji se koriste za širok spektar inženjerske primjene, najčešće kod stabilizacije terena.

Obavljena analiza rezultata ispitivanja uzoraka netkanog geotekstila pokazuje da se vlačna čvrstoća kreće u vrlo širokom rasponu vrijednosti, od primjera radi, minimalne vrijednosti 15 kN/m do maksimalnih 27 kN/m u uzdužnom smjeru, gdje je srednja vrijednost oko 21,8 kN/m, standardno odstupanje 2,8 kN/m, a koeficijent varijacije 12,8 %. Isto tako, deformacija izduženja geotekstila u uzdužnom smjeru se kreće u širokom rasponu vrijednosti, od minimalnih 65,8 % do maksimalnih 106,5 %, gdje je srednja vrijednost 85,8 %, a koeficijent varijacije 10,4 %. Prosječna vlačna čvrstoća u poprečnom smjeru je bila oko 30 % veća od iste u uzdužnom smjeru. Koeficijent varijacije vlačne čvrstoće se kreće u rasponu od minimalno 9,0 % u poprečnom smjeru do maksimalno 14,9 % u dijagonalnom smjeru. Koeficijent varijacije deformacije izduženja se kreće u rasponu od minimalno 10,4 % u uzdužnom smjeru do maksimalno 28,2 % u dijagonalnom smjeru. Najveći rasapi odnosno odstupanja od prosječnih vrijednosti parametara vlačne čvrstoće i deformacije izduženja su zabilježeni u dijagonalnom smjeru.

Činjenica da se u svim ovdje prikazanim i analiziranim ispitivanjima uzoraka netkanog geotekstila radi o istom tipu proizvoda, koji je uzorkovan prema standardnoj proceduri iz različitih šarži materijala kroz vremenski period od 1,5 god, i koji prema deklaraciji proizvođača kroz navedeni period slijedi iste tehničke specifikacije, ukazuje na vrlo veliki rasap vrijednosti vlačne čvrstoće i deformacijskih svojstava kod ovakvog tipa geosintetika, čije se prosječne vrijednosti približno nalaze unutar graničnih vrijednosti deklariranih od strane proizvođača. Međutim, treba reći da su vrijednosti određenog broja uzoraka bile i znatno ispod očekivanih vrijednosti prema tehničkoj specifikaciji proizvoda. Korisnici ovih proizvoda trebaju biti svjesni činjenice da mehanička svojstva netkanog geotekstila mogu znatno varirati, od šarže do šarže, te je stoga nužno kontrolirati njihova svojstva kako bi se izbjegla skupa iznenađenja odnosno posljedice.

Usporedbom konačnih rezultata po svim smjerovima, vidljivo je da su najveće i ujednačene vlačne čvrstoće geomreže dobivene u dva glavna ortogonalna smjera 0° i

90°, dok je minimalna vrijednost dobivena u smjeru ispitivanja 45°, što je bilo i za očekivati. Koeficijent varijacije vrijednosti vlačne čvrstoće je bio dosta visok kod smjerova 30° i 45°, a kod smjerova 0° i 90° su zabilježene vrlo male i gotovo jednake vrijednosti koeficijenta varijacije što ukazuje na visoku homogenost svojstava mreže u dva glavna ortogonalna smjera odnosno na dobru kvalitetu mreže.

Radijalne krutosti za dva glavna ortogonalna smjera su gotovo jednake, a identično ponašanje je dobiveno i u smjerovima 30° i 60°. Ovi rezultati također ukazuju na visoku kvalitetu ispitane mreže.

## Literatura

- [1] Kavur, B. Geosintetici. Nastavni materijali za kolegij Geotehničko-ekološki zahvati. Geotehnički fakultet u Varaždinu, ak.god. 2017/18.
- [2] Mulabdić, M., Bošnjaković, M. (2011). Pojmovnik geosintetika. Izdavač: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet.
- [3] G.M.A.: Handbook of geosynthetics, 2. izdanje, 2012.
- [4] Rak, H.(2013). Armiranje asfaltnih slojeva kolnika geomrežom. Građevinski fakultet, Sveučilišta u Zagrebu. Rad izrađen pod vodstvom prof. dr.sc. T. Rukavina i predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u ak.god. 2012/2013.
- [5] Industrija poliestera Varaždin: Primjena poliestera u graditeljstvu,Zagreb, 1994.
- [6] Babić, B i dr. (1995). Geosintetici u graditeljstvu, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb.
- [7] Sharma H.D, Lewis S.P. Geotextiles (1994). Waste Containment Systems, Waste Stabilization, and Landfills: Design and Evaluation. New York
- [8] Ignat, M.-E.; Teacă, C.-A. (2022). Geotextiles—A Versatile Tool for Environmental Sensitive Applications in Geotechnical Engineering. Textiles 2022, 2, 189–208. <https://doi.org/10.3390/textiles2020011>.
- [9] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geotextile-GSI.JPG>
- Datum pristupa: 05.07.2021.
- [10] <https://happho.com/geogrids-manufacturing-process-applications-advantages/>
- Datum pristupa: 06.07.2021.
- [11] Koerner, R. M., Editor (2016). Geotextiles: From Design to Applications, Woodhead Publishing Co., Amsterdam.
- [12] HRN EN ISO 10319:2015, Geosintetici - Vlačno ispitivanje na širokim trakama, eng. Geosynthetics - Wide-width tensile test.
- [13] Burazer Iličić, F., Tukša, A. (2017). Vlačna ispitivanja geomreža. Građevinski fakultet, Sveučilišta u Zagrebu. Rad izrađen pod vodstvom prof. dr.sc. T. Rukavina i predan na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u ak.god. 2016/2017.

.

[14] EOTA TR41 2012., Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate.

[15] <https://www.eota.eu/en-GB/content/technical-reports/28/>

Datum pristupa: 23.06.2021

## Popis slika

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1. Povezivanje polietilenskih monomera u makromolekulu (polimerizacija) [6] ...                                     | 4  |
| Slika 2. Niti osnove i potke u tkanom geotekstilu [6] .....                                                               | 6  |
| Slika 3. Različite vrste geotekstila [9] .....                                                                            | 7  |
| Slika 4. Priprema dvoosne geomreže za ispitivanje vlačnih svojstava .....                                                 | 9  |
| Slika 5. Različite vrste geomreža (a) dvoosna geomreža, (b) troosna geomreža, .....                                       | 10 |
| Slika 6. Opterećenje po jedinici širine/krivulja deformacije [12].....                                                    | 13 |
| Slika 7. Kidalice proizvođača Zwick/Roell Z100.....                                                                       | 14 |
| Slika 8. Shematski prikaz smjerova ispitivanja prema EOTA TR 41 [14].....                                                 | 16 |
| Slika 9. Odnos srednje vrijednosti vlačne čvrstoće i pripadne srednje vrijednosti deformacije za uzdužni smjer .....      | 25 |
| Slika 10. Odnos vlačne čvrstoće i deformacije za uzdužni smjer.....                                                       | 25 |
| Slika 11. Odnos srednje vrijednosti vlačne čvrstoće i pripadne srednje vrijednosti deformacije za poprečni smjer .....    | 26 |
| Slika 12. Odnos vlačne čvrstoće i deformacije za poprečni smjer .....                                                     | 26 |
| Slika 13. Odnos srednje vrijednosti vlačne čvrstoće i pripadne srednje vrijednosti deformacije za dijagonalni smjer ..... | 27 |
| Slika 14. Odnos vlačne čvrstoće i deformacije za dijagonalni smjer .....                                                  | 27 |
| Slika 15. Odnos vlačne čvrstoće i deformacije za uzdužni, poprečni i dijagonalni smjer .....                              | 29 |
| Slika 16. Izrezani ispitni uzorci geomreže za ispitivanja s orijentacijom: 0°, 30°,45°, 60°, 90° .....                    | 30 |
| Slika 17. Odnos naprezanja i deformacija - dvoosna geomreža, smjer ispitivanja MD (uzdužni-0°) .....                      | 31 |
| Slika 18. Odnos naprezanja i deformacija - dvoosna geomreža, smjer ispitivanja 30° ..                                     | 32 |
| Slika 19. Odnos naprezanja i deformacija - dvoosna geomreža, smjer ispitivanja 45° ..                                     | 32 |
| Slika 20. Odnos naprezanja i deformacija - dvoosna geomreža, smjer ispitivanja 60° ..                                     | 33 |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 21. Odnos naprezanja i deformacija - dvoosna geomreža, smjer ispitivanja CMD<br>(poprečni-90°)..... | 33 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## Popis tablica

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablica 1. Vrste polimera koji se koriste za proizvodnju geotekstila [11] .....                             | 11 |
| Tablica 2. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u uzdužnom smjeru.....                         | 19 |
| Tablica 3. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u poprečnom smjeru .....                       | 21 |
| Tablica 4. Rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u dijagonalnom smjeru .....                    | 23 |
| Tablica 5. Statistička analiza rezultata ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u uzdužnom smjeru.....     | 28 |
| Tablica 6. Statistička analiza rezultata ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u poprečnom smjeru.....    | 28 |
| Tablica 7. Statistička analiza rezultata ispitivanja vlačne čvrstoće geotekstila u dijagonalnom smjeru..... | 29 |
| Tablica 8. Rezultati ispitivanja dvoosne geomreže, smjer ispitivanja 0° .....                               | 34 |
| Tablica 9. Rezultati ispitivanja dvoosne geomreže, smjer ispitivanja 30° .....                              | 34 |
| Tablica 10. Rezultati ispitivanja dvoosne geomreže, smjer ispitivanja 45° .....                             | 35 |
| Tablica 11. Rezultati ispitivanja dvoosne geomreže, smjer ispitivanja 60° .....                             | 35 |
| Tablica 12. Rezultati ispitivanja dvoosne geomreže, smjer ispitivanja 90° .....                             | 36 |
| Tablica 13. Prikaz rezultata ispitivanja dvoosne geomreže u svim smjerovima ispitivanja.....                | 36 |
| Tablica 14. Vrijednosti vlačne sile i radijalne krutosti pri deformaciji 0,5% za svaki smjer.....           | 37 |

## Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu

MD- (eng. machine direction) smjer proizvodnje

CMD- (eng. cross machine direction) okomito na smjer proizvodnje

HRN EN 10319 - Europska norma „Geotextiles - Wide-width tensile test“

EOTA TR 41 – dokument „Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate“

PP- polipropilen

PET- polietilen teraftalen

PE- polietilen

$F_{x1}$ - sila pri deformaciji od 0,5%

$F_{x2}$ - sila pri deformaciji od 1%

$F_{x3}$ - sila pri deformaciji od 2%

$F_{max}$ - najveća zabilježena sila

$T_{max}$ - vrijednost vlačne čvrstoće pri slomu

$\varepsilon_{max}$ - vrijednost deformacije