

Vlačno ispitivanje čelika za armiranje

Košutić, Krešimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:500545>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

Krešimir Košutić

Vlačno ispitivanje čelika za armiranje

Završni rad

Rijeka, 2019. godina.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

Preddiplomski stručni studij
Osnove betonskih i zidanih konstrukcija

Krešimir Košutić
JMBAG: 0114030219

Vlačno ispitivanje čelika za armiranje
Tensile testing of steel for reinforcement

Završni rad

Rijeka, srpanj 2019. godina.

Naziv studija: Preddiplomski stručni studij
Znanstveno područje/područja: tehničke znanosti
Znanstveno polje/polja: građevinarstvo
Znanstvena grana/grane: nosive konstrukcije

Tema završnog rada

VLAČNO ISPITIVANJE ČELIKA ZA ARMIRANJE
TENSILE TESTING OF STEEL FOR THE REINFORCEMENT

Kandidat: **KREŠIMIR KOŠUTIĆ**
Kolegij: **OSNOVE BETONSKIH I ZIDANIH KONSTRUKCIJA**
Završni rad broj: _____

Zadatak:

Rad treba sadržavati:

- opis metoda vlačnog ispitivanja čelika za armiranje
- laboratorijsko ispitivanje čelika za armiranje

Tema rada je uručena: 7.3.2019.

Komentor:

Mentor:

dr.sc. Željko Smolčić

IZJAVA

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Krešimir Košutić

U Rijeci, 01. srpnja 2019.

IZJAVA

Završni rad izrađen je u sklopu znanstvenog projekta

Poboljšanje proračunskih modela za ocjenu stanja građevinskih konstrukcija

Voditelj projekta izv. prof. dr. sc. Ivana Štimac Grandić
Šifra projekta uniri-tehnic-18-127
Financijer projekta Sveučilište u Rijeci
Pravna nadležnost Republika Hrvatska

Završni rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta

Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci

Voditelj projekta prof. dr. sc. Nevenka Ožanić
Šifra projekta RC.2.2.06-0001
Financijer projekta Europski fond za regionalni razvoj (EFRR)
 Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta RH
Pravna nadležnost Republika Hrvatska

U Rijeci, 31. svibnja 2019.

Mentor:

dr.sc. Željko Smolčić

ZAHVALA

Ovim putem na kraju svog trogodišnjeg akademskog puta, želio bih se zahvaliti svim profesorima Građevinskog fakulteta u Rijeci koji su mi predavali ovih godina, na njihovom trudu i susretljivošću u svim aspektima. Posebno bih se želio zahvaliti svom mentoru Željku Smolčiću na vremenu, pristupu i pomoći oko ovog završnog rada bez kojeg ovo ne bi bilo ostvareno na najbolji mogući način. Zahvalio bih se i svojoj obitelji na podršci tijekom ove tri godine studiranja, a posebice svom bratu Danijelu koji je bio najveća podrška i motivacija. Također se zahvaljujem i našim tetama iz referade koje su uvijek bile tu za mene i svako moje pitanje bez obzira kada i koliko puta.

SAŽETAK

U radu će biti detaljno opisan i prikazan cijeli postupak ispitivanja čelika za armiranje, od same pripreme uzoraka do konačnog ispitivanja uzoraka, prema normi HRN EN ISO 15630-1:2010 koja se poziva na normu HRN EN ISO 6892-1:2016. Provođenjem ovog ispitivanja dobiti ćemo uvid u mehanička svojstva čelika u ovisnosti o brzini nanošenja opterećenja. Normom HRN EN ISO 6892-1:2016 su definirane dvije metode ispitivanja, metoda A i B, od kojih je normom preporučena metoda A koja koristi kontrolu brzine deformacije. Vlačno ispitivanje čelika za armiranje biti će provedeno na uzorcima armaturnih šipki B500B primjenom metoda A1, A2 i B u skladu s normom HRN EN ISO 6892-1:2016.

Ključne riječi: vlačno ispitivanje, čelik za armiranje, norma, metode

ABSTARCT

The whole procedure for the reinforcement steel from the sample preparation itself to the final sample testing will be described in detail and presented in accordance with HRN EN ISO 15630-1:2010, which is referred to HRN EN ISO 6892-1:2016. By carrying out this test, we will gain insight into the mechanical properties of the steel depending on the rate of application of the test speed. Norms HRN EN ISO 6892-1: 2016 define two test methods, methods A and B, of which method A is recommended since it uses the strain control according to the norm. Tensile testing of reinforcing steel will be carried out on samples of reinforcing rods B500B using methods A1, A2 and B according to HRN EN ISO 6892-1: 2016.

Key words: tensile testing, steel for the reinforcement, norm, methods

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. NORME.....	3
2.1. HRN EN ISO 15630-1:2010.....	3
2.2. HRN EN ISO 6892-1:2016.....	7
2.2.1. Mjere uvjetovane normom za uređaj za ispitivanje i ekstenzometar	7
2.3. Brzine ispitivanja bazirane na brzini deformacije (metoda A)	8
2.3.1. Brzine deformacije za utvrđivanje R_{eH} ili R_p ili R_t	9
2.3.2. Brzine deformacije za određivanje R_{eL} i A_e	9
2.3.3. Brzine deformacije za određivanje R_m , A , A_{gt} , A_g i Z	10
2.4. Brzine ispitivanja bazirane na brzini naprezanja(metoda B)	10
2.4.1. Gornja granica popuštanja (R_{eH}) i donja granica popuštanja (R_{eL})	11
2.4.2. Granica popuštanja-trajna i ukupna deformacija.....	11
2.4.3. Brzine ispitivanja za određivanje R_m , A , A_{gt} , A_g i Z	11
3. PROCES PRIPREME ISPITNIH UZORAKA ZA ISPITIVANJE	12
3.1. Uređaji korišteni za kondicioniranje uzoraka	12
3.2. Proces umjetnog starenja	13
4. VLAČNO ISPITIVANJE ČELIKA ZA ARMIRANJE	15
4.1. Priprema za ispitivanje.....	15
4.2. Postavljanje i značaj preopterećenja	16
4.3. Elastično područje.....	16
4.4. Popuštanje-dostizanje granice popuštanja	17
4.5. Plastično područje	18
5. REZULTATI ISPITIVANJA PROVEDENI METODAMA A1, A2 i B	21
6. NAČIN OZNAČAVANJA U NORMAMA.....	28
7. ZAKLJUČAK.....	29
8. LITERATURA	30

1. UVOD

U prvom dijelu ovog rada opisane su norme za ispitivanje čelika za armiranje koje moraju osigurati na globalnoj razini i u određenim uvjetima, nepromjenjive fiziklane, mehaničke i kemijske osobine, neovisno o zemlji porijekla. Ova ispitivanja imaju za cilj provjeru određenih svojstava definiranih odgovarajućim standardom. U procesu određivanja deklariranih svojstava bitno je provesti ispitivanje mehaničkih svojstava, a da pri tome bude osigurana kvaliteta proizvoda. Nekoliko je osnovnih podjela pri ispitivanju mehaničkih svojstava čelika za armiranje: vlačno ispitivanje, tlačno ispitivanje, ispitivanje na savijanje i ispitivanje na zamor.

Postupak pripreme ispitnih uzoraka i ispitivanje svojstava čelika za armiranje u Hrvatskoj provodi se prema normi HRN EN ISO 15630-1:2010 [1]. U normi HRN EN ISO 15630-1:2010 dana je osnovna metoda vlačnog ispitivanja za čelik, koja se dalje poziva na normu HRN EN ISO 6892-1:2016 [2]. Norma HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] je ujedno i osnovna norma za vlačno ispitivanje metalnih materijala pri sobnoj temperaturi.

Vlačno ispitivanje metalnih materijala definirano je u normi HRN EN ISO 6892:2016 [2] u obliku dviju metoda ispitivanja, metoda A i metoda B. Metoda A se dijeli na dvije metode, metoda A1 i metoda A2. Metoda A1 ili metoda zatvorene petlje („closed loop“) uključuje kontrolu same brzine deformacije, koja se temelji na povratnim informacijama dobivenim iz ekstenzometra. Metoda A2 ili metoda otvorene petlje („open loop“) uključuje kontrolu procijenjene brzine deformacije preko paralelne duljine, što se postiže uporabom odvajanja križne glave.

Mehanička svojstva kod čelika, kao i kod većine materijala, ovisna su o brzini nanošenja opterećenja. Pri procesu ispitivanja kod pojedinih metala nailazimo na veliku osjetljivost na granicu popuštanja uzrokovanu brzinom ispitivanja, s tim u vidu bitno je smanjiti varijaciju brzine ispitivanja na minimum do trenutka određivanja granice popuštanja kako bi smanjili greške pri očitavanju rezultata ispitivanja. Faktor koji također utječe na rezultate ispitivanja je krutost uređaja za ispitivanje (kidalica) [3]. Što je kidalica

kruća pri istoj brzini pomaka pomične grede to će brzina deformacije na uzorku biti veća, također, posljedica toga će biti i veća mehanička svojstva.

Iz gore navedenih argumenata, metoda A je preporučena metoda ispitivanja prema normi HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] jer se bazira na kontroli brzine deformacije (metoda A1) ili na procijenjenoj brzini deformacije preko duljine ispitnog dijela uzorka (metoda A2). Tolerancije na brzinu deformacije su iznimno stroge u metodama A1 i A2 i iznose $\pm 20\%$.

U ovom radu naglasak će u većem dijelu biti na metodu A1, koja koristi kontrolu deformacije u zatvorenoj petlji („closed loop“), ali će se prikazati rezultati ispitivanja i objasniti metode A2 i B. Uređaj koji je korišten za vlačno ispitivanje čelika za armiranje je *Zwick Z 600E* (slika 1.), univerzalni vlačno-tlačni uređaj (kidalica) nabavljen projektom RISK [4] i koji zadovoljava stroge uvjete ispitivanja prema metodi A1 norme HRN EN ISO 6892-1:2016 [2].



Slika 1. Univerzalni tlačno-vlačni stroj za ispitivanje (kidalica)

2. NORME

Norme korištene za ovo ispitivanje prihvaćene su u Hrvatskom zavodu za norme i primjenjuju se u Republici Hrvatskoj. Svi potrebni uvjeti i standardi ispitivanja koji su korišteni u ovom radu definirani su normama HRN EN ISO 15630-1:2010 i HRN EN ISO 6892-1:2016. Uređaj za ispitivanje (kidalice) verificiran je i kalibriran prema normi HRN EN ISO 7500-1:2007/Ispr.1:2009 i za potrebe ispitivanja mora biti barem klase 1.

2.1. HRN EN ISO 15630-1:2010

Metode koje su korištene u ovom radu definirane su normom HRN EN ISO 15630-1:2010 [1] i u ovom poglavlju rada odnose se na vlačno ispitivanje čelika za armiranje. Norma HRN EN ISO 15630-1:2010 [1] obuhvaća još i druge metode ispitivanja čelika za armiranje poput ispitivanja na savijanje, kemijska analiza, ispitivanje na zamor, ispitivanje na povratno savijanje i mjerenje geometrijskih karakteristika, ali na njih nije stavljen glavni značaj ovog rada.

Norme HRN EN ISO 15630-1:2010 [1] i HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] imaju gotovo identičan način označavanja veličina. Zbog boljeg i lakšeg razumijevanja u radu su korištene identične oznake veličina kao i u normama [1] i [2]. Primjer dijagrama naprezanje-deformacija čelika s izraženom granicom popuštanja dan je na slici 2., dok je na slici 3. dan dijagram naprezanje-deformacija čelika bez izražene granice popuštanja.

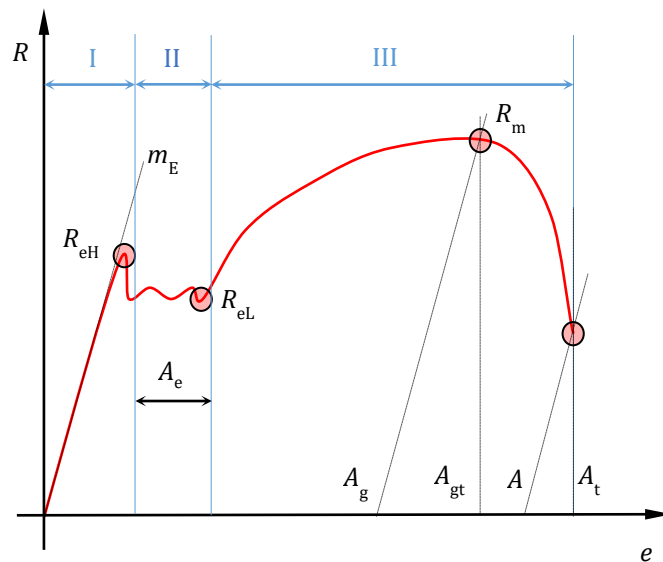
Uzorak za ispitivanje obično se uzima iz šipke, užeta ili žice u stanju kakvom je primljen na ispitivanje, ali pažnju treba obratiti da uzorak zadovoljava propisane i definirane norme proizvoda. Ukoliko je uzorak za ispitivanje savijen, nužno ga je uz minimalne plastične deformacije ispraviti.

Kako bi na uzorku odredili mehanička svojstva pri vlačnom ispitivanju, uzorak možemo izložiti procesu umjetnog starenja, odnosno u zavisnosti od zahtjeva danih normom proizvoda. U slučaju da norma ne određuje postupak umjetnog starenja, tada

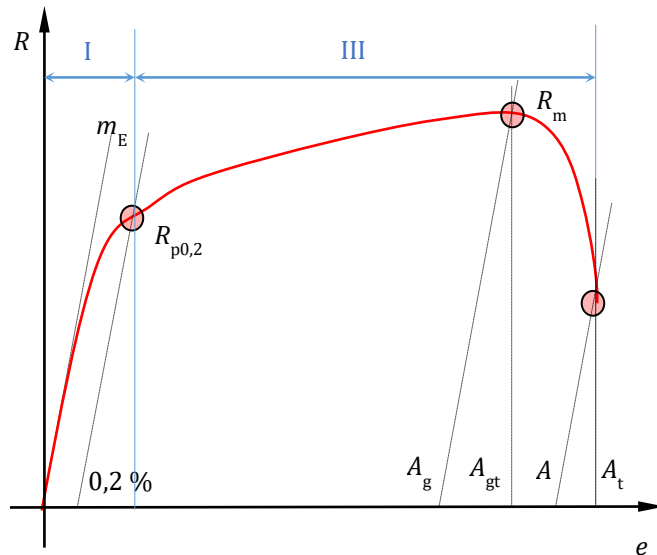
treba ispuniti sljedeće zahtjeve: zagrijavanje uzorka na 100 °C, zadržavanje te temperature ± 10 °C tijekom min i nakon toga se hladi na mirnom zraku do sobne temperature.

Da bi nam uzorak zadovoljio potrebe ispitivanja, slobodna duljina uzorka, koja se mjeri između čeljusti kidalice („grip to grip“), mora biti dovoljna za određivanje A (trajne deformacije nakon loma izražene u postocima).

Normom HRN EN ISO 7500-1:2007/Ispr.1:2009 [5] imamo propisane uvjete po kojima uređaj za ispitivanje (kidalica) mora biti provjerene točnosti te ispitani i podešen da odgovara metodi ispitivanja. Uređaj za ispitivanje (kidalica) također mora zadovoljavati uvjet koji nalaže da mora biti barem klase 1.

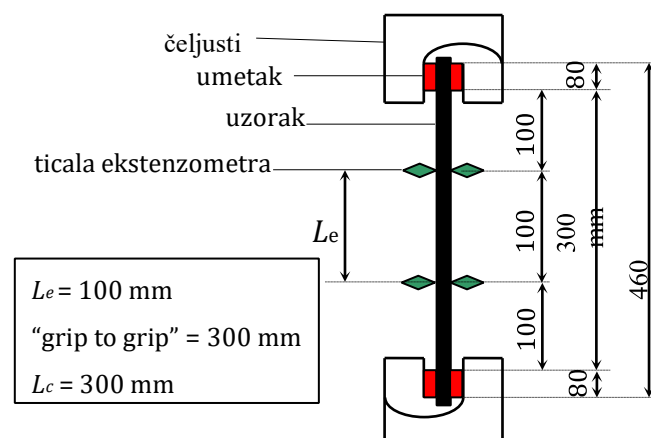


Slika 2. Dijagram naprezanje-deformacija čelika s izraženom granicom popuštanja



Slika 3. Dijagram naprezanje-deformacija čelika bez izražene granice popuštanja

Prilikom korištenja ekstenzometra moramo obratiti pozornost da nam bude u skladu s normom ISO 9513 [6], što znači da ekstenzometar mora biti barem klase 1, kako bi se mogla odrediti $R_{p0,2}$ (granica popuštanja pri trajnoj deformaciji od 0,2 %) i najmanje klase 2, kako bi se mogla odrediti A_{gt} (ukupna deformacija pri najvećoj sili izražena u postocima). Za određivanje A_{gt} (ukupna deformacija pri najvećoj sili izražena u postocima), ekstenzometar mora zadovoljiti L_e (mjerna duljina ekstenzometra) od najmanje 100 mm (slika 4.).



Slika 4. Uzorak u hidrauličnim čeljustima

Normom HRN EN IS 6892-1:2016 definiran je postupak vlačnog ispitivanja prema kojem će se izvesti ispitivanje u ovom radu. Kako bi odredili $R_{p0,2}$ (granica popuštanja pri trajnoj deformaciji od 0,2%), ako je ravni dio dijagrama naprezanje-deformacija ograničen ili nije jasno definiran, potrebno je pridržavati se jedne od sljedećih metoda:

- procedura preporučena u normi HRN EN ISO 6892-1:2016 [2]
- ravni dio dijagrama naprezanje-deformacija smatra se linija koja spaja točke koje odgovaraju $0,2 \cdot F_m$ (najveća sila u vlačnom ispitivanju) i $0,5 \cdot F_m$.

Ako nam rezultat ispitivanja pokazuje da se nagib linije razlikuje za više od 10% od teorijske vrijednosti modula elastičnosti, tada možemo uzeti da je ispitivanje nevažeće.

Kako bi proračunali vlačna svojstva R_{eH} (gornja granica popuštanja) ili $R_{p0,2}$ (granica popuštanja pri trajnoj deformaciji od 0,2%) i R_m (vlačna čvrstoća) upotrebljava se S_n (nominalna površina poprečnog presjeka), osim ako nije drugačije navedeno u odgovarajućoj normi za proizvod.

Ispitivanje će se smatrati nevažećim ako u čeljustima dođe do prekida ili na razmaku od čeljusti manjim od 20 mm ili d (nazivni promjer šipke) (ako je veći od 20 mm).

Da bi se odredio A (trajna postdeformacija u postocima), L_0 (početna mjerna duljina) mora biti jednaka $5 \cdot d$ (nazivni promjer šipke), osim ako nije drugačije navedeno u odgovarajućoj normi za proizvod.

Da bi se odredio A_{gt} (ukupna defomacija pri maksimalnoj sili, izražena kao postotak), norma HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] može se primjeniti sa sljedećom izmjenom:

- ako se A_{gt} određuje ručnom metodom nakon loma, A_{gt} se izračunava pomoću izraza:

$$A_{gt} = A_g + \frac{R_m}{2000} \quad (1)$$

gdje je A_g trajna deformacija maksimalne sile izražena kao postotak.

2.2. HRN EN ISO 6892-1:2016

U ovom poglavlju usredotočujemo se na vlačno ispitivanje metalnih materijala na sobnoj temperaturi, gdje nam je osnovna norma HRN EN ISO 6892-1:2016 [2]. Posebno treba ukazati na vrlo stroge mjere koje moraju zadovoljiti uređaj za ispitivanje i ekstenzometar. Ispitivanje po standardu norme HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] predlaže nam dvije metode ispitivanja, metodu A i metodu B. Pošto je normom HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] preporučena metoda ispitivanja metoda A, u radu će više informacija i rezultata biti usmjereno prema njoj. Zbog mogućnosti ispitivanja na vlak kontrolom deformacije u zatvorenoj petlji („closed loop“) i njezine zahtjevnosti, istaknut ćemo metodu A1 za čiji daljni rad trebamo povratnu informaciju iz ekstenzometra.

Da bi se ispitivanje moglo provesti temperatura zraka mora biti između $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sobna temperatura), ako nije drugačije navedeno. Za ispitivanje u kontroliranim uvjetima temperatura mora biti $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.2.1. Mjere uvjetovane normom za uređaj za ispitivanje i ekstenzometar

Niz mjera koje su uvjetovane normom HRN EN ISO 6892-1:2016 za potrebe ispitivanja, koje se odnose na uređaj za ispitivanje (kidalica) i ekstenzometar, iznimno su stroge i treba ih poštivati kako bi dobili što vjernije rezultate ispitivanja.

Kako bi mjerni sustav sile uređaja za ispitivanje (kidalice) bio u okvirima norme HRN EN ISO 7500-1:2007/Ispr.1:2009 [5], mora odogovarati barem klasi 1. Da bi odredili R_p (granicu popuštanja pri trajnoj deformaciji) ili R_t (granicu popuštanja pri ukupnoj deformaciji), u traženom području, normom ISO 9513 [6] definirano je da ekstenzometar mora biti barem klase 1. Kako bi riješili pitanje ostalih mehaničkih svojstava (s deformacijom većom od 5%) ekstenzometar mora zadovoljiti barem klasu 2 prema normi ISO 9513 [6] u traženom području.

Kroz normu HRN EN ISO 7500-1:2007/Ispr.1:2009 [5] također su definirani uvjeti koje mjerni sustav sile uređaja za ispitivanje (kidalica) mora zadovoljiti pri određivanju modula elastičnosti kod čelika za armiranje, a to je da zadovoljava barem klasu 1, u traženom području. Tako su i za ekstenzometar definirani uvjeti normom ISO 9513 [6], za određivanje modula elastičnosti čelika za armiranje, koji nalažu da ekstenzometar mora biti barem klase 0,5, u traženom području.

2.3. Brzine ispitivanja bazirane na brzini deformacije (metoda A)

Parametri osjetljivi na brzinu ispitivanja veoma su kompleksni po pitanju njihove točnosti tijekom višebrojnih ispitivanja, stoga je korištenje metode A prioritet kako bi oscilacije rezultata ispitivanja sveli na minimum. Kontrola brzine deformacije određena je sa dva tipa kontrole, metoda A1 i metoda A2. Kod metode A1 u zatvorenoj petlji („closed loop“) glavninu ispitivanja brzine deformacije dobivamo iz ekstenzometra koju objedinjuje kontrola brzine deformacije i povratna informacija iz ekstenzometra. U metodi A2 u otvorenoj petlji („open loop“) postizanjem kontrole brzine pomaka pomične grede v_c proračunate množenjem zahtijevane brzine deformacije s duljinom ispitnog dijela uzorka L_c dobivamo kontrolu koja uključuje deformaciju preko duljine ispitnog dijela uzorka.

Brzina deformacije mora udovoljavati sljedećim zahtjevima:

1) brzina deformacije za metodu A1 ili brzina pomaka pomične grede v_c u metodi A2 treba se koristiti do trenutka određivanja R_{eH} (gornja granica popuštnja), R_p (granica popuštnja pri trajnoj deformaciji) ili R_t (granica popuštnja pri ukupnoj deformaciji). Da bi ispitivanje imalo vjerodostojne rezultate neophodno je korištenje ekstenzometra koji će poništiti djelovanje krutosti kidalice i dati nam rezultat mjerenja deformacije [3]. U slučaju da se brzina deformacije na kidalici ne može kontrolirati može se primjeniti metoda A2.

2) diskontinuirano popuštnje dovodi do toga da je potrebno uzeti procijenjenu brzinu deformacije preko duljine ispitnog dijela uzorka. U ovom području javlja se problem prilikom uporabe ekstenzometra, naime nije moguće brzinu deformiranja svesti u kontrolirane granice što nam može dovesti do lokalnog popuštnja izvan mjerne duljine ekstenzometra L_c . Rješenje tog problema nalazimo u brzini pomaka pomične grede v_c u

otvorenoj petlji („open loop“), brzina pomaka pomične grede v_c ima konstantu brzinu što nam je dovoljno točno da se ona uzme kao potrebna procijenjena brzina deformacije preko duljine ispitnog dijela uzorka , a kako bi došli do te brzine koristit ćemo izraz:

$$v_c = L_c \cdot \dot{\epsilon}_{L_c} \quad (2)$$

3) područje koje dolazi nakon R_p (granica popuštanja pri trajnoj deformaciji) ili R_t (granica popuštanja pri ukupnoj deformaciji) ili pri kraju područja popuštanja treba se uzeti brzina deformacije ili . Zbog mogućnosti da se suženje presjeka ostvari izvan mjerne duljine ekstenzometra L_e i kako ne bi došlo do problema u trenutku postizanja čvrstoće uzorka koristit ćemo brzinu deformacije .

2.3.1. Brzine deformacije za utvrđivanje R_{eH} ili R_p ili R_t

Trenutak utvrđivanja R_{eH} (gornja granica popuštanja) ili R_p (granica popuštanja pri trajnoj deformaciji) ili R_t (granica popuštanja pri ukupnoj deformaciji) definiran je konstantnom brzinom deformacije . Dva raspona u kojima se mora kretati brzina deformacije tokom određivanja svojstava materijala su:

- raspon 1: , s relativnom tolerancijom od ± 20 %
- raspon 2: , s relativnom tolerancijom od ± 20 % (preporučeno).

Izravno primjenjivanje metode A2 biti će uvjetovano ako kidalica nije u mogućnosti kontrolirati brzinu deformacije.

2.3.2. Brzine deformacije za određivanje R_{eL} i A_e

Da bi bili u mogućnosti odrediti R_{eL} (donja granica popuštanja) i A_e (deformacija granice popuštanja izraženo u postocima) moramo paziti da nam tokom ispitivanja procijenjena brzina deformacije bude nepromjenjena, odnosno da ne smije biti variranja u procijenjenoj brzini deformiranja na duljini ispitnog dijela uzorka sve do kraja diskontinuiranog popuštanja. Dva raspona u kojima se mora kretati brzina deformacije tokom određivanja svojstava materijala su:

- raspon 2: , s relativnom tolerancijom od $\pm 20\%$ (preporučeno kada se određuje R_{eL})
- raspon 3: , s relativnom tolerancijom od $\pm 20\%$.

2.3.3. Brzine deformacije za određivanje R_m , A , A_{gt} , A_g i Z

U procesu utvrđivanja za R_m (vlačna čvrstoća), A (trajna deformacija nakon loma izražena u postocima), A_{gt} (ukupna deformacija pri najvećoj sili izražena u postocima), A_g (trajna deformacija pri najvećoj sili izražena u postocima) i Z (suženje površine poprečnog presjeka izraženo u postocima) slijedeća tri raspona ovog područja za procjenjenu brzinu deformacije preko duljine ispitnog uzorka su:

- raspon 2: , s relativnom tolerancijom od $\pm 20\%$
- raspon 3: , s relativnom tolerancijom od $\pm 20\%$
- raspon 4: , s relativnom tolerancijom od $\pm 20\%$ (preporučeno)

2.4. Brzine ispitivanja bazirane na brzini naprezanja(metoda B)

Glavna karakteristika metode B što se tiče brzine naprezanja je ta da ona bude konstantna u elastičnom području. Svrha metode B nije održavanje konstantne brzine naprezanja sile u zatvorenoj petlji kontrole sile pri određivanju parametra popuštanja, već samo za podešavanje brzine pomaka pomične grede kako bi se postigla željena brzina naprezanja u elastičnom području (tablica 1.).

Tablica 1. Brzine naprezanja za metodu B

Modul elastičnosti E [Mpa]	Brzine naprezanja \dot{R} [Mpa s ⁻¹]	
	minimalno	maksimalno
<150 000	2	20
$\geq 150\ 000$	6	60

2.4.1. Gornja granica popuštanja (R_{eH}) i donja granica popuštanja (R_{eL})

Za gornju granicu popuštanja (R_{eH}) tablicom 1. su određene granice brzine naprezanja unutar kojih brzina pomaka pomične grede kidalice mora biti konstantna.

U slučaju da određujemo samo donju granicu popuštanja (R_{eL}) brzina deformacije koja će zadovoljiti na duljini ispitnog dijela uzorka u procesu popuštanja mora biti u rasponu od $0,000\ 25\ s^{-1}$ do $0,002\ 5\ s^{-1}$.

Uz mogućnost provođenja istovremenog ispitivanja i za gornju granicu popuštanja (R_{eH}) i za donju granicu popuštanja (R_{eL}), uvjeti za određivanje donje granice popuštanja (R_{eL}) definirani su prema prethodnom odlomku.

2.4.2. Granica popuštanja-trajna i ukupna deformacija

U elastičnom području nailazimo na R_p (granica popuštanja pri trajnoj deformaciji) ili R_t (granica popuštanja pri ukupnoj deformaciji) za koje je određeno prema tablici 1. da brzine pomaka pomične grede kidalice mora biti konstantna u rasponima granica brzina naprezanja. Brzina deformacije ne smije prijeći $0,000\ 25\ s^{-1}$.

2.4.3. Brzine ispitivanja za određivanje R_m , A , A_{gt} , A_g i Z

U procesu utvrđivanja R_m (vlačna čvrstoća), A (trajna deformacija nakon loma izražena u postocima), A_{gt} (ukupna deformacija pri najvećoj sili izražena u postocima), A_g (trajna deformacija pri najvećoj sili izražena u postocima) i Z (suženje površine poprečnog presjeka izraženo u postocima) brzina deformacije (ili ekvivalentna brzine pomaka pomične grede kidalice) ne bi smijela biti veća od $0,008\ s^{-1}$.

3. PROCES PRIPREME ISPITNIH UZORAKA ZA ISPITIVANJE

Za potrebe ispitivanja korišten je čelik B500B promjera 8 mm. Kako bi dobili uzorke odgovarajuće dužine za ispitivanje šipka od 6 m i promjera 8 mm rezana je na uzorke duljine 500 mm. Pošto su u radu ispitane sve tri metode vlačnog ispitivanja čelika za armiranje za svaku metodu su bila pripremljena po tri uzorka šipki.

3.1. Uređaji korišteni za kondicioniranje uzoraka

1) Memmert sušionik UF260 je ventilirajući sušionik sa ostakljenim vratima koji služi za sušenje i kondicioniranje uzoraka. Volumen sušionika je 256 litara a radno područje temperature je od temperature okoliša + 10°C do 300°C (slika 5.).

2) Uređaj KIMO KISTOCK KTT310SET s sondama P TF-50 i softverom KIC2-N je termometar, data logger i software za obradu podataka. Uređaj služi za mjerenje temperature sa pohranom podataka. Mjerno područje temperature ovisno o tipu sonde: za sondu K od -200 °C do 1000 °C, za sondu J od -100 °C do 750 °C i za sondu T od 200 °C do 400 °C, dok je rezolucija 0,1 °C (slika 6.).



Slika 5. Memmert sušionik UF260



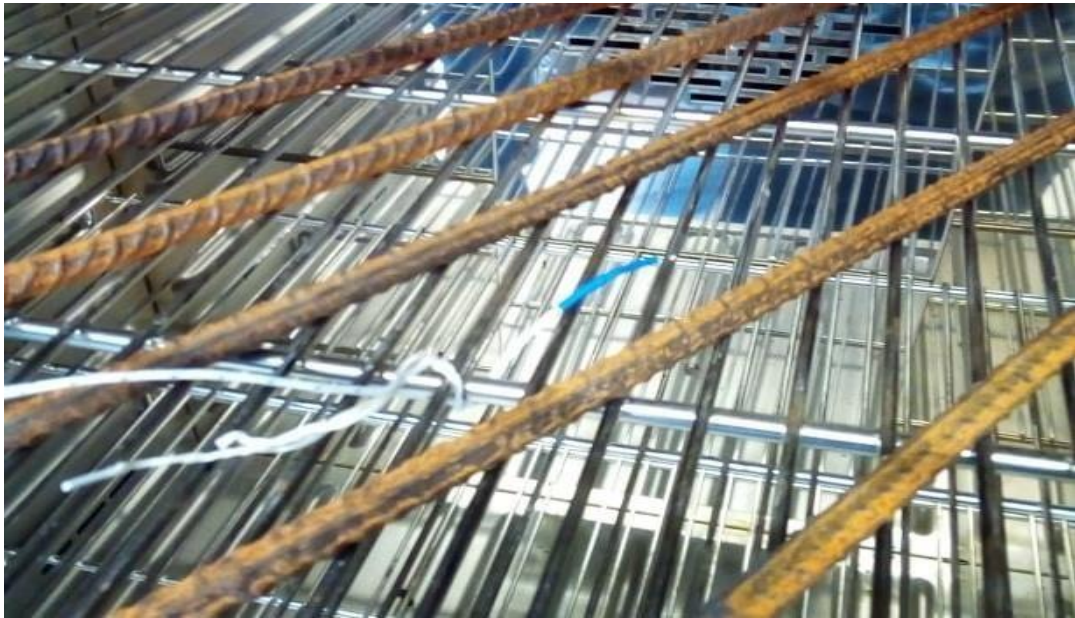
Slika 6. KIMO KISTOCK KTT310SET s sondama P TF-50

3.2. Proces umjetnog starenja

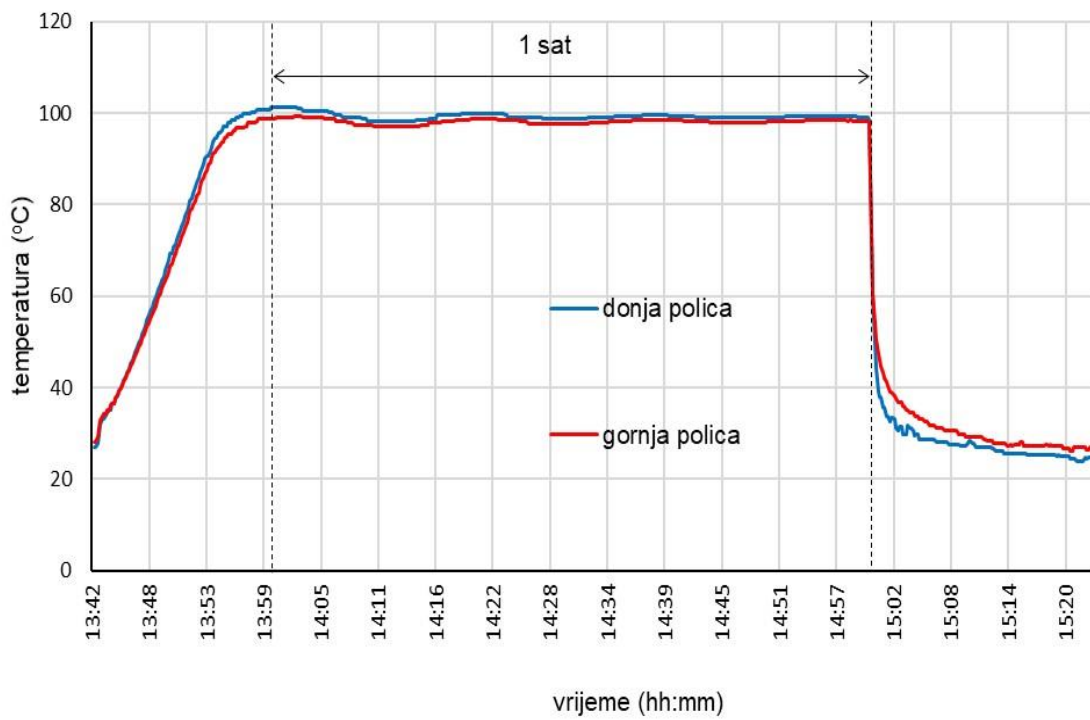
Da bi uzorak bio spreman za ispitivanje treba izvršiti proces umjetnog starenja (slika 7., slika 8.). Uzorci se zagrijavaju na 100°C i zadržavaju na toj temperaturi u oscilacijama $\pm 10^{\circ}\text{C}$ u vremenskom periodu od 1 h^{+15}_0 min te se nakon toga uzorci hlade na mirnom zraku do postizanja sobne temperature (slika 9.).



Slika 7. Uzorci spremni za proces umjetnog starenja



Slika 8. Prikaz sondi koje bilježe temperaturu unutar sušionika



Slika 9. Dijagram temperature u vremenu

4. VLAČNO ISPITIVANJE ČELIKA ZA ARMIRANJE

Vlačna čvrstoća u ovom ispitivanju dobivena je univerzalnim strojem za tlačno vlačno ispitivanje (kidalica) Zwick Z 600E kapaciteta 600 kN [4,7]. Najšira primjena ovog uređaja je za monotono statičko ispitivanje. Svaku vrstu ispitivanja na kidalici moguće je upotrijebiti sa kontrolom deformacije, kontrolom pomaka i kontrolom sile uz pomoć ekstenzometra. Kod ovog ispitivanja bitno je istaknuti da kidalica ispunjava stroge uvjete ispitivanja prema metodi A1 u skladu s normom HRN EN ISO 68921:2016 [2].

Kao i svako ispitivanje tako je i ovo podijeljeno u nekoliko glavnih cjelina vlačnog ispitivanja čelika za armiranje [8]. Započinjemo sa pripremom za ispitivanje, nakon toga na uređaju podešavamo predopterećenje i zatim pratimo područja deformacije koja se pojavljuju tijekom ispitivanja.

4.1. Priprema za ispitivanje

Ispitivanje započinjemo postavljanjem uložaka za prihvat okruglih uzoraka promjera od 8 do 18 mm u hidraulične čeljusti kidalice. Da bi mogli pratiti nanošenje sile koristit ćemo mjernu ćeliju kapaciteta 600 kN. Za praćenje deformacije samog uzorka koristit će se ekstenzometar s odgovarajućim ticalima. Podaci koji će se mjeriti tijekom ispitivanja su pomak pomične grede, deformacija ekstenzometra, sila na mjernoj ćeliji i vrijeme trajanja ispitivanja.

Svaki trenutak ispitivanja nadzire se i upravlja preko računala spojenog na kidalicu pomoću programa *testXpert II* [4,7]. Ovisno o metodi ispitivanja, u program se unose parametri koji su bitni za ispitivanje određene metode. Duljina ispitnog dijela uzorka je $L_c=300$ mm, koja se temelji na slobodnoj duljini uzorka između čeljusti („grip to grip“) od 300 mm (slika 4.). Kod postavljanja uzorka u čeljusti bitno je da uzorak prvo postavimo u donju čeljust zbog njene povezanosti na mjernu ćeliju, donja čeljust prihvaća uzorak pritiskom od 30 bara na umetke donjih čeljusti. Uzorak se može postaviti na gornje čeljusti tek kada se mjerna ćelija „nulira“, pritisak gornjih čeljusti je također 30 bara.

Pokretanjem ispitivanja pritisak u gornjim i donjim čeljustima će se povećati s 30 bara na 100 bara. Nanošenjem opterećenja u uzorku će se pojaviti mala tlačna sila koja vodi do povećanja slobodne duljine uzorka između čeljusti („grip to grip“), ta tlačna sila i povećanje slobodne duljine uzorka vode do kontinuirane sile od 0 N.

4.2. Postavljanje i značaj predopterećenja

Potreba za predopterećenjem je od velike važnosti jer nam ono na uzorku „poništava“ moguće pomake uzorka pri malim silama do kojih može doći zbog početnog klizanja između umetka čeljusti i uzorka odnosno potrebno izravnavanje osi uzorka. Predopterećenje se podešava na veličinu manju od 5% očekivane granice popuštanja, prema tome se na ispitivanju koristilo predopterećenje od 5 Mpa (oko 1% očekivane granice popuštanja), tako da bilježenje na dijagramu naprezanje-deformacija počinje od 5 Mpa. Brzina predopterećenja je bila 1 mm/min.

Ticala ekstenzometra se pomiču dostizanjem predopterećenja od 5 MPa, kod pomaka ekstenzometra potrebno je izvršiti „nuliranje“.

4.3. Elastično područje

Elastično područje još nazivamo područje prije popuštanja ili područje I. U elastičnom području nema značajnijih deformacija zbog svojstava koje uzorak ima u tom području, stoga prikaz na dijagramu daje gotovo ravan dio, moguća početna odstupanja od pravca mogu biti uzrokovana daljnim izravnavanjem osi uzorka.

Na uzorcima na kojima je proces ispitivanja bio izveden po metodi A1 brzina koja je korištena je u rasponu $2 \dot{\epsilon}_{Le} = 0,000\ 25\ s^{-1}$, s relativnom tolerancijom od $\pm 20\ %$. Metodom A1 definirana je deformacija u zatvorenoj petlji („closed loop“) što znači da moramo koristiti kontrolu deformacije prilikom ispitivanja jer je taj dio ispitivanja iznimno osjetljiv i moraju se poštivati granice tolerancije od $\pm 20\ %$ prilikom održavanja brzine deformacije. Tijekom cijelog ispitivanja dobivamo povratne informacije iz ekstenzometra o veličini deformacije što dovodi do neprekidne korekcije brzine pomaka

pomične grede v_c tijekom vlačnog ispitivanja. Od velike važnosti za ispitivanje u ovom dijelu je kontroler kidalice koji omogućava pravilan rad kontrole deformacije u zatvorenoj petlji („closed loop“).

Definiranim stavkama norme HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] za elastično područje određuje se i modul elastičnosti čelika za armiranje preko tangensa kuta nagiba pravca linearne regresije u dijagramu naprezanje-deformacija u rasponu naprezanja od 10 % od R_{eH} ili $R_{p0,2}$ i 40 % od R_{eH} ili $R_{p0,2}$.

4.4. Popuštanje-dostizanje granice popuštanja

Područje popuštanja, poznato još kao područje II, je područje u kojem se u ispitivanju dostiže granica popuštanja. Kod čelika je poznata izražena granica popuštanja koja nam na dijagramu naprezanje-deformacija dolazi u obliku naglog pada nakon dostizanja gornje granice popuštanja R_{eH} .

U ovom području nemoguće je kontrolirati brzinu deformacije preko ekstenzometra, stoga norma zahtjeva promjenu načina kontrole ispitivanja. S tim u vidu odabire se drugi način kontrole, pošto više ne zadovoljava kontrola brzine deformacije odabire se kontrola pomaka pomične grede. Za ispitivanje ovog područja korištena je preporučena brzina deformacije u rasponu $2 \dot{\epsilon}_{L_c} = 0,000\ 25\ s^{-1}$, s relativnom tolerancijom od $\pm 20\%$. Održavanje preporučene procijenjene brzine deformacije preko ispitnog dijela uzorka $\dot{\epsilon}_{L_c}$ samostalno će se riješiti uz pomoć konstantne brzine pomaka pomične grede v_c u otvorenoj petlji („open loop“), prikazano u jednadžbi (2):

$$v_c = L_c \cdot \dot{\epsilon}_{L_c} = 300\ mm \cdot 0,000\ 25\ s^{-1} = 0,075\ \frac{mm}{s}. \quad (3)$$

Jedina funkcija ekstenzometra u ovoj fazi ispitivanja je povratna informacija o deformaciji uzorka pošto kontrolu ispitivanja dobivamo preko kontrole pomaka pomične grede konstantnom brzinom v_c (3).

4.5. Plastično područje

Plastično područje ili područje III je područje koje dolazi nakon područja popuštanja i traje sve do loma uzorka. Glavna značajka ovog područja je povećanje brzine ispitivanja koje slijedi pravila norme, s ciljem skraćivanja trajanja ispitivanja. Za ispitivanje ovog područja korištena je preporučena brzina deformacije u rasponu $4 \dot{\epsilon}_{L_c} = 0,0067 \text{ s}^{-1}$, s relativnom tolerancijom od $\pm 20\%$. Održavanje preporučene procijenjene brzine deformacije preko ispitnog dijela uzorka $\dot{\epsilon}_{L_c}$ samostalno će se riješiti uz pomoć konstantne brzine pomaka pomične grede v_c u otvorenoj petlji („open loop“), prikazano u jednadžbi (2):

$$v_c = L_c \cdot \dot{\epsilon}_{L_c} = 300 \text{ mm} \cdot 0,0067 \text{ s}^{-1} = 2,01 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \quad (4)$$

Kao i kod prošle faze ispitivanja tako i u ovoj jedina funkcija ekstenzometra u ovoj fazi ispitivanja je povratna informacija o deformaciji uzorka pošto kontrolu ispitivanja dobivamo preko kontrole pomaka pomične grede konstantnom brzinom v_c (4). Ispitivanje će biti zaustavljeno tek kada sila u vlačnom ispitivanju F padne za 80 % vrijednosti F_m .

Prema metodi A1 norme HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] definirane su prikladne brzine deformacije i brzine pomaka pomične grede koje su navedene u tablici 2. uz koje su još navedeni i upotrebljeni tipovi kontrole vlačnog ispitivanja čelika za armiranje. Možemo reći da se norma HRN EN ISO 6892-1:2016 može poistovjetiti s normom ISO 6892-1:2016 A224 zbog načina označavanja koji je korišten prilikom vlačnog ispitivanja i korištenih brzina ispitivanja. Oznaka A znači da je ispitivanje provedeno prema metodi A(1), dok oznake 224 označavaju brzine ispitivanja u područjima I (raspon 2), II (raspon 2) i III (raspon 4).

Tablica 2. Korištene brzine ispitivanja za metodu A1

Tip kontrole ispitivanja	Brzine deformacije	Brzina pomaka pomične grede
Kontrola deformacije (raspon 2) (područje I)	$\dot{\epsilon}_{L_e} = 0,000\ 25\ s^{-1}$	-
Kontrola pomaka (raspon 2) (područje II)	$\dot{\epsilon}_{L_c} = 0,000\ 25\ s^{-1}$	$v_c = 0,075\ mm/s$
Kontrola pomaka (raspon 4) (područje III)	$\dot{\epsilon}_{L_c} = 0,006\ 7\ s^{-1}$	$v_c = 2,01\ mm/s$

U metodi A kod vlačnog ispitivanja prema normi HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] jedinu razliku koju možemo zamjetiti između tipova ispitivanja A1 i A2 je da u tipu A2 u području I koristimo kontrolu pomaka pomične grede s brzinom deformacije $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0,000\ 25\ s^{-1}$, a sve ostale brzine su iste za oba tipa ispitivanja prema tablici 2.

U metodi B kod vlačnog ispitivanja prema normi HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] također postoji jedna razlika u odnosu na metodu A1 i to isto u području I gdje se koristi kontrola pomaka pomične grede s brzinom naprezanja od $30\ MPa \cdot s^{-1}$. Prema krutosti kidalice [7] brzina naprezanja od $30\ MPa \cdot s^{-1}$ koja je upotrebljena može se poistovjetiti s brzinom deformacije $\dot{\epsilon}_{L_e} = 0,000\ 25\ s^{-1}$.

Da sumiramo sve navedeno iz ovog poglavlja reći ćemo da za ispitivanje prema metodi A1 norme HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] korištene su preporučene brzine ispitivanja (tablica 2.). Za ispitivanje prema metodi A2 norme HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] u području I korištena je ista brzina deformacije, samo što je umjesto kontrole deformacije korištena kontrola pomaka pomične grede. Kod metode B norme HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] u području I umjesto kontrole deformacije korištena je kontrola pomaka pomične grede s otprilike jednakom brzinom naprezanja. Sve je to bilo s ciljem da korištenjem različitih metoda dobijemo čim više moguće manje razlike između brzina ispitivanja.

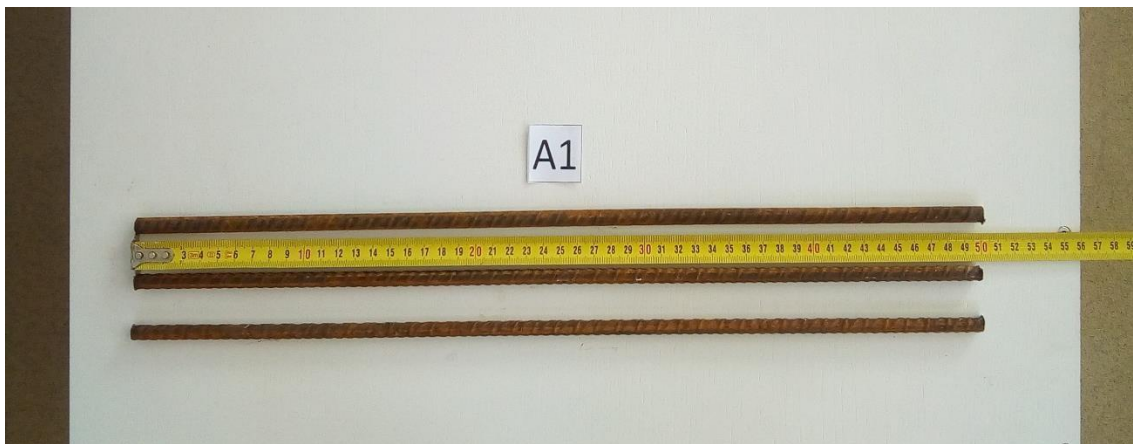
Slika 10. prikazuje uzorak čelika za armiranje postavljen u hidraulične čeljusti netom prije početka ispitivanja.



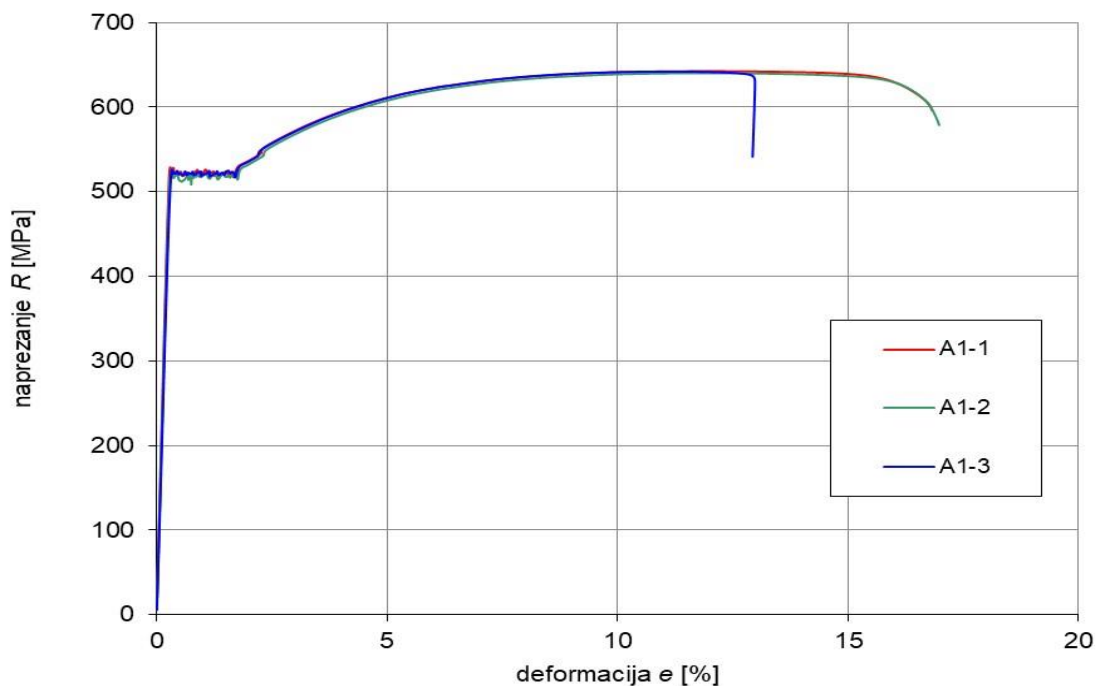
Slika 10. Uzorak netom prije ispitivanja

5. REZULTATI ISPITIVANJA PROVEDENI METODAMA A1, A2 i B

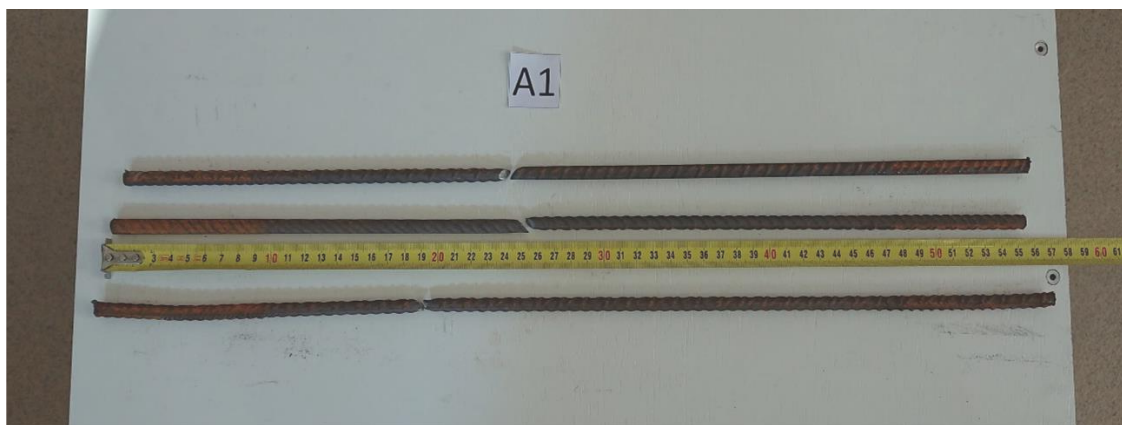
Prvo vlačno ispitivanje koje je bilo provedeno na tri uzorka bilo je po metodi A1 u skladu s zahtjevima norme HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] za vlačno ispitivanje čelika za armiranje (slika 11.). Na slici 12. prikazan je dijagram naprezanje-deformacija koji smo dobili iz računalnog programa kidalice nakon izvršenog ispitivanja na sva tri uzorka. Na slici 13. prikazani su uzorci nakon provedenog ispitivanja.



Slika 11. Uzorci pripremljeni za ispitivanje po metodi A1



Slika 12. Dijagram naprezanje-deformacija (metoda A1)

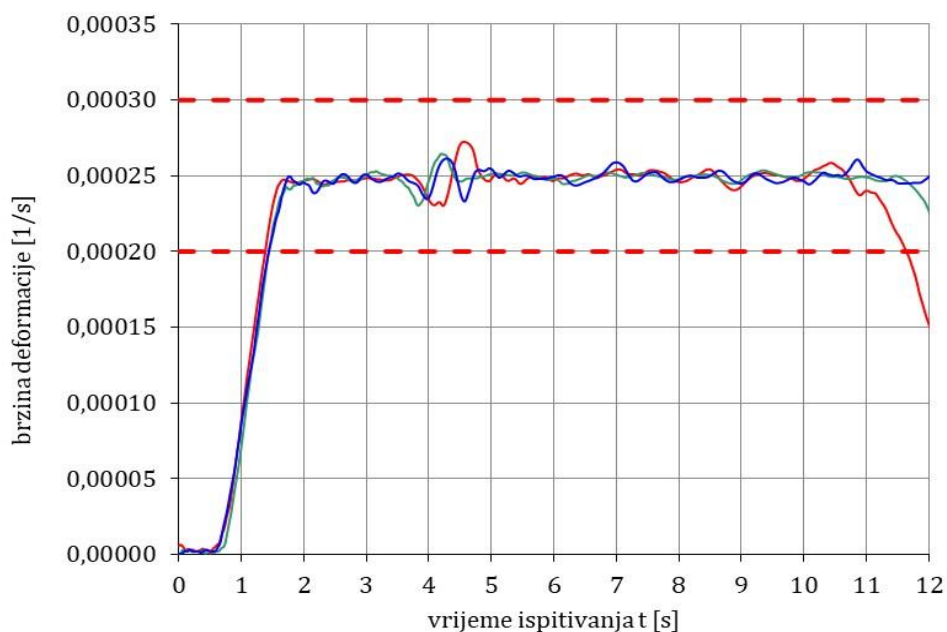


Slika 13. Uzorci nakon provedenog vlačnog ispitivanja po metodi A1

Iz računalnog programa kidalice također smo dobili i mehanička svojstva za tri uzorka čelika za armiranje ispitanih prema metodi A1 u skladu s normom HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] (tablica 3.). Pošto nam ne trebaju svi podaci koje računalni program kidalice bilježi u tablici 3. su prikazana mehanička svojstva potrebna pri analizi i proračunu armiranobetonskih konstrukcija: modul elastičnosti (E), gornja granica popuštanja (R_{eH}), vlačna čvrstoća (R_m) i ukupna deformacija pri najvećoj sili izražena u postocima (A_{gt}). Kako su putem programa dostupni i parametri statičke obrade rezultata tri ($n=3$) vlačno ispitana uzorka čelika za armiranje i njih smo naveli u tablici 3. Statički parametri koji su navedeni u tablici 3. su: srednja vrijednost (\bar{x}), standardna devijacija (s) i koeficijent varijacije (v). Za sva tri uzorka brzina deformacije ($\dot{\epsilon}_{L_e}$) bila je u prvih 10-tak sekundi unutar striktno definiranih granica tolerancije od $\pm 20\%$ za raspon 2 i brzinu deformacije $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0,000\ 25\ s^{-1}$ (slika 14.). Ispitivanjem je dokazano kako kidalica do trenutka određivanja gornje granice popuštanja (R_{eH}) zadovoljava vrlo stroge zahtjeve definirane metodom A1 prema normi HRN EN ISO 6892-1:2016 [2].

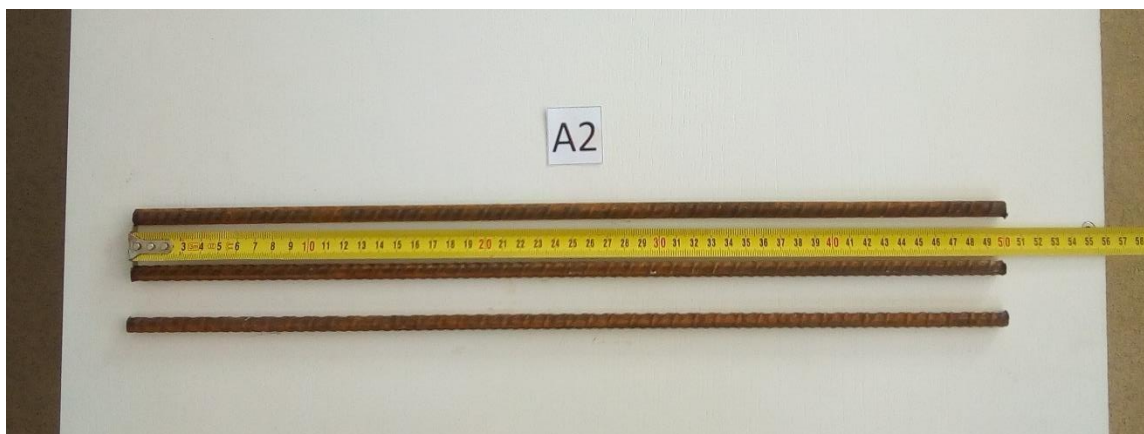
Tablica 3. Mehanička svojstva bitna za čelik za armiranje (metoda A1)

uzorak	E [GPa]	R_{eH} [MPa]	R_m [MPa]	A_{gt} [%]
A1-1	200	529	642	11,93
A1-2	192	526	604	11,78
A1-3	180	526	642	11,09
\bar{x}	191	527	642	11,60
s	10	1	1	0,45
v [%]	5,23	0,28	0,20	3,89

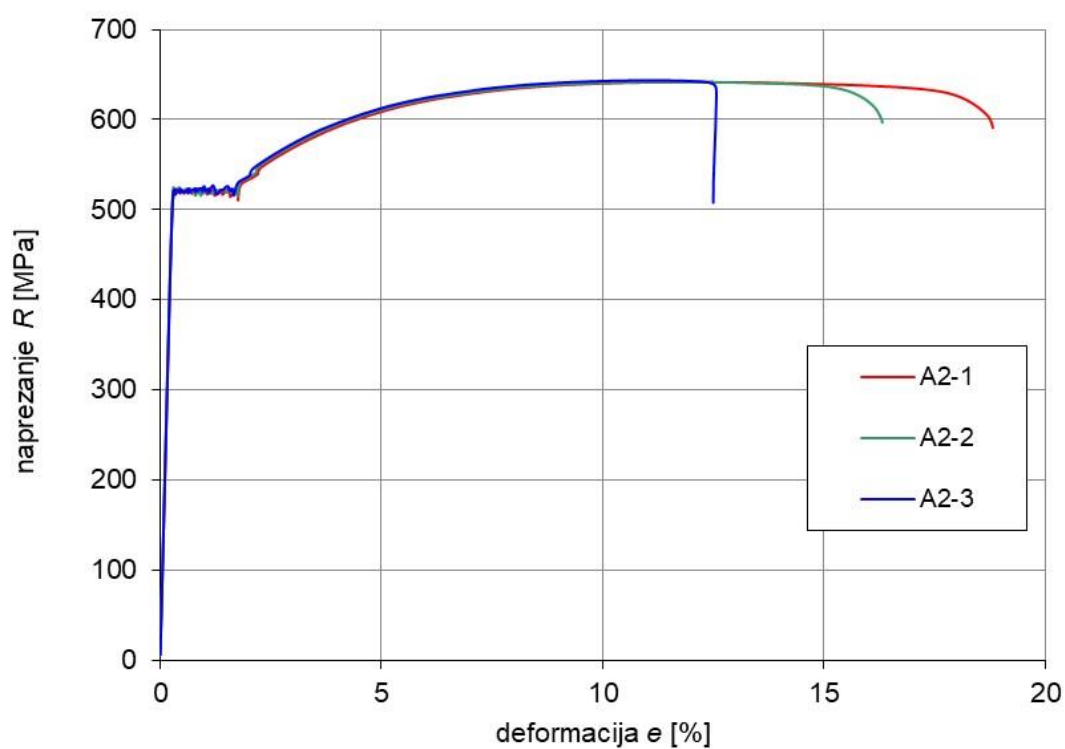


Slika 14. Dijagram brzina deformacije-vrijeme ispitivanja (metode A1, A2 i B)

Drugo vlačno ispitivanje koje je bilo provedeno na tri uzorka bilo je po metodi A2 u skladu s zahtjevima norme HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] za vlačno ispitivanje čelika za armiranje (slika 15.). Na slici 16. prikazan je dijagram naprezanje-deformacija koji smo dobili iz računalnog programa kidalice nakon izvršenog ispitivanja na sva tri uzorka. U tablici 4. prikazana su mehanička svojstva sva tri uzorka čelika za armiranje ispitana metodom A2 prema normi HRN EN ISO 6892-1:2016 [2]. Na slici 17. prikazani su uzorci nakon provedenog ispitivanja.



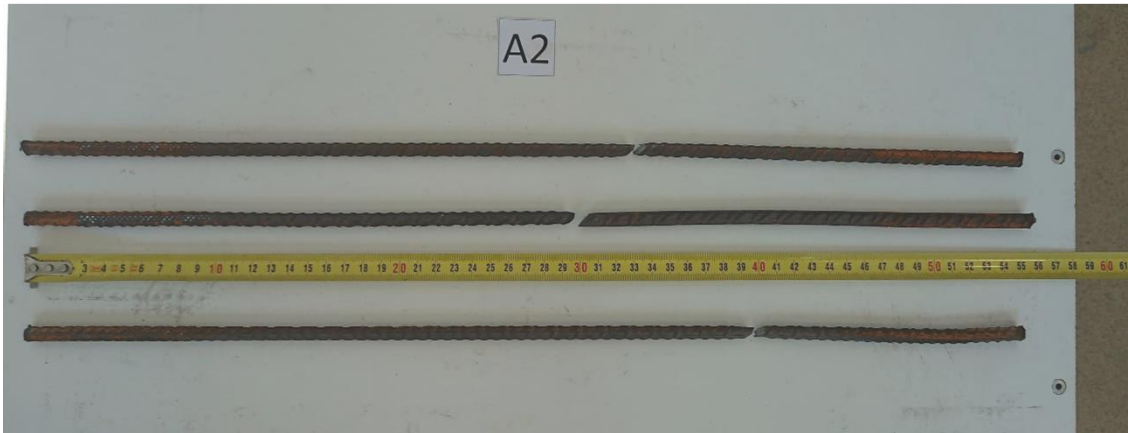
Slika 15. Uzorci pripremljeni za ispitivanje po metodi A2



Slika 16. Dijagram naprezanje-deformacija (metoda A2)

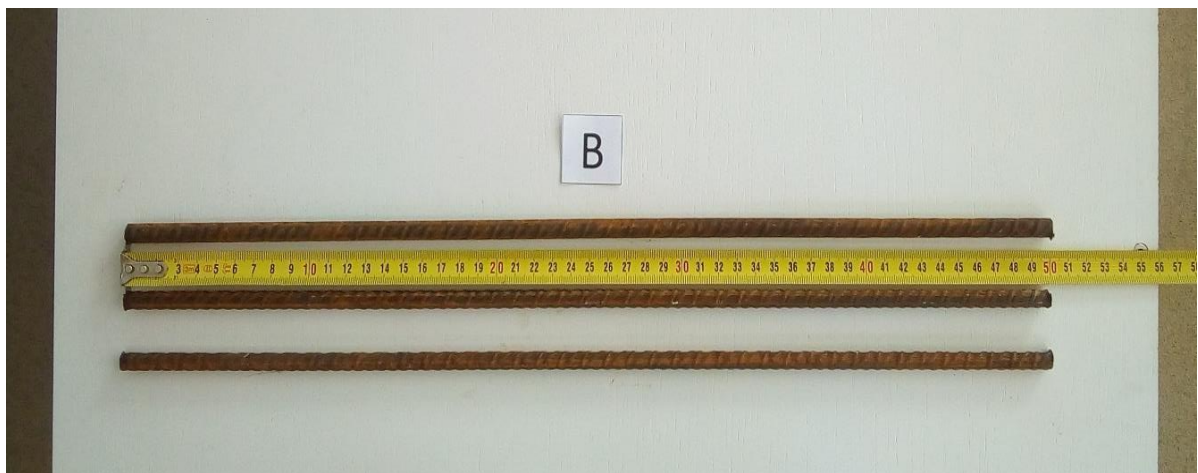
Tablica 4. Mehanička svojstva bitna za čelik za armiranje (metoda A2)

Uzorci	E [Gpa]	R_{eH} [MPa]	R_m [MPa]	A_{gt} [%]
A2-1	185	523	642	12,03
A2-2	191	525	642	11,77
A2-3	194	522	644	11,08
\bar{x}	190	524	642	11,63
s	5	1	1	0,49
v[%]	2,49	0,26	0,16	4,21

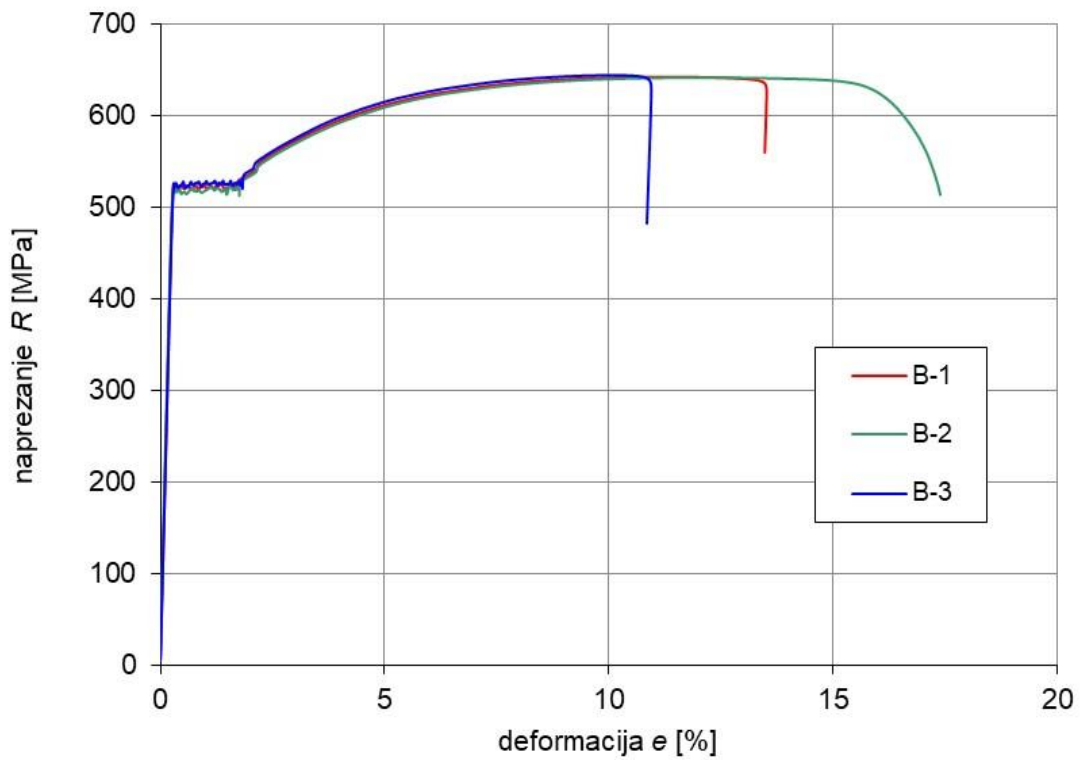


Slika 17. Uzorci nakon provedenog vlačnog ispitivanja po metodi A2

Treće vlačno ispitivanje koje je bilo provedeno na tri uzorka bilo je po metodi B u skladu s zahtjevima norme HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] za vlačno ispitivanje čelika za armiranje (slika 18.). Na slici 19. prikazan je dijagram naprezanje-deformacija koji smo dobili iz računalnog programa kidalice nakon izvršenog ispitivanja na sva tri uzorka. U tablici 5. prikazana su mehanička svojstva sva tri uzorka čelika za armiranje ispitana metodom B prema normi HRN EN ISO 6892-1:2016 [2]. Na slici 20. prikazani su uzorci nakon provedenog ispitivanja.



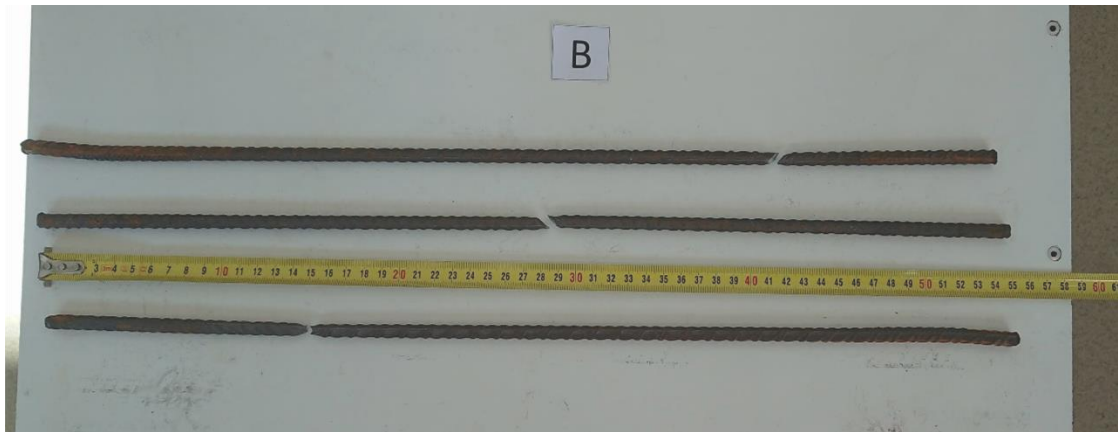
Slika 18. Uzorci pripremljeni za ispitivanje po metodi B



Slika 19. Dijagram naprezanje-deformacija (metoda B)

Tablica 5. Mehanička svojstva bitna za čelik za armiranje (metoda B)

Uzorci	E [Gpa]	R_{eH} [MPa]	R_m [MPa]	A_{gt} [%]
B-1	190	525	642	11,12
B-2	205	523	641	11,87
B-3	188	526	644	10,08
\bar{x}	194	525	642	11,02
s	9	2	1	0,90
v [%]	4,52	0,35	0,21	8,13



Slika 20. Uzorci nakon provedenog vlačnog ispitivanja po metodi B

Možemo uočiti na rezultatima vlačnog ispitivanja čelika za armiranje (tablice 3., 4. i 5.) da su rasipanja jako mala između ispitivanja odnosno nema većih odstupanja između ispitanih uzoraka s obzirom na različite metode ispitivanja koje su korištene, metoda A1, A2 i B prema normi HRN EN ISO 6892-1:2016. Izdvojiti možemo kao najizraženije odstupanje između ispitivanja kod određivanja ukupne deformacije pri najvećoj sili izraženoj u postocima (A_{gt}), gdje se koeficijent varijacije (v) kreće od 3,89 % do 8,13 %. Za najmanje razlike u rezultatima ispitivanja možemo izdvojiti kod određivanja vlačne čvrstoće (R_m), gdje se koeficijent varijacije (v) kreće od 0,16 % do 0,21 %. Iz prikazanih rezultata ispitivanja u tablicama 3., 4. i 5. možemo zaključiti da su ispitivanja gotovo neovisna o metodi ispitivanja koja se koristi (A1, A2 i B).

6. NAČIN OZNAČAVANJA U NORMAMA

Po pitanju označavanja veličina u normama HRN EN ISO 15630-1:2010 [1], HRN EN ISO 6892-1:2016 [2] i HRN EN 10080:2012 [12] (Čelik za armiranje betona - Zavarljivi čelik za armiranje - Općenito) možemo primjetiti kako je način označavanja gotovo isti u navedenim normama.

Za projektiranje betonskih konstrukcija koriste se norme koje imaju različite načine označavanja u usporedbi s gore navedenim normama. Norma HRN EN 19921-1:2013 [13] koristi se u Hrvatskoj za projektiranje betonskih konstrukcija. Kako bi mogli napraviti usporedbu između različitih normi poslužiti će nam norma HRN EN 10080:2012 [12] koja sadrži tablicu kojom je to prikazano (tablica 6.).

Tablica 6. Usporedba s oznakama prema normama

Naziv	HRN EN 10080:2012 [12]	HRN EN 1992-1-1:2013 [13]
Granica popuštanja	R_e	f_y
Granica popuštanja pri trajnoj deformaciji od 0,2%	$R_{p0,2}$	$f_{p0,2}$
Vlačna čvrstoća	R_m	f_t
Odnos vlačna čvrstoća/granica popuštanja	R_m/R_e	f_t / f_y
Ukupna deformacija pri najvećoj sili izražena u postocima	A_{gt}	ϵ_u
Nazivni promjer	d	\square

7. ZAKLJUČAK

Glavna bit ovog završnog rada bilo je što bolje i detaljnije prikazati i opisati postupak vlačnog ispitivanja čelika za armiranje u skladu s normom HRN EN ISO 15630-1:2010, koja se poziva na normu HRN EN ISO 6892-1:2016. Nakon provedenog istraživanja literature na temu vlačnog ispitivanja čelika za armiranje uvidio sam nedostatak i potrebu za rad koji detaljno opisuje tu problematiku i koji će poslužiti budućim kolegama i kolegicama u boljem razumijevanju vlačnog ispitivanja čelika za armiranje, ali i široj stručnoj javnosti.

Normom HRN EN ISO 6892-1:2016 definirana je metoda A kao preporučena metoda ispitivanja zbog mogućnosti upotrebe kontrole brzine deformacije do trenutka određivanja granice popuštanja i provođenje ispitivanja u vrlo strogim granicama tolerancije od $\pm 20\%$.

Rad je nešto većim djelom fokusiran na metodu A1, ali opisana su i prikazana ispitivanja i za metode A2 i B. Za provođenje ispitivanja po navedenim metodama korištena je odgovarajuća oprema (kidalica, kontroler i ekstenzometar) koja je u skladu s strogim zahtjevima koje uvjetuje norma HRN EN ISO 6892-1:2016.

Nakon dobivenih rezultata prema metodama A1, A2 i B u skladu s normom HRN EN ISO 6892-1:2016 napravljena je usporedba tih rezultata koji dovode do zaključka da bez obzira koja metoda ispitivanja je korištena za vlačno ispitivanje čelika za armiranje, rezultati će biti gotovo isti. Možemo i primjetiti kako čelik za armiranje nije jako osjetljiv na brzinu deformacije pa se također za vlačno ispitivanje može koristiti metoda A2 i metoda B unatoč preporučenoj metodi A1 prema normi HRN EN ISO 6892-1:2016.

8. LITERATURA

- [1] HZN: HRN EN ISO 15630-1:2010 Čelik za armiranje i prednapinjanje betona - Metode ispitivanja - 1. dio: Armaturne šipke, valjana žica i žica, 2010.
- [2] HZN: HRN EN ISO 6892-1:2016: Metalni materijali - Vlačno ispitivanje - 1. dio: Metoda ispitivanja pri sobnoj temperaturi, 2016.
- [3] ISO 6892-1:2016 Ambient Tensile Testing of Metallic Materials, <http://www.instron.us/-/media/literature-library/whitepapers/2016/04/iso6892.pdf>, 15.03.2019.
- [4] Cuculić, M., Mrakovčić, S., Jagodnik, V., Smolčić, Ž., Travaš, V: Potencijali istraživačkog rada na Građevinskom fakultetu u Rijeci, *ZAJEDNIČKE TEME - Sabor hrvatskih graditelja 2016*, Cavtat, pp. 953-962, 2016.
- [5] HZN: HRN EN ISO 7500-1:2007/Ispr.1:2009. (2009) Metalni materijali - Provjeravanje statičkih jednoosnih ispitnih uređaja - 1. dio: Ispitni uređaji za zatezanje/kompresiju - Provjeravanje i umjeravanje sustava za mjerenje sile, 2009.
- [6] HZN: EN ISO 9513:2012. (2012) Metalni materijali – Umjeravanje ekstenzimetara koji se upotrebljavaju u jednoosnome ispitivanju, 2012.
- [7] TestXpert II: Instruction Manual. Version 2.2, ZwickGmbH&Co.
- [8] Smolčić, Ž., Šćulac, P.: Tlačno ispitivanje kapitela stupa iz palače Moise u Cresu, *Zbornik radova Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci*, 21 (2018), pp. 133-143, doi: 10.32762/zr.21.1.8.
- [9] Universal Oven UF260, <https://www.memmert.com/products/heating-drying-ovens/universal-oven/UF260/pdf/>, 15.03.2019.
- [10] KISTOCK DATALOGGER HVAC range : KTT310, http://interautomatika.lt/download/KTT310%20datasheet_ENG.pdf, 15.03.2019.
- [11] Steel Reinforcement Bar (Rebar) – A Tensile Testing Guide, <http://go.instron.com/-/media/literature-library/whitepapers/2015/03/rebar-tensile-testing-guide.pdf>, 15.03.2019.
- [12] HZN: HRN EN 10080:2012 Čelik za armiranje betona - Zavarljivi čelik za armiranje - Općenito, 2012.
- [13] HZN: HRN EN 1992-1-1:2013 Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija - Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004+AC:2010), 2013.