Ispitivanje svojstava čelične užadi

Jugovac, Tin

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:338583

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Tin Jugovac

Zagreb, 2020. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

izv. prof. dr. sc. Željko Alar, dipl. ing.

Student:

Tin Jugovac

Zagreb, 2020. godina

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru izv. prof. dr. sc. Željku Alaru koji mi je omogućio da obrađujem tematiku završnog rada koja me interesirala, te me usmjeravao svojim stručnim savjetima kroz temu rada. Također, želim se zahvaliti tehničarima Laboratorija za ispitivanje mehaničkih svojstava Romanu Divjaku i Ivanu Martinku koji su provodili ispitivanja i pomogli pri mjerenju i analizi podataka.

Hvala asistentu i kolegama na pomoći i savjetima.

Zahvaljujem se firmi METUS koja je financirala materijale za eksperimentalna ispitivanja.

Posebno hvala mojoj obitelji koji su mi omogućili studiranje i pružili podršku tijekom studiranja.

Tin Jugovac

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: 602 - 04 / 20 - 6 / 3	
Ur. broj: 15 - 1703 - 20 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **TIN JUGOVAC** Mat. br.: 0035200026

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ispitivanje svojstava čelične užadi za dizala**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Testing the properties of steel wire ropes for elevators**

Opis zadatka:

Prilikom stavljanja dizala na tržište, ugraditelji moraju osigurati da je dizalo projektirano, proizvedeno, ugrađeno i ispitano u skladu s bitnim zdravstvenim i sigurnosnim zahtjevima utvrđenima Pravilnikom o sigurnosti dizala. Jedan od bitnih elemenata dizala su nosiva čelična užad.

U radu je potrebno sljedeće:
1. Opisati glavne komponente dizala te današnje trendove razvoja i korištenja električnih dizala.
2. Opisati vrste čeličnih užadi, podjelu prema namjeni, konstrukcijske izvedbe te utjecajne čimbenike na njihovu trajnost.
3. Eksperimentalno provesti ispitivanja svojstava čelične užadi za dizala od tri različita proizvođača.
4. Analizirati dobivene rezultate i dati zaključke.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan: 24. rujna 2020.

Rok predaje rada: 26. studenog 2020.

Predviđeni datum obrane: 30. studenog do 4. prosinca 2020.

Zadatak zadao: prof. dr. sc. Zeljko Alar

Predsjednica Povjerenstva: prof. dr. sc. Biserka Runje

Sadržaj

POPIS SLIKA III
POPIS TABLICA V
POPIS OZNAKA VI
SAŽETAK VIII
SUMMARY IX
1. UVOD 1
1.1 Norme za dizala 3
2. UŽAD 4
2.1. Zahtjevi na užad 5
2.1.1. Istezanje užadi 6
2.1.2. Namotavanje užadi za vožnju bez proklizavanja 6
2.1.3. Raspodjela opterećenja među užadi 6
2.1.4. Kompenzacijska sredstva [4] 7
2.1.5. Proračun faktora sigurnosti užadi 7
2.2. Podjela užadi 11
2.3. Oznake užadi 17
2.4. Konstrukcija kabela 20
2.4.1. Konstrukcija kabela Seale 20
2.4.2. Konstrukcija kabela Warrington 21
2.4.3. Konstrukcija kabela Filler 22
2.4.4. Warrington-Seale konstrukcija kabela 23
2.5. Materijal žice i postupak proizvodnje 24
2.6. Održavanje užadi 24
3. EKSPERIMENTALNI DIO 25
3.1. Plan ispitivanja 26
3.2. Oprema korištena za ispitivanje 27
3.3. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kompletne užadi 30
3.3.1. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi proizvođača A 31
3.3.2. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi proizvođača B 32
3.4. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova 33
3.4.1. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova iz užadi proizvođača A 34
3.4.2. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova iz užadi proizvođača B 36
3.5. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica 39
3.5.1. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica (licna) iz užadi proizvođača A 40
3.5.2. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica (licna) iz užadi proizvođača B 42
4. ANALIZA REZULTATA 45
4.1. Analiza rezultata užadi 45
4.2. Analiza rezultata kablova 53
4.3. Analiza rezultata vanjskih žica 59
5. ZAKLJUČAK 65
LITERATURA 67
PRILOZI 68

POPIS SLIKA

Slika 1.1. Glavne komponente užetnog dizala [3] 2
Slika 2.1. Konstrukcija užeta za dizala [5] 4
Slika 2.2. Metode povezivanja kabine i protuutega [6] 5
Slika 2.3. Kolotura s *V - utorom* i *U – utorom* [8] 9
Slika 2.4. Dijagram za očitavanje faktora sigurnosti [7] 10
Slika 2.5. Dva presjeka užadi za low-rise dizala [5] 11
Slika 2.6. Presjeci specijalnih tipova užadi za srednje visine dizanja [5] 15
Slika 2.7. Poprečni presjeci užadi namijenjenih za najviše visine dizanja [5] 17
Slika 2.8. Načini namotavanja užadi [9] 19
Slika 2.9. Primjer označavanja užadi [5] 19
Slika 2.10. Konstrukcija kabela Seale [5] 20
Slika 2.11. Konstrukcija Warrington kabela [5] 21
Slika 2.12. Konstrukcija kabela s Filler žicama [5] 22
Slika 2.13. Warrington-Seale konstrukcija kabela [5] 23
Slika 3.1 Odvojeni kablovi i vlakna iz užadi 25
Slika 3.2 Užad u isporučenom stanju (prije početka ispitivanja) 26
Slika 3.3 Nosiva konstrukcija kidalice i sustav za očitavanje 28
Slika 3.4 Naprava za prihvat užadi 28
Slika 3.5 Kidalica EU 40 MOD 29
Slika 3.6 Uže u početnoj poziciji ispitivanja i očitanje pomaka čeljusti 30
Slika 3.7 Užad nakon loma 31
Slika 3.8 Slomljeni kabel 33
Slika 3.9 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 8 mm (proizvođač A) 34
Slika 3.10 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 10 mm (proizvođač A) 34
Slika 3.11 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 11 mm (proizvođač A) 35
Slika 3.12 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 13 mm (proizvođač A) 35
Slika 3.13 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 8 mm (proizvođač B) 36
Slika 3.14 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 10 mm (proizvođač B) 37
Slika 3.15 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 11 mm (proizvođač B) 37
Slika 3.16 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 13 mm (proizvođač B) 38
Slika 3.17 Statičko vlačno ispitivanje čelične žice 39
Slika 3.18 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 8 mm (proizvođač A) 40
Slika 3.19 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 10 mm (proizvođač A) 40
Slika 3.20 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 11 mm (proizvođač A) 41
Slika 3.21 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 13 mm (proizvođač A) 41

Slika 3.22 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 8 mm (proizvođač B) 42
Slika 3.23 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 10 mm (proizvođač B) 43
Slika 3.24 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 11 mm (proizvođač B) 43
Slika 3.25 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 13 mm (proizvođač B) 44
Slika 4.1 Vlakna iz užadi 45
Slika 4.2 Slomljeno uže 46
Slika 4.3 Moderna Zwick-ova kidalica za ispitivanje užadi [11] 47
Slika 4.4 Usporedni dijagram užadi promjera 8 mm 49
Slika 4.5 Usporedni dijagram užadi promjera 10 mm 50
Slika 4.6 Usporedni dijagram užadi promjera 11 mm 51
Slika 4.7 Usporedni dijagram užadi promjera 13 mm 52
Slika 4.8 Usporedni dijagram kablova iz užadi promjera 8 mm 55
Slika 4.9 Usporedni dijagram kablova iz užadi promjera 10 mm 56
Slika 4.10 Usporedni dijagram kablova iz užadi promjera 11 mm 57
Slika 4.11 Usporedni dijagram kablova iz užadi promjera 13 mm 58
Slika 4.12 Naprava namijenjena za SVI čeličnih žica [12] 59
Slika 4.13 Usporedni dijagram žica iz užadi promjera 8 mm 61
Slika 4.14 Usporedni dijagram žica iz užadi promjera 10 mm 62
Slika 4.15 Usporedni dijagram žica iz užadi promjera 11 mm 63
Slika 4.16 Usporedni dijagram žica iz užadi promjera 13 mm 64

POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Očitavanje $N_{equiv(t)}$ prema vrsti utora i kutu kolture [7] 8
Tablica 2.2. Tehničke specifikacije užadi 8x19 *W-IWRC* [5] 12
Tablica 2.3. Tehničke specifikacije užadi 8x19 *S-FC* [5] 13
Tablica 2.4. Tehničke specifikacije užadi 9x26 *WS-IWRC* [5] 14
Tablica 2.5. Tehničke specifikacije užadi 8x19 *S-IWRC* [5] 15
Tablica 2.6. Tehničke specifikacije užadi 8x25 *F-PWRC* [5] 16
Tablica 2.7. Tehničke specifikacije užadi 9x25 *F-PWRC* [5] 16
Tablica 2.8. Oznake vrsta konstrukcija kablova i opisi [5] 18
Tablica 2.9. Oznake vrsta jezgara u užadi i opisi [5] 18
Tablica 2.10. Oznake za namotavanje užadi i opisi [5] 18
Tablica 3.1 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi (proizvođač A) 31
Tablica 3.2 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi (proizvođač B) 32
Tablica 3.3 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova iz užadi proizvođača A 35
Tablica 3.4 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova iz užadi proizvođača B 38
Tablica 3.5 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica iz užadi proizvođača A 41
Tablica 3.6 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica iz užadi proizvođača B 44
Tablica 4.1 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi proizvođača A i B 47
Tablica 4.2 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova proizvođača A i B 53
Tablica 4.3 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica proizvođača A i B 60

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
N_{equiv}	-	nazivni broj kolotura
$N_{equiv(p)}$	-	broj pogonskih užnica
$N_{equiv(t)}$	-	broj užnica za promjenu smjera
N_{ps}	-	broj kolotura s jednostavnim savijanjem
N_{pr}	-	broj kolotura s obrnutim savijanjem
D_t	mm	promjer pogonske užnice
d_r	mm	promjer užadi
S_f	-	sigurnosni faktor
FC	-	jezgra od vlakana
NFC	-	jezgra od prirodnih vlakana
SFC	-	jezgra od sintetičkih vlakana
IWRC	-	neovisna žičana jezgra
PWRC	-	paralelno postavljena čelična užad
S	-	Seale konstrukcija kabela
W	-	Warrington konstrukcija kabela
F	-	Filler konstrukcija kabela
WS	-	Warrington-Seale konstrukcija kabela
M	-	Crosslay konstrukcija kabela

MRL	-	dizala bez strojarnice
F_m	N	maksimalna sila
F_{min}	N	minimalna sila prema normi
F_{sr}	N	aritmetička sredina sila
ΔL	mm	pomak čeljusti kidalice
S	mm^2	površina
d	mm	promjer
R_m	N/mm^2	vlačna čvrstoća
ΔR_m	N/mm^2	aritmetička sredina vlačnih čvrstoća
SVI	-	statičko vlačno ispitivanje
S	-	faktor sigurnosti
sZ	-	regularno namotavanje udesno
zS	-	regularno namotavanje ulijevo
zZ	-	spiralno namotavanje udesno
sS	-	spiralno namotavanje ulijevo
U-utor	-	utor u obliku slova U
V-utor	-	utor u obliku slova V
U	-	užad bez premaza
B	-	galvanizirana užad

SAŽETAK

Razvoj užadi došao je do te mjere da se vrlo precizno može odrediti u kojim uvjetima primijeniti određenu vrstu užadi. U eksperimentalnom dijelu ispitivanja uspoređuju se svojstva užadi iste strukture od dva različita proizvođača. Od svakog proizvođača nabavljeno je po deset metara užadi u četiri različita promjera. Cilj ispitivanja je utvrditi da li proizvođači užadi zaista isporučuju užad definiranu prema propisanim normama i međusobno usporediti kvalitetu proizvođača. Ispitivani tipovi užadi ujedno su i najčešće korišteni tipovi užadi za dizala u cijelom svijetu. U radu je dan pregled povijesnog razvoja užadi i njihove primjene. Pored toga opisana je struktura te tehnička svojstva užadi koja se danas najčešće koristi u dizalima za prijevoz ljudi i dobara.

Ključne riječi: Dizalo, užad, kabel, žica, čelik, čvrstoća, vlakna

SUMMARY

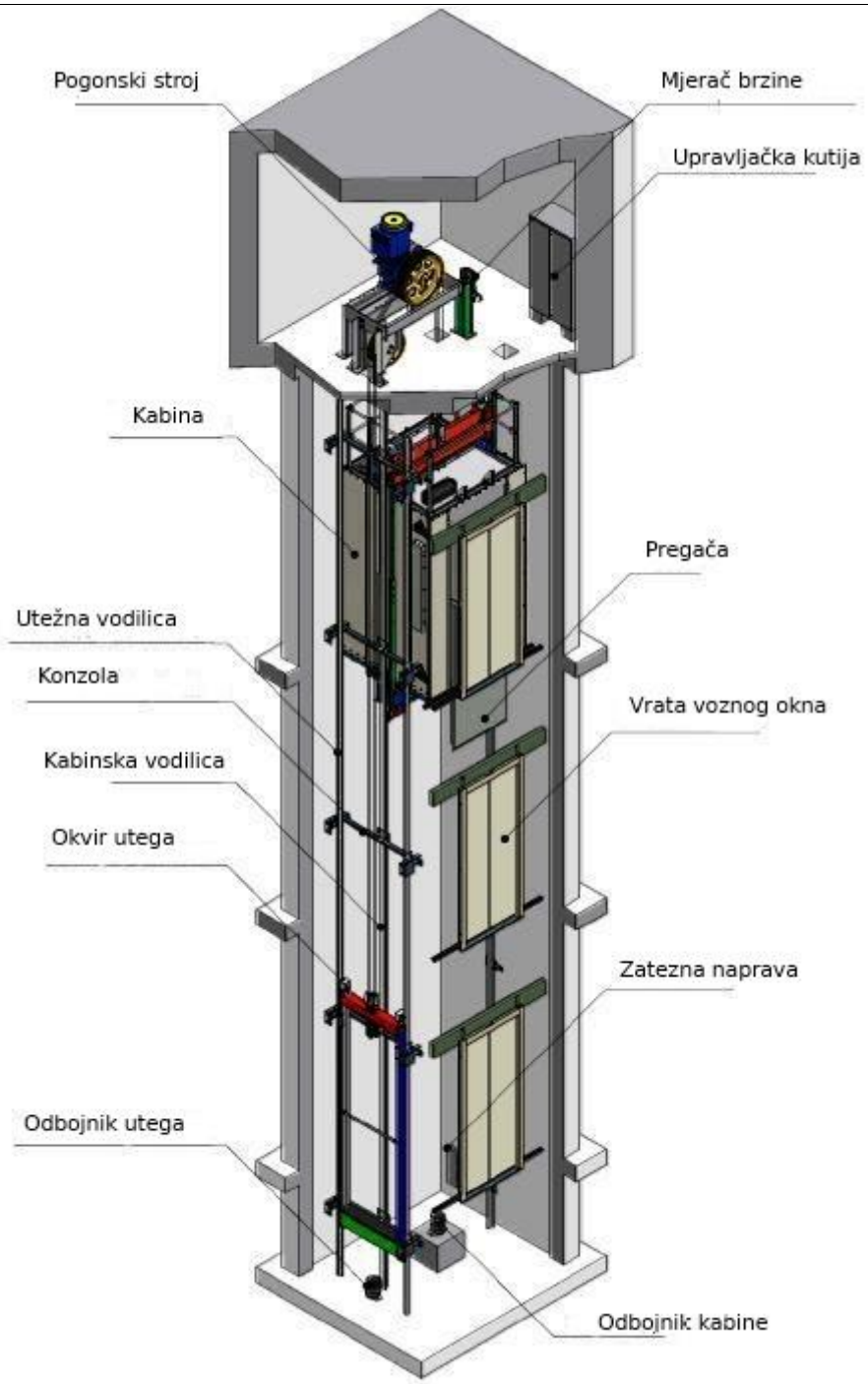
Evolution of ropes has reached the point where you can get precise determination of which rope to use in certain situations. In the experimental part of this paper, ropes of the same structure are compared from 2 producers of elevator ropes. Four rope diameters are included for this experiment and every rope has 10 meter length. Main objective of the experiment is to determine if producers really deliver ropes defined by written norms and to compare quality between 2 producers. Tested ropes in this experiment are also the most used elevator ropes in the world. In this paper is described history of development of elevator ropes and their application. Aside from history examination, structure and technical properties of elevator ropes which are mostly used for transportation of people and goods today are described.

Key words: Elevator, rope, strand, wire, steel, strength, fibers

1. UVOD

Dizala odnosno liftovi primjenjuju se za potrebe strmog ili okomitog prijevoza materijala i osoba. Kabina je dio dizala koji sadrži prostor u kojem se nalaze osobe ili materijal prilikom transporta. Ona može biti otvorenog ili zatvorenog tipa i ima mogućnost zaustavljanja na određenoj visini prema zadanom broju stanica i njihovom međusobnom razmaku. Kabina se kreće klizeći po vodilicama koje su pričvršćene pomoću konzola na zid ili konstrukciju voznog okna. Dizala se primjenjuju u raznim građevinskim objektima, a ponekad i izvan njih (dizala s vanjske strane). Najčešća područja primjene dizala su zgrade, rudnici, industrijska postrojenja, brodovi i gradilišta. Pogon dizala uglavnom je električni, no može biti i hidraulički. Električni pogon uključuje pogonsku užnicu s užetima na kojima visi kabina i protuuteg. Ovisno o visini objekta u koje se ugrađuje dizalo, određuje se potrebna brzina dizanja kabine. Za poslovne objekte s iznad 10 stanica i stambene objekte s iznad 30 stanica koristi se električni pogon koji ostvaruje brzine od 2,5 do 3 m/s. Prosječna nosivost stambenih dizala kreće se od 650-2000 kilograma. Kod manjih visina dizanja pretežito se koristi hidraulički pogon s brzinama dizanja oko 0,8 m/s. Također, dizala sadrže posebne sigurnosne komponente poput uređaja za kočenje kabine koji služe kao zaštita u slučaju puknuća užeta ili prekomjernog ubrzanja kabine. Automatski uređaji za upravljanje kabine omogućavaju sigurni ulazak i izlazak putnika, te smanjivanje brzine prilikom pokretanja ili zaustavljanja kabine. [1]

Užetno dizalo pokreće se pomoću pogonske užnice smještene na vrhu voznog okna uz uvjet da ostane minimalno 100 milimetara razmaka do stropa okna. Pogonska užnica okreće užad na čijim krajevima su pričvršćeni protuuteg i kabina. U početku razvoja užetnih dizala koristilo se pogonsko vitlo s bubnjem. Nedostatak takve konstrukcije je ograničena visina dizanja s obzirom na veličinu bunja. Početkom 20. stoljeća razvijena su dizala s pogonskom užnicom. S obzirom na činjenicu da visina dizanja ne ovisi o pogonskoj užnici, bubanj je istisnut iz pogonskog dijela dizala. Kretanje užeta i pogon dizala ostvaruje se pomoću trenja između užeta i pogonske užnice. Shodno tome na pogonskoj užnici su urezani žljebovi za odgovarajući promjer užadi. Takva konstrukcija uključuje ne samo jedno već nekoliko užeta na kojima visi kabina i protuuteg. Na slici 1.1 prikazane su glavne komponente užetnog dizala. [2]



Slika 1.1. Glavne komponente užetnog dizala [3]

1.1 Norme za dizala

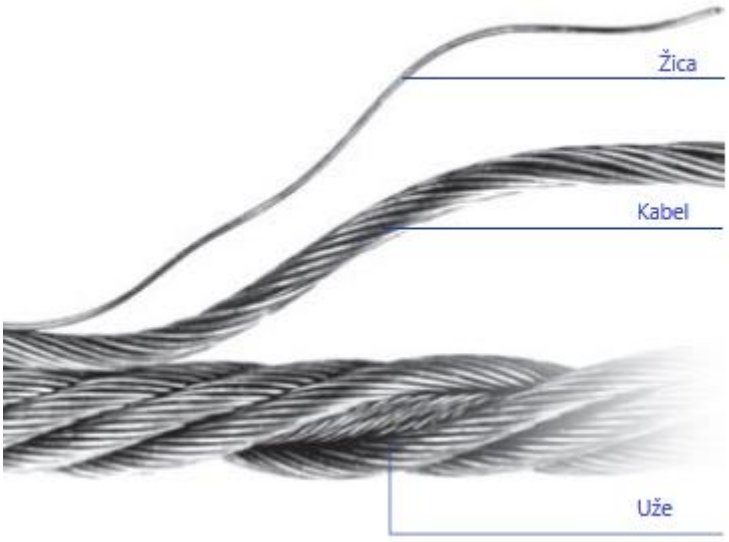
Većina komponenti dizala kao i samo dizalo, moraju zadovoljiti niz normi koje su propisane za određene zahtjeve kod izrade dizala. One uključuju dopuštene razmake kabine i drugih komponenti u odnosu na vozno okno. Zatim zahtjeve vezane uz nosivost dizala i broj osoba koje dizalo može istovremeno prevoziti. Broj osoba također je ograničen i površinom kabine dizala. Uz sve osnovne norme koje se moraju zadovoljiti prilikom konstruiranja dizala postoje i specijalne norme vezane za vatrootpornost komponenti dizala, ulaz za osobe s invalidskim kolicima, otpornost na mehaničke utjecaje poput udarca na određene dijelove u kabini (tzv. anti-vandal dizala) i mnoge druge. [4]

Popis pojedinih normi:

- EN 81-20 – Europska norma za sigurnosna pravila kod konstruiranja i ugradnje dizala za transport osoba i materijala
- EN 81-50 – Europska norma za sigurnosna pravila kod konstruiranja i ugradnje dizala vezana za testiranja i ispitivanja
- EN 81-72 - Europska norma za sigurnosna pravila kod konstruiranja i ugradnje dizala – specijalna protupožarna dizala za prijevoz osoba i materijala
- HRN EN 81-1 – Hrvatska norma – Sigurnosna pravila za konstrukciju i ugradnju dizala – 1. dio: Električna dizala
- HRN EN 81-2 – Hrvatska norma - Sigurnosna pravila za konstrukciju i ugradnju dizala – 2. dio: Hidraulična dizala
- HRN EN 81-21 – Hrvatska norma - Sigurnosna pravila za konstrukciju i ugradnju dizala – 21. dio: Nova osobna dizala i osobna teretna dizala u postojećim zgradama
- HRN EN 81-28 – Hrvatska norma – Sigurnosna pravila za konstrukciju i ugradnju dizala – 28. dio: Daljinska dojava opasnosti na osobnim i osobno teretnim dizalima
- HRN EN 81-58 – Hrvatska norma - Sigurnosna pravila za konstrukciju i ugradnju dizala – 58. dio: Vrata voznog okna, ispitivanje vatrootpornosti
- HRN EN 81-70 – Hrvatska norma - Sigurnosna pravila za konstrukciju i ugradnju dizala – 70. dio: Pristupačnost dizalima za osobe s posebnim potrebama
- HRN EN 81-73 – Hrvatska norma – Sigurnosna pravila za konstrukciju i ugradnju dizala – 73. dio: Način rada u slučaju požara

2. UŽAD

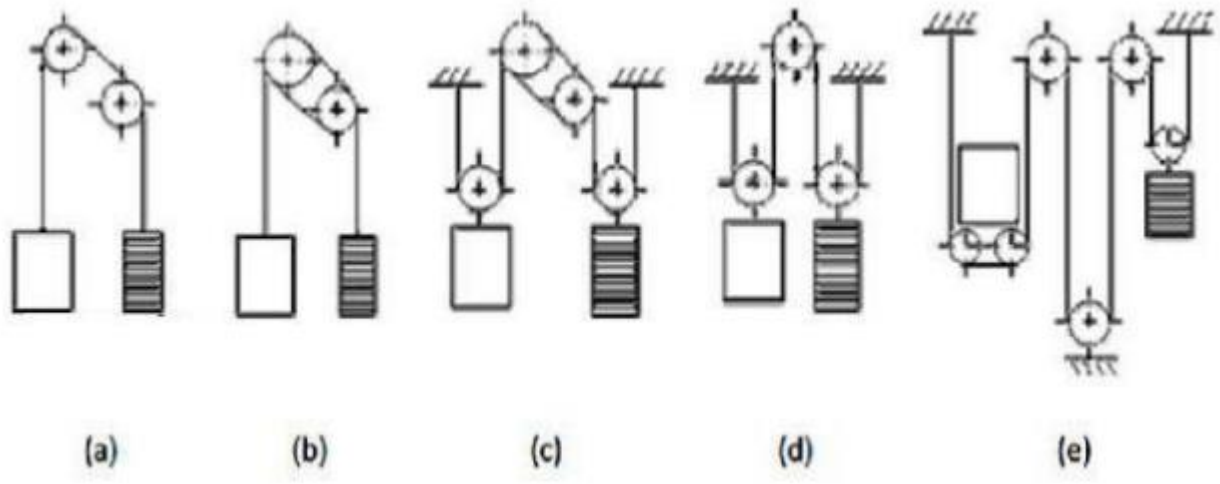
Užad je gotovo neizbježna komponenta kod većine današnjih dizala. Ona može varirati različitim materijalima i strukturom. Užad se sastoji od nekoliko kablova koji se sastoje od većeg broja žica kao što je prikazano na slici 2.1. Zbog svojeg posebne konstrukcije i strukture koju sačinjava velik broj zasebnih čeličnih žica, žičana užad je najbolje kvalificirana za primjenu kod dizala. Glavna prednost žičane užadi je mogućnost pravovremenog prepoznavanja kraja vijeka trajanja, odnosno procjene kada je pravo vrijeme za zamjenu užeta prije nego njegovo stanje postane opasno. Opasnost stanja užeta može se procijeniti golim okom promatrajući vanjski izgled užeta.



Slika 2.1. Konstrukcija užeta za dizala [5]

Glavna funkcija užadi je povezivanje kabine i protuutega. Užad je fiksirana pomoću užnih zatvarača na nosaču užnih zatvarača. Pruža se preko pogonske užnice stroja do užnica na kabini, pa zatim do užnice na okviru protuutega. Čelična užad za dizala mora posjedovati certifikate i zadovoljavati posebno propisane norme. Broj užadi definira i broj potrebnih utora na užnicama, te radijuse utora. Prema tome užadi mogu varirati i različitim promjerima ovisno o tipu dizala i nosivosti. Kabina i protuuteg mogu se povezati na nekoliko različitih načina preko užadi s različitim kombinacijama postavljenih užnica. Kod povezivanja kabine i protuutega pomoću užadi najčešće se koristi termin ovjes. Tipovi ovjesa mogu biti 1:1 i 2:1. Kod ovjesa 1:1 uže je spojeno direktno na kabinu i protuuteg dok se kod ovjesa 2:1 uže prebacuje preko dodatnih kolotura. Također, moguće je varirati i broj namotaja užadi stoga postoje dvije opcije, jedan omot i dupli omot. Kod jednog omota uže se jednom prebacuje preko užnice i povezuje s

protuutegom, dok je kod duplog omota uže još jednom omotano prije spajanja s protuutegom. Na slici 2.2 prikazane su navedene kombinacije povezivanja pomoću užadi. [6]



Slika 2.2. Metode povezivanja kabine i protuutega [6]

a) 1:1 ovjes i jedan omot – primjenjuje se za srednje i sporo brzinska dizala

b) 1:1 ovjes i dupli omot – primjenjuje se za visoko brzinska dizala

c) 2:1 ovjes i dupli omot – primjenjuje se za visokobrzinska dizala

d) 2:1 ovjes i jedan omot – primjenjuje se za teretna i MRL dizala (bez strojarnice)

e) 2:1 ovjes i jedan omot – primjenjuje se za MRL dizala

2.1. Zahtjevi na užad

Užadi moraju zadovoljiti niz zahtjeva kako bi se mogle primjenjivati u konstrukciji dizala. Prvi zahtjev vezan je za postavljanje sigurnosnog faktora kod užadi. U slučaju pogona s 3 užadi sigurnosni faktor mora biti najmanje 12, u slučaju pogona s 2 užeta sigurnosni faktor mora biti najmanje 16, dok je sigurnosni faktor kod pogona s bubnjem najmanje 12. Sigurnosni faktor definira omjer minimalne sile [N] koja dovodi do pucanja jednog užeta i maksimalne sile [N] u užetu kada je kabina u stanju mirovanja u prvoj stanici s propisanim opterećenjem tereta koji treba prevesti. Spoj na kraju užeta mora izdržati 80% minimalne lomne sile užeta. Krajevi užadi moraju biti pričvršćeni na kabinu, protuuteg ili dijelove za balansiranje težine ili u točkama ovjesa (npr. na nosaču užnih zatvarača) pomoću točno propisanih komponenti za prihvaćanje

užadi. Pričvršćivanje užadi na bubanj mora biti osigurano pomoću blokirajućeg sustava s klinovima ili koristeći najmanje dvije stege. [4]

2.1.1. Istezanje užadi

Istezljivost užadi mora zadovoljiti sljedeća 3 uvjeta:

a) kabina mora stajati u stanici bez pomaka kada opterećenje iznosi 125% korisne nosivosti

b) mora biti osigurano da bilo kakvo iznenadno pucanje, nebitno bila kabina prazna ili puna, usporava do brzine koja je manja ili jednaka brzini za koju su namijenjeni odbojnici (uključujući reducirani udarni odbojnik).

c) ne smije postojati mogućnost da se podigne prazna kabina ili protuuteg na opasnu poziciju ako se kabina ili protuuteg zaglavio. U tom slučaju užad mora klizati po pogonskom bubnju ili stroj mora biti zaustavljen pomoću sigurnosnog elektronskog uređaja. [4]

2.1.2. Namotavanje užadi za vožnju bez proklizavanja

Bubanj preko kojeg se namotava užad mora biti spiralno ižlijebljen, a žljebovi odnosno utori moraju odgovarati užadi koja se primjenjuje. Kada kabina miruje na potpuno komprimiranim odbojnicima jedan i pol namotaj užeta mora i dalje biti u utorima na užnici. Otklonski kut užadi u odnosu na utore ne smije biti veći od 4 stupnja. [4]

2.1.3. Raspodjela opterećenja među užadi

Automatski uređaj mora biti ugrađen na barem jednom kraju kako bi se izjednačilo naprezanje visećih užadi. Ako se za balansiranje naprezanja koriste opruge onda one trebaju biti tlačno opterećene. Zaštita u slučaju prekomjernog istezanja odnosno labavosti užeta mora se ostvariti na sljedeća dva načina:

- U slučaju dvije viseće užadi kabine, sigurnosni električni uređaj prema normi mora zaustaviti stroj ako dođe do prekomjernog istezanja jednog užeta
- Ako postoji rizik od pojave labave užadi sigurnosni električni uređaj mora zaustaviti stroj kada dođe do pojave labavosti užeta

Nakon zaustavljanja stroja normalne operacije na liftu trebale bi biti onemogućene.

Uređaji za podešavanje dužine užadi bi trebali funkcionirati tako da nakon podešavanja ne dođe do naknadnog labavljenja užadi. [4]

2.1.4. Kompenzacijska sredstva [4]

Kompenzacija težine na visećoj užadi treba biti provedena tako da se osigura adekvatna vuča odnosno potrebna snaga dizanja motora prema sljedećim uvjetima:

- Za nazivne brzine koje ne prelaze 3,0 m/s mogu se koristiti lanci, remeni ili užad kao sredstva kompenzacije
- Za nazivne brzine preko 3,0 m/s mora se koristiti kompenzacijska užad
- Za dizala čija nazivna brzina prelazi 3,5 m/s mora se dodatno postaviti uređaj za sprečavanje odskoka.

Kada se primjenjuje kompenzacijska užad moraju se zadovoljiti navedeni kriteriji:

- Kompenzacijska užad mora biti takva da zadovoljava normu EN 12385-5:2015
- Mora se koristiti zatezna naprava
- Omjer između najvećeg promjera zatezne naprave i nazivnog promjera kompenzacijske užadi mora biti najmanje 30
- Zatezna naprava mora imati posebnu zaštitu
- Napetost treba biti osigurana gravitacijskom silom
- Napetost treba biti provjerena pomoću sigurnosnog električnog uređaja

Sva kompenzacijska sredstva (remeni, lanci, užad i njihovi prihvati) moraju izdržati bilo kakvu statičku silu kojoj su podvrgnuta s faktorom sigurnosti 5.

Također, mora se uzeti u obzir maksimalna ovješena masa na kompenzacijskim sredstvima s kabinom ili protuutegom na visini dizanja i pola ukupne mase sklopa zatezne naprave. [4]

2.1.5. Proračun faktora sigurnosti užadi

Ova metoda računanja faktora sigurnosti *„S“* može se primijeniti samo za čelične ili lijevane užnice, te za čeličnu (žičanu) užad prema normi EN 12385-5:2015.

Prvo se računa nazivni broj kolotura. Broj savijanja i veličina kuta utora svakog savijanja uzrokuje trošenje užadi. Tome pridonosi i vrsta utora (*U* ili *V*) za užad, te promjena smjera savijanja. Jednostavno savijanje definirano je kao prijelaz užadi preko polukružnog utora gdje radijus utora nije veći od 53% nazivnog promjera užeta. Broj jednostavnih savijanja odgovara nazivnom broju kolotura. [7]

$$N_{equiv} = N_{\mathrm{equiv(t)}} + N_{\mathrm{equiv(p)}} \quad (1)$$

$N_{\mathrm{equiv(t)}}$ – broj pogonskih užnica

$N_{\mathrm{equiv(p)}}$ – broj užnica za promjenu smjera

Broj pogonskih užnica određuje se prema tablici 2.1.

Tablica 2.1. Očitavanje $N_{\mathrm{equiv(t)}}$ prema vrsti utora i kutu kolture [7]

V-utor	V-kut	35°	36°	38°	40°	42°	45°	50°
	$N_{equiv(t)}$	18,5	16	12	10	8	6,5	5
U-utor	U-kut	75°	80°	85°	90°	95°	100°	105°
	$N_{equiv(t)}$	2,5	3,0	3,8	5,0	6,7	10,0	15,2

Na slici 2.3 prikazani su navedeni tipovi utora na užnici.



Slika 2.3. Kolotura s *V - utorom* i *U – utorom* [8]

Za preostale kutove koji nisu navedeni u tablici $N_{equiv(t)}$ moguće je odrediti linearnom interpolacijom.

Broj užnica za promjenu smjera računa se prema sljedećoj jednadžbi:

$$N_{\mathrm{equiv(p)}} = K_{\mathrm{p}} \cdot (N_{\mathrm{ps}} + 4 \cdot N_{\mathrm{pr}}) \tag{2}$$

N_{ps} – broj kolotura s jednostavnim savijanjem

N_{pr} – broj kolotura s obrnutim savijanjem

Obrnuto savijanje podrazumijeva savijanje kada je udaljenost dodira užadi između dvije koloture 200 puta manja od promjera užeta i kada su ravnine savijanja zarotirane za više od 120°.

K_p – faktor omjera promjera pogonske užnica i užnice za promjenu smjera

$$K_{\mathrm{p}} = (\frac{D_t}{D_p})^4 \tag{3}$$

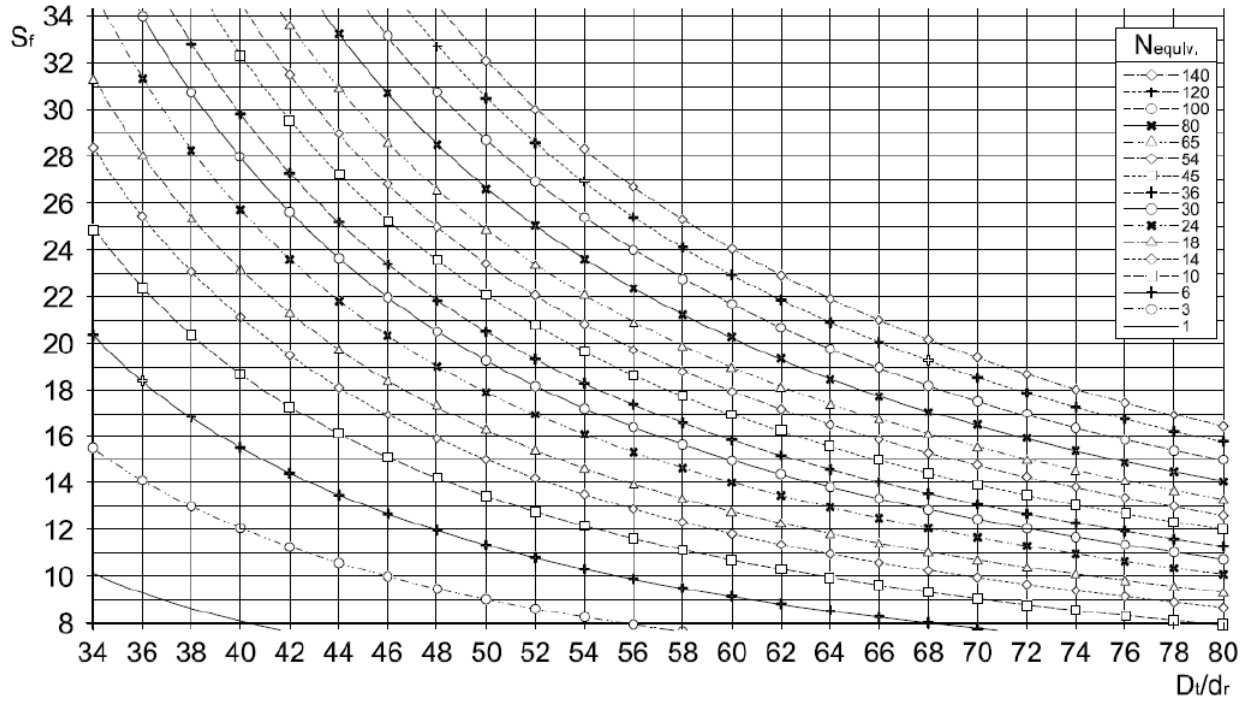
Za određenu vrstu pogona užadi minimalna vrijednost faktora sigurnosti može se očitati iz slike 2.4 uzimajući u obzir točan omjer D_t/d_r i izračunati nazivni broj za najgori slučaj presjeka na užadi. [7]

D_t – promjer pogonske užnice

d_r – promjer užadi

N_{equiv} – nazivni broj užnica

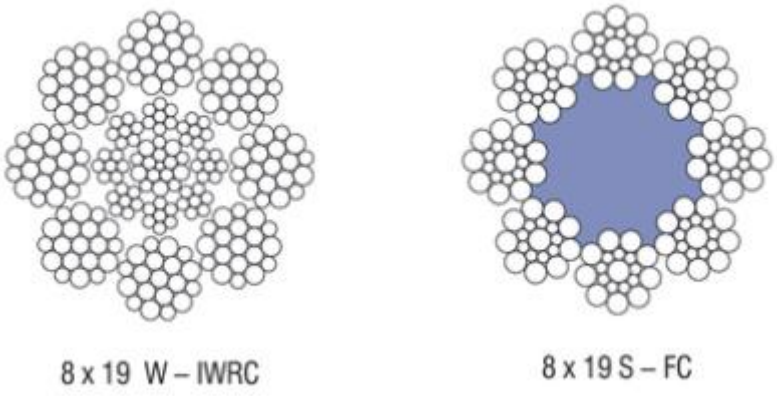
S_f – sigurnosni faktor



Slika 2.4. Dijagram za očitavanje faktora sigurnosti [7]

2.2. Podjela užadi

Užad za dizala može se podijeliti prema mehaničkim svojstvima, vrsti materijala, strukturi i području primjene. Prema mehaničkim svojstvima užad za dizala dijeli se u tri kategorije. Prva kategorija uključuje svu užad koja ima razinu vlačne čvrstoće 1370 N/mm^2. Druga kategorija uključuje užad koja ima razinu vlačne čvrstoće od 1570 N/mm^2, a treća kategorija obuhvaća užad vlačne čvrstoće od 1770 N/mm^2. Najčešća podjela je prema području primjene užadi za dizanje u tri kategorije. Prva kategorija obuhvaća stambene i poslovne objekte manjih visina (low-rise) do 1830 mm. Dva primjera presjeka užadi koja se koriste kod manjih putanja dizanja i liftova bez strojarnice prikazani su na slici 2.5.



Slika 2.5. Dva presjeka užadi za low-rise dizala [5]

Prvi tip užadi (8x19 *W-IWRC*) sastoji se od osam kabela s čeličnom jezgrom. Njegova prednost je vrlo nizak omjer *D/d* za promjere do 8 mm. Potreban moment za pokretanje je znatno smanjen, a time i potrošnja energije pri svakoj vožnji. Ovaj tip primjenjuje se i kod hidrauličkih dizala kod kojih nema puno prostora u oknu s obzirom na to da se kod tog tipa užadi mogu koristiti vrlo male užnice. Promjer ovog tipa užadi može biti do 16 mm, a isporučuju se u predoblikovanom i prednapregnutom stanju bez zaštitnih premaza. Tehničke specifikacije ove užadi prikazane su tablici 2.2. [5]

Tablica 2.2. Tehničke specifikacije užadi 8x19 *W-IWRC* [5]

Nazivni promjer užadi [mm]	Vlačna čvrstoća [N/mm^2]	Minimalna prekidna sila [kN]	Masa na 100 m [kg/100 m]
6	1770	26,8	16,4
6,5	1770	31,5	17,9
8	1570	43,3	27,3
8	1770	46,6	27,3
9	1570	54,8	34,3
10	1570	67,7	42,3
10	1770	72,7	42,3
11	1570	81,9	51,2
12	1570	97,4	61
13	1570	114	71,5
14	1570	133	82,9
16	1770	173	108,3

Drugi tip užadi (8x19 *S-FC*) je bez sumnje najčešće korišteni primjer užadi za dizala u cijelom svijetu. Ova užad ima promjere do 19 mm i sastoji se od osam kabela s jezgrom od prirodnih vlakana. Ta struktura je najčešća opcija kod izbora užadi za uobičajena dizala. Kvaliteta ovog tipa užadi ovisi o svojstvima vlakana u jezgri i sveukupnoj strukturi jezgre od vlakana tako da najpoznatiji proizvođači sajli sami proizvode vlakna kako bi zagarantirali propisanu kvalitetu. Ova užad također se isporučuje u prednapregnutom i predoblikovanom stanju bez dodatnih premaza. Prednosti ove užadi u odnosu na užad sa šest kabela je veći broj kontakata s utorom na užnici. Vrlo je dobra deformabilnost užadi po presjeku i vrlo se lako ugrađuje pri montaži dizala. Tehničke specifikacije ove užadi prikazane su u tablici 2.3. [5]

Tablica 2.3. Tehničke specifikacije užadi 8x19 *S-FC* [5]

Nazivni promjer užadi [mm]	Vlačna čvrstoća [N/mm^2]	Minimalna prekidna sila [kN]	Masa na 100 m [kg/100 m]
8	1570	30,4	21,5
8	1370/1770	30,4	21,5
9	1370/1770	38,4	27,3
9,5	1570	42,8	30,4
9,5	1370/1770	42,8	30,4
10	1370/1770	47,4	33,7
11	1370/1770	57,4	40,7
12	1370/1770	68,3	48,5
12,7	1370/1770	75,3	51,2
13	1370/1770	80,2	56,9
13	1570	80,2	56,9
14	1370/1770	93	66
15	1370/1770	107	75,7
16	1570	121	86,1
16	1370/1770	121	86,1
17,5	1570	145,3	103,1
18	1570	154	109
18	1370/1770	154	109
19	1370/1770	171	121

Druga kategorija obuhvaća objekte u koja se ugrađuje dizalo za prijevoz ljudi i materijala na srednje visine dizanja (mid-rise) do 9150 mm. Kod srednjih visina dizanja koristi se 4 tipa užadi među kojima su i prethodna dva tipa koja se primjenjuju i za „low-rise“ dizala, te tipovi 9x26 *WS – IWRC* i 8x19 *S – IWRC*. Variranjem promjera užadi tipa 9x26 *WS-IWRC* optimizira se zamor materijala prilikom savijanja i povećava otpornost na trošenje. Ostvarena je vrlo dobra kružnost presjeka što omogućuje još bolji kontakt s utorom. Sastoji se od velikog broja tankih žica visoke fleksibilnosti koje odlično podnose savijanje. Ovu užad karakterizira vrlo niska istezljivost u elastičnom i plastičnom području. Pružaju odličnu izdržljivost prilikom montaže zbog unaprijeđene strukture *IWRC*-a (neovisna žičana jezgra užadi). Izbor ovog tipa užadi najbolja je rješenje kod većih visina dizanja i svih dizala koja sadrže veći broj užnica. Promjer užadi kreće se od 8 do 22 mm, a isporučuju se u predoblikovanom i prednapregnutom stanju bez premaza s mogućnošću galvanizacije prema želji kupca. Tehničke specifikacije ovog tipa užadi prikazane su u tablici 2.4. [5]

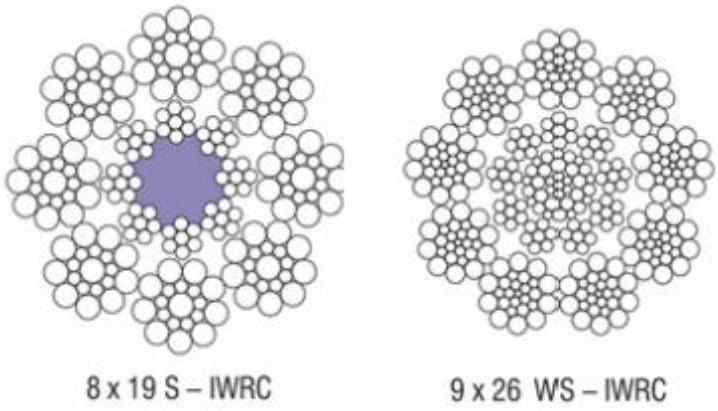
Tablica 2.4. Tehničke specifikacije užadi 9x26 *WS-IWRC* [5]

Nazivni promjer užadi [mm]	Vlačna čvrstoća [N/mm^2]	Minimalna prekidna sila [kN]	Masa na 100 m [kg/100 m]
8	1570	42,1	26,1
8	1770	42,1	26,1
9	1570	53,3	33,1
9,5	1570	59,4	36,8
10	1570	66	42,8
10	1770	71	42,8
11	1570	79,9	51,8
12	1570	95,1	61,6
13	1570	111,6	72,3
14	1570	133	84
15	1570	153	96
15,5	1570	163,1	102,8
16	1570	174	110
16	1770	184	110
17,5	1570	208	131
18	1570	220	139
18	1770	233,1	139
19	1570	245	154
20	1570	272	171
22	1570	333	215

Tip užadi 8x19 *S-IWRC* sastoji se od osam kabela s jezgrom od čelika i vlakana. Veliki metalni presjek daje visoku lomnu čvrstoću u odnosu na promjer. Presjek je blago deformabilan, te užad ima dobra savojna svojstva i mali otklon. Istezanje je vrlo malo u plastičnom i elastičnom području. Primjenjuje se kao specijalna vučna užad za regularno česte sustave dizanja. Zahvaljujući kombiniranoj jezgri od čelika i vlakana, ova specijalna užad pruža poboljšana elastična svojstva prilagođena za posebne vrste utora i blago potrošene utore. Vlaknasta jezgra također omogućava prostor za ulijevanje maziva za podmazivanje. Isporuka ove užadi je u predoblikovanom i prednapregnutom stanju bez prevlake, a promjeri se kreću od 8 do 19 mm. U tablici 2.5 prikazane su tehničke specifikacije užadi 8x19 *S-IWRC*, a na slici 2.6 prikazani su presjeci za navedene tipove užadi za srednje visine dizanja. [5]

Tablica 2.5. Tehničke specifikacije užadi 8x19 *S-IWRC* [5]

Nazivni promjer užadi [mm]	Vlačna čvrstoća [N/mm^2]	Minimalna prekidna sila [kN]	Masa na 100 m [kg/100 m]
8	1570	38,7	25
10	1570	60,5	39
13	1570	102,2	67
16	1570	154,9	100
19	1570	218	143



Slika 2.6. Presjeci specijalnih tipova užadi za srednje visine dizanja [5]

Treća kategorija high-rise uključuje najviše visine dizanja preko 9150 mm koje se mogu ostvariti pomoću dizala s pogonskom užnicom. Za te visine dizanja najčešće se koriste tri vrste užadi među kojima je i gore navedeni tip 9x26 *WS – IWRC* koji se koristi i kod „mid-rise“ užadi. Drugi tip užadi je 8x25 *F -PWRC*. Ova užad namijenjena je za izrazito velika opterećenja i kada se traže visoki zahtjevi na preciznost zaustavljanja prilikom punjenja i pražnjenja kabine. Osim izvrsnih mehaničkih svojstava ova užad pruža i ugodniju vožnju. Zahvaljujući mogućnosti zbijanja kablova, površina metalnog presjeka je dodatno uvećana što rezultira dodatnim povećanjem lomne čvrstoće u odnosu na užad koja nije zbijena. Zbijeni vanjski kablovi su dobro zaobljeni i lako prianjaju na pogonske užnice i otklonske užnice. Pogon kod kojeg se primjenjuje ovaj tip užadi je prilično tih i time povećava ugodnost vožnje. Kompaktnost ove užadi također olakšava proces montaže tako što je smanjena mogućnost rotacije. Ova užad isporučuje se u prednapregnutom stanju bez premaza. Užad 8x25 *F – PWRC* sastoji se od osam kabela s čeličnom jezgrom. Glavne prednosti su vrlo kružna površina poprečnog presjeka, odlično ponašanje u uvjetima savijanja, stabilnost i vrlo mala istezanja u elastičnom i plastičnom području, uz savršeno tihu i glatku vožnju. Kod ove užadi visoka lomna

čvrstoća ostvarena je već u razredu užadi s vlačnom čvrstoćom 1570 N/mm^2. Tehničke specifikacije ovog tipa užadi prikazane su u tablici 2.6. [5]

Tablica 2.6. Tehničke specifikacije užadi 8x25 *F-PWRC* [5]

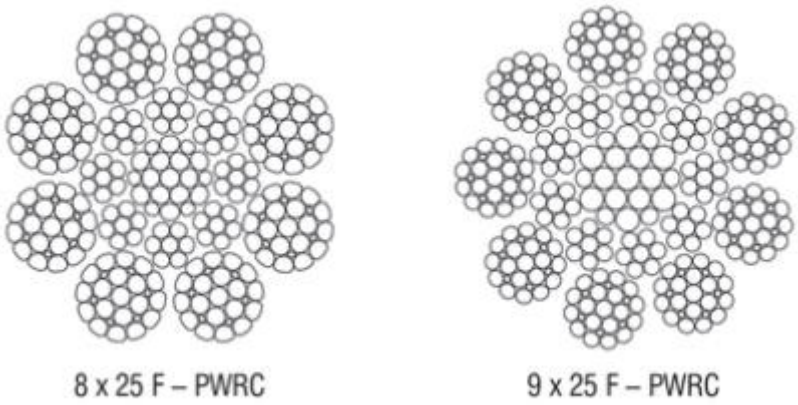
Nazivni promjer užadi [mm]	Vlačna čvrstoća [N/mm^2]	Minimalna prekidna sila [kN]	Masa na 100 m [kg/100 m]
10	1570	74	46
13	1570	130	80,1
16	1570	198	119,6
16	1770	209	119,6
19	1570	279	169,7
19	1770	299	169,7

Posljednji tip užadi za najveće visine dizanja je 9x25 *F-PWRC*. Također, ovaj tip užadi je prikladan za sustave dizanja s visokim zahtjevima na preciznost zaustavljanja kod punjenja i pražnjenja kabine. Ova užad ima kablove dizajnirane na temelju tipa užadi 9x26 *WS-IWRC* koja se pokazala odličnom kroz duži period korištenja. Struktura novo razvijenog tipa užadi sada se sastoji od dvostrukih paralelnih užadi. Široko područje metalnog poprečnog presjeka rezultira visokom lomnom čvrstoćom i reduciranim produljenjem u elastičnom i plastičnom području. Pojednostavljeni proces povezivanja kablova s dvostrukom paralelnom užadi uzrokuje različito ponašanje užadi prilikom montaže u usporedbi s neovisnim kabelima IWRC užadi. Ovaj tip užadi isporučuje se u predoblikovanom i prednapregnutom stanju bez dodatnih premaza. Užad je strukturirana od 9 dvostruko paralelnih kablova s čeličnom jezgrom. Takvom strukturom ostvaren je veći poprečni presjek kružnog oblika, odlično ponašanje u uvjetima savijanja, stabilnost i visoka lomna čvrstoća, što su glavne prednosti ove užadi. Tehničke specifikacije užadi 9x25 *F-PWRC* prikazane su u tablici 2.7. [5]

Tablica 2.7. Tehničke specifikacije užadi 9x25 *F-PWRC* [5]

Nazivni promjer užadi [mm]	Vlačna čvrstoća [N/mm^2]	Minimalna prekidna sila [kN]	Masa na 100 m [kg/100 m]
12	1570	101	62,7
13	1570	119	74,8
16	1570	180	113
19	1570	254	159
22	1570	340	213

Poprečni presjeci navedenih tipova užadi za „high-rise“ dizala prikazani su na slici 2.7.



Slika 2.7. Poprečni presjeci užadi namijenjenih za najviše visine dizanja [5]

2.3. Oznake užadi

Svaki tip užadi za dizala ima svoju posebnu oznaku koja je standardizirana. U prethodnom poglavlju navedeni su neki primjeri najčešćih vrsta užadi, a njihove oznake mogu se podijeliti na osam dijelova. Prvi dio oznake definira nazivni promjer užadi. Drugi broj u oznaci užadi označava broj kablova u pojedinom užetu, a treći broj pokazuje od koliko se žica sastoji jedan kabel. Četvrti dio oznake definira konstrukciju kabela. Postoji pet različitih konstrukcija kabela, a njihove oznake i opisi prikazani su u tablici 2.8. Peti dio oznake definira vrstu jezgre. Jezgre mogu biti od vlakana, prirodnih vlakana, sintetičkih vlakana, neovisne čelične užadi ili paralelno postavljenih potpuno čeličnih užadi. Popis oznaka i njihov opis prikazan je u tablici 2.9. Šesti dio oznake definira vlačnu čvrstoću žica. Ako se na tom dijelu oznake nalazi samo jedan broj to znači da su sve žice jednake vlačne čvrstoće, no ako se na tom mjestu nalaze 2 broja npr. (1370/1770) to znači da žice vanjskih kablova imaju vlačnu čvrstoću 1370 N/mm^2, dok žice u jezgri imaju vlačnu čvrstoću 1770 N/mm^2. Predzadnje slovo u oznaci definira završnu obradu užadi odnosno da li je užad galvanizirana (*B*) ili je bez premaza (*U*). Posljednji dio oznake definira način namotavanja užadi tijekom proizvodnje. Način namotavanja može biti regularan i spiralan, a ta dva načina mogu se podijeliti na lijevo i desno namotavanje. Regularan način namotavanja užadi je način namatanja kod kojeg se kablovi i njegove žice namataju u suprotnom smjeru , dok je kod spiralnog namatanja suprotno odnosno kablovi se namataju oko jezgre u istom smjeru (lijevo ili desno). Regularno namotana užad teže će se zapetljati ili odmotati uslijed svoje unakrsne namotanosti. Također, regularno namotana užad ima manju vjerojatnost pucanja i deformacije zbog kraćih duljina izloženih vanjskih žica. Spiralno namotana užad ima bolju savitljivost i otpornost na abraziju zbog dužih izloženih

vanjskih žica, no ovaj način namotavanja povećava rizik od zapetljavanja, odmotavanja i pucanja. Navedene kombinacije namotavanja prikazane su na slici 2.8, a opis oznaka prikazan je u tablici 2.10. Primjer označavanja užadi s objašnjenim oznakama prikazan je na slici 2.9. [5]

Tablica 2.8. Oznake vrsta konstrukcija kablova i opisi [5]

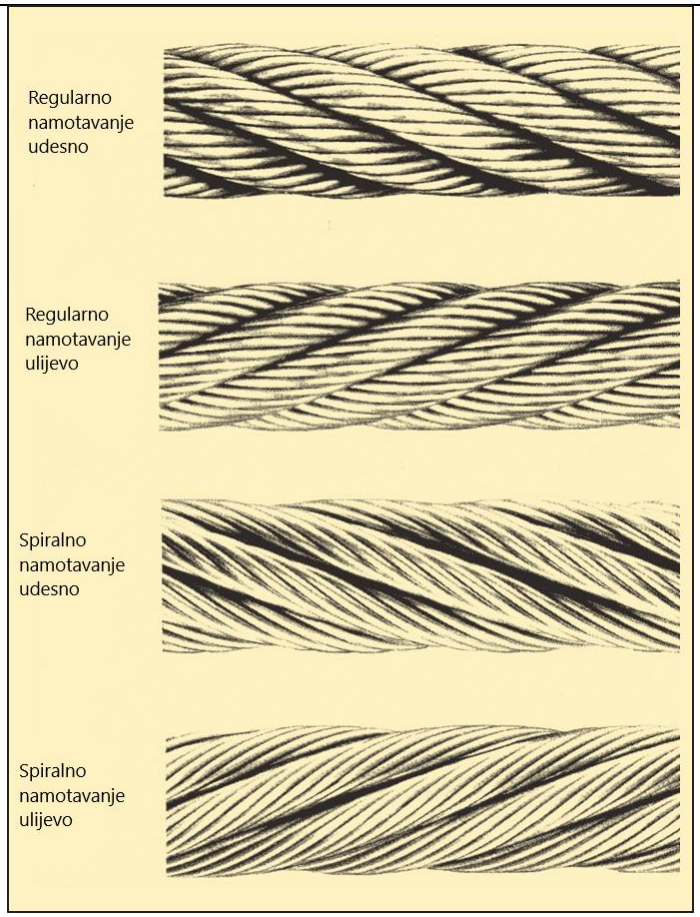
S	*W*	*F*	*WS*	*M*
konstrukcija kabela Seale	konstrukcija kabela Warrington	konstrukcija kabela Filler	konstrukcija kabela Warrington-Seale	konstrukcija kabela Crosslay

Tablica 2.9. Oznake vrsta jezgara u užadi i opisi [5]

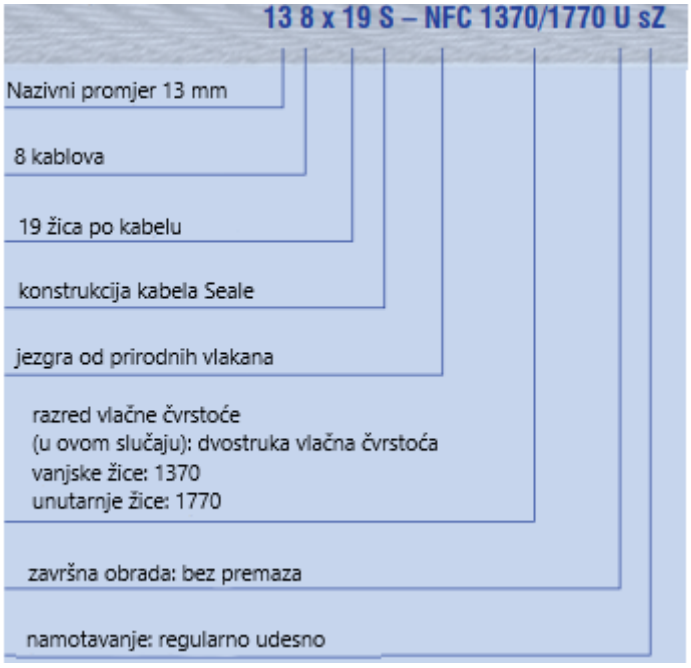
FC	*NFC*	*SFC*	*IWRC*	*PWRC*
jezgra od vlakana	jezgra od prirodnih vlakana	jezgra od sintetičkih vlakana	neovisna žičana čelična jezgra	paralelno postavljena žičana čelična jezgra

Tablica 2.10. Oznake za namotavanje užadi i opisi [5]

sZ	*zS*	*zZ*	*sS*
regularno namotavanje udesno	regularno namotavanje ulijevo	spiralno namotavanje udesno	spiralno namotavanje ulijevo



Slika 2.8. Načini namotavanja užadi [9]



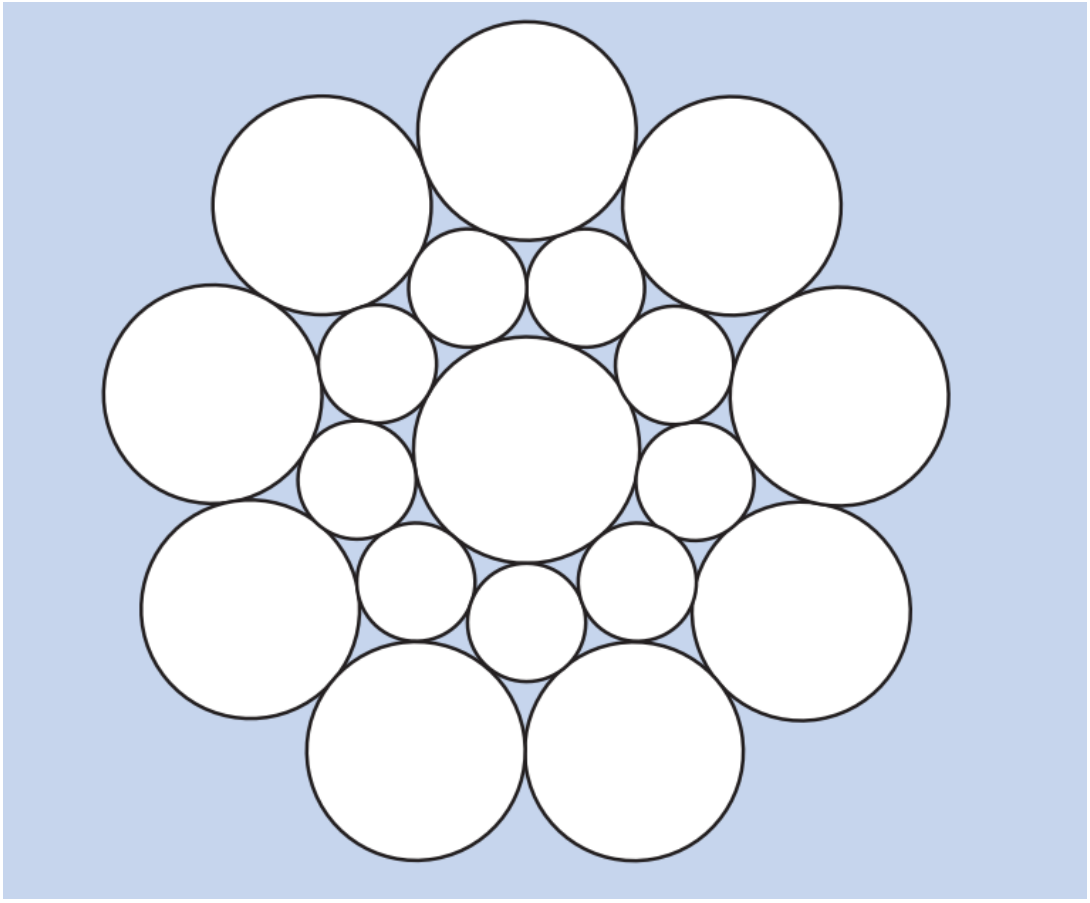
Slika 2.9. Primjer označavanja užadi [5]

2.4. Konstrukcija kabela

Konstrukcija kabela uveliko utječe na svojstva same užadi, no nije kod svih dizala potrebno ugrađivati užad od najčvršćih kablova već je potrebno ugraditi užad s optimalnim svojstvima za određenu vrstu dizala kako bi se smanjili troškovi dizala. Prema tome postoji nekoliko vrsta konstrukcija kablova, a svaka vrsta ima svoje posebno područje primjene. [5]

2.4.1. Konstrukcija kabela Seale

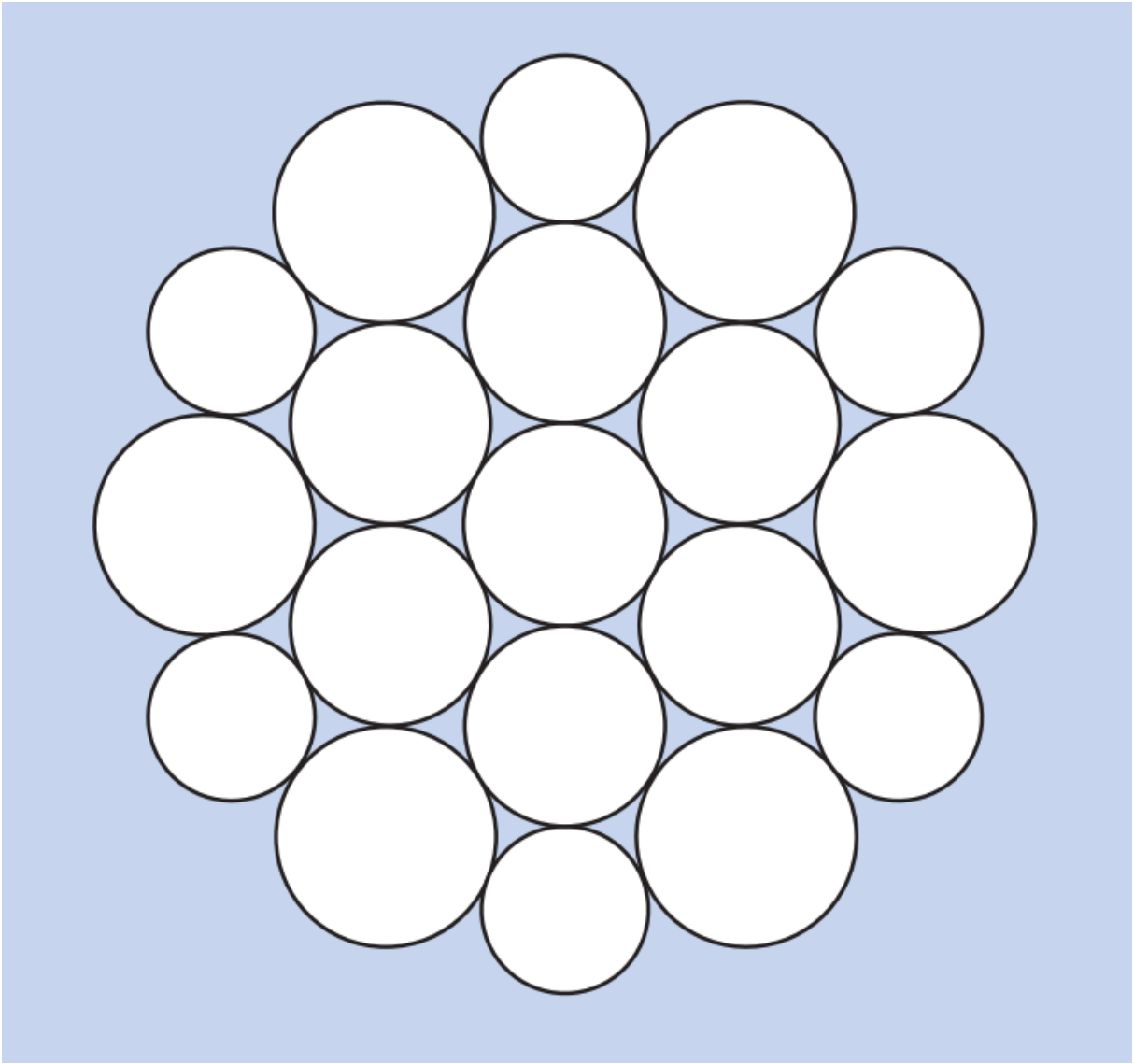
Najčešće korištena konstrukcija kabela u svijetu je Seale konstrukcija (1-9-9). Poznato je da užad dizala podliježe abrazijskom trošenju prilikom korištenja. Velike vanjske žice Seale konstrukcije imaju veliku metalnu površinu poprečnog presjeka što im daje mogućnost podnošenja dugotrajne abrazije prije nego dođe do pucanja, a to je glavni razlog njihove najveće korištenosti. Na slici 2.10 prikazana je Seale konstrukcija kabela. [5]



Slika 2.10. Konstrukcija kabela Seale [5]

2.4.2. Konstrukcija kabela Warrington

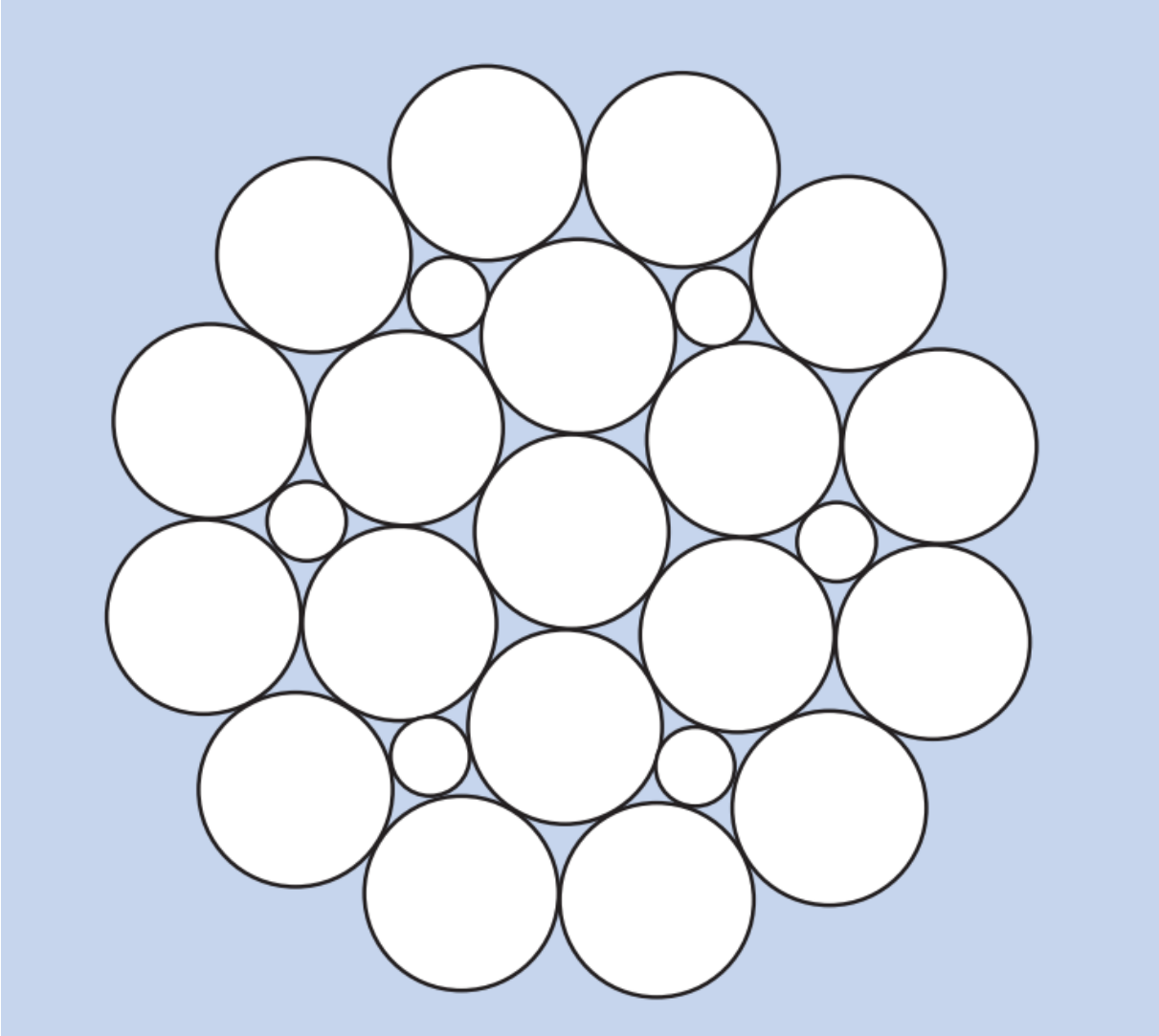
Kada se uspoređuje umor materijala kod savijanja užadi na užnici sa zaobljenim utorima, Warrington konstrukcija kabela pokazuje 20 do 40% dulji vijek trajanja užadi u odnosu na Seale konstrukciju kabela. Warrington kabeli sastoje se od većeg broja vanjskih tanjih žica. Vrlo je važno uzeti u obzir da na životni vijek užadi utječe i umor materijala, a ne samo abrazijsko trošenje. Umor materijala posebno je značajan kod hidrauličkih dizala koja koriste pogon s dvostrukim namotajem užadi, pa se zato ondje najčešće primjenjuje ova vrsta konstrukcije kabela. Primjer konstrukcije Warrington kabela prikazan je na slici 2.11. [5]



Slika 2.11. Konstrukcija Warrington kabela [5]

2.4.3. Konstrukcija kabela Filler

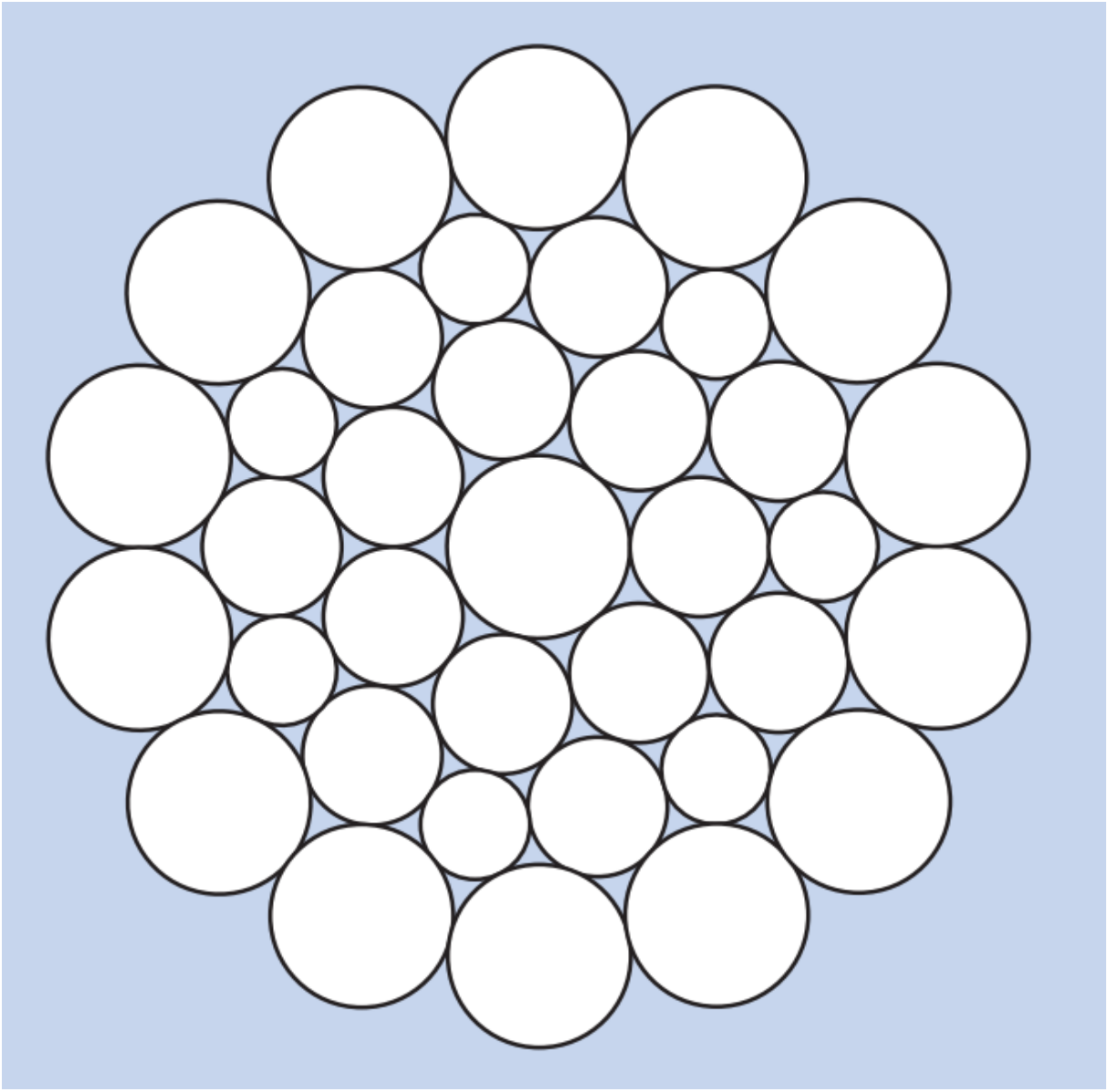
Filler konstrukcija je specijalna konfiguracija žica koja je posebno namijenjena za uvjete u kojima prevladava umor materijala prilikom savijanja. Široka primjena ove konstrukcije temelji se činjenici da se Filler žice u kombinaciji s jezgrom od vlakana koriste u užadi 8x21 koja je osnovni standard u proizvodnji dizala u Kanadi. Zbog svoje visoke elastičnosti Filler žice koriste se kod viseće užadi koja ima promjer veći od 16 milimetara i sastoji se od 6 do 9 vanjskih kablova. To se osobito odnosi na užad sa 6 kablova. Nedostaci ove konstrukcije su velika osjetljivost na nepravilnosti u geometriji konstrukcije. Posebno kada sama Filler žica nema nazivni promjer. Stoga se ove žice ne preporučuju za užad koja ima nazivni promjer manji od 10 milimetara. Primjer konstrukcije s Filler žicama prikazan je na slici 2.12. [5]



Slika 2.12. Konstrukcija kabela s Filler žicama [5]

2.4.4. Warrington-Seale konstrukcija kabela

Užad koja ima kablove s Warrington-Seale konstrukcijom nije prikladna kao uobičajena viseća užad niti kao užad za mjerenje brzine, već se specijalno koristi kod velikih nazivnih promjera užadi. Kompenzacijska užad promjera iznad 24 mm i viseća užad iznad 22 mm nije dovoljno elastična kod uobičajenih konstrukcija kabela. Iz tog razloga se preporučuje Warrington-Seale konstrukcija s više od 25 žica kada se prelaze granice standardnih dizala. Također, preporučuje se korištenje užnica sa zaobljenim utorima radi smanjenja trošenja. Warrington-Seale konstrukcija kabela prikazana je na slici 2.13. [5]



Slika 2.13. Warrington-Seale konstrukcija kabela [5]

2.5. Materijal žice i postupak proizvodnje

Osnovni materijal čeličnih žica je nelegirani ugljični čelik s udjelom ugljika 0,4 do 0,8%. Ostali materijali poput silicija i mangana pojavljuju se u minimalnim količinama reguliranim prema normi EN 10016. Čelične žice za dizala imaju nazivne vlačne čvrstoće od 1370, 1570 i 1770 N/mm^2. Viša razina čvrstoće od 2500 N/mm^2 koristi se samo kada postoje opravdani razlozi za primjenu. Visoka razina čvrstoće postignuta je procesom proizvodnje koji uključuje kombinaciju oblikovanja i toplinske obrade. To podrazumijeva provlačenje valjanih žica promjera između 5 i 10 milimetara kroz provlakačice. Postupak se kontinuirano ponavlja dok se žica hladi kako bi se postepeno smanjio promjer. Tijekom tog procesa vlačna čvrstoća žica poraste 3 do 6 puta. Prije prvog provlačenja i između ostalih sljedova provlačenja materijal se kontrolirano toplinski obrađuje. Relativno visoka vlačna čvrstoća karakterizirana izričito povezanom mikrostrukturom nije rezultat visokog udjela legirnih elemenata već rezultat oblikovanja materijala i ohlađivanja. Pokušaji korištenja alternativnih materijala kao zamjena za čelične žice za sada su bezuspješni. Užad od testiranih alternativnih materijala nudi malo toga da bi se preporučila za primjenu u dizalima zbog slabog podnošenja umora prilikom savijanja. Uz slabu otpornost na umor imaju i znatno veću cijenu od žica od ugljičnog čelika. [10]

2.6. Održavanje užadi

Užad za dizala podmazuje se prilikom procesa proizvodnje s ciljem reduciranja korozije i abrazije. Prilikom procesa abrazije uz prisutnost prašine mazivo ima tendenciju da se zgusne tako da u vrlo malom broju slučajeva prvo mazivo preostane učinkovito do kraja vijeka trajanja dizala. Zato se preporučuje periodičko podmazivanje tijekom servisa. Ako se prstom prijeđe preko užadi i ostane mali trag ulja tada nije potrebno dodatno podmazivati užad. Podmazivati se može na mnogo načina. Najčešće se podmazuje pomoću raspršivača ili kantice s uljem i kistom. Za sustave s pogonskom užnicom samo male količine maziva su dovoljne. Nakon dodavanja maziva dizalo mora nekoliko puta proći cijelu putanju od prve do zadnje stanice i pritom se treba pozorno promatrati da li se pojavljuju karakteristike proklizavanja. Ako je potrebno može se naknadno dodati još mala količina maziva. Maziva moraju imati malu viskoznost i mogućnost tečenja između žica kako bi se podmazao unutarnji dio užadi. [10]

3. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu ispitivanja provedeno je statičko vlačno ispitivanje užadi za dizala od dva različita proizvođača. Od svakog proizvođača nabavljene su četiri grupe užadi različitih promjera (8, 10, 11, 13 mm). Cijena proizvođača B je 25% veća u odnosu na cijenu proizvođača A. Od oba proizvođača uzet je isti tip užadi 8x19S FC kako bi se usporedila kvaliteta proizvođača A i B. Prema oznaci užadi jasno je da se radi o strukturi s osam vanjskih kablova od kojih svaki ima devetnaest čeličnih žica, a sami kablovi su omotani oko jezgre od prirodnih vlakana. Kablovi oba proizvođača su izrađeni prema Seale konstrukciji kabela. Odvojeni kablovi i vlakana od užadi prikazani su na slici 3.1. Ispitivana užad spada u razred vlačne čvrstoće 1370/1770 N/mm^2, a to znači da vanjski dijelovi užeta od čelika imaju vlačnu čvrstoću 1770 N/mm^2, dok jezgra od vlakana ima vlačnu čvrstoću 1370 N/mm^2.



Slika 3.1 Odvojeni kablovi i vlakna iz užadi

a) kablovi

b) vlakna

3.1. Plan ispitivanja

Prije samog početka ispitivanja isporučena namotana užad od 10 metara odrezana je na kraće komade od 2,7 metara kako bi se dobila 3 uzorka. Tako je dobivena približna početna duljina slobodnog dijela uzorka od 200 milimetara. Prvo su provedena ispitivanja užadi proizvođača A, a zatim užadi proizvođača B od manjeg prema većem promjeru užadi. Sva ispitivanja provedena su na sobnoj temperaturi. Užad u isporučenom stanju prikazana je na slici 3.2.



Slika 3.2 Užad u isporučenom stanju (prije početka ispitivanja)

Tijek ispitivanja jednog užeta može se podijeliti u sljedeće korake:

1. Statičko vlačno ispitivanje kompletnog užeta duljine 2,7 metara na kidalici
2. Očitavanje maksimalne sile i pomaka čeljusti kidalice
3. Odvajanje 3 uzorka vanjskih čeličnih kablova iz užeta i rezanje na duljinu od 200 milimetara
4. Statičko vlačno ispitivanje čeličnih kablova na kidalici
5. Analiza rezultata dobivenih ispitivanjem kablova
6. Odvajanje vanjskih žica iz kabela i izrezivanje na duljinu od 200 milimetara
7. Statičko vlačno ispitivanje vanjskih žica kabela
8. Analiza rezultata dobivenih ispitivanjem žica

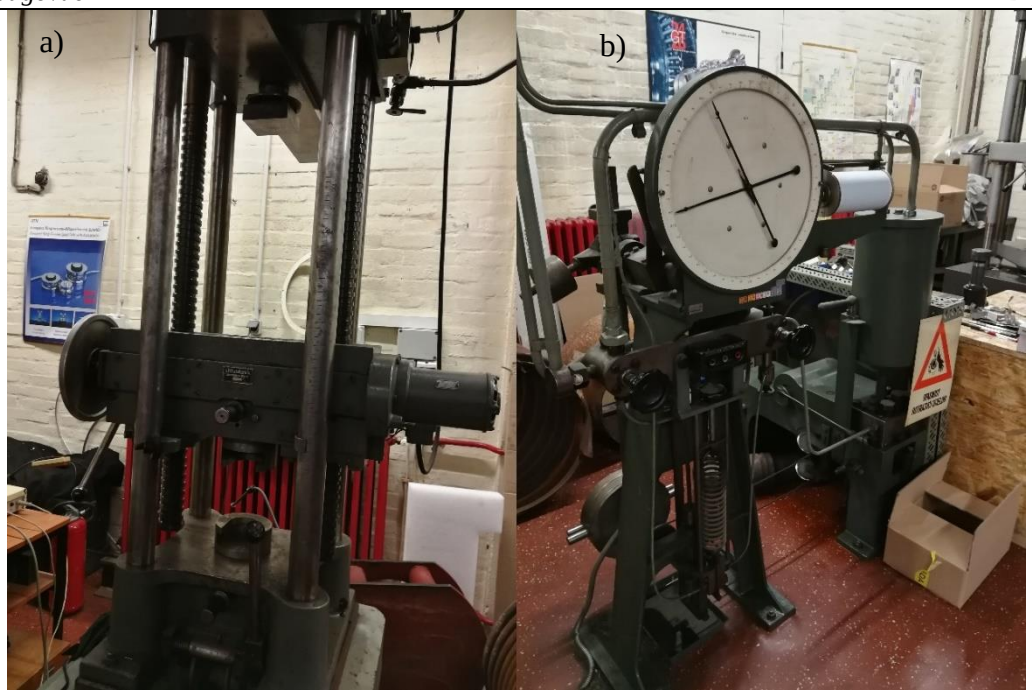
3.2. Oprema korištena za ispitivanje

Ispitivanja su provedena na dvije različite kidalice s obzirom na to da su za užad korištene naprave za prihvat užadi koje odgovaraju samo na kidalicu proizvođača Alfreda J. Amslera & Co., dok je za ispitivanje kablova i žica korištena kidalica proizvođača VEB WPM.

Podatci o kidalici korištenoj za ispitivanje užadi:

- Proizvođač: Alfred J. Amsler & Co.
- Godina proizvodnje: 1938.
- Zemlja proizvodnje: Švicarska (Schaffhausen)
- Serijski broj: 9683
- Maksimalna sila: 500 kN

Kidalica klase točnosti 2 sukladno normi HRN EN ISO 7500-1:2018 nije povezana s računalom stoga je kod nje jedino očitana maksimalna sila prilikom loma užadi. Nosiva konstrukcija kidalice i sustav za očitavanje sile prikazani su na slici 3.3, a naprave za prihvat užadi koje su kompatibilne s ovom kidalicom prikazane su na slici 3.4. Promjer naprave za prihvat užadi je 160 milimetara, a uže je potrebno namotati 2,5 puta oko naprave (oba kraja užeta). Namotani dio užeta na napravi ima dužinu od 2,5 metara. Prema tome je izračunata potrebna dužina užeta od 2,7 metara kako bi ostalo 200 milimetara za ispitivanje.



Slika 3.3 Nosiva konstrukcija kidalice i sustav za očitavanje

a) nosiva konstrukcija

b) sustav za očitavanje



Slika 3.4 Naprava za prihvat užadi

Podatci o kidalici korištenoj za ispitivanje kablova i žica prikazanoj na slici 3.5:

- Proizvođač: VEB WPM
- Zemlja proizvodnje: Njemačka
- Model: EU 40 MOD
- Maksimalna sila: 400 kN
- Serijski broj: 990.06/83/35
- Klasa 1 (prema normi HRN EN ISO 7500-1:2018)

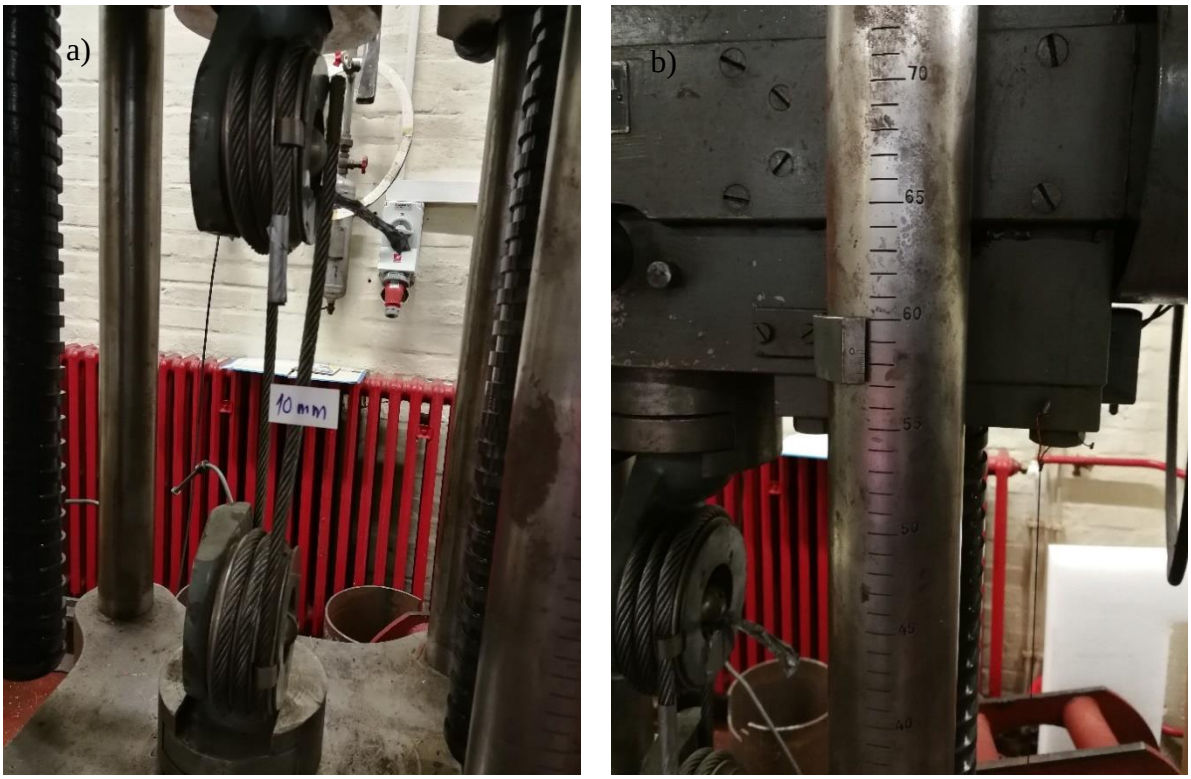


Slika 3.5 Kidalica EU 40 MOD

Za prihvat kablova i žica korištene su prihvati montirani na kidalicu sa slike 3.5. Također, važno je napomenuti da je ova kidalica povezana pomoću računala, pa se rezultati ispitivanja dobivaju u digitalnom obliku (brojčano i dijagram) putem software-a TIRAtest.

3.3. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kompletne užadi

S obzirom na to da ranije navedena kidalica proizvođača Alfreda J. Amslera & Co. nije povezana pomoću računala rezultati su zabilježeni samo brojčano pomoću mehaničkog pokazivača maksimalne sile i očitanja pomaka čeljusti na kidalici. Svaki promjer užadi ispitan je na 3 uzorka kako bi se rezultati mogli smatrati relevantnima. Početna pozicija čeljusti kidalice zabilježena je kada je uže u potpunosti izravnato i prednapregnuto kao što je prikazano na slici 3.6.

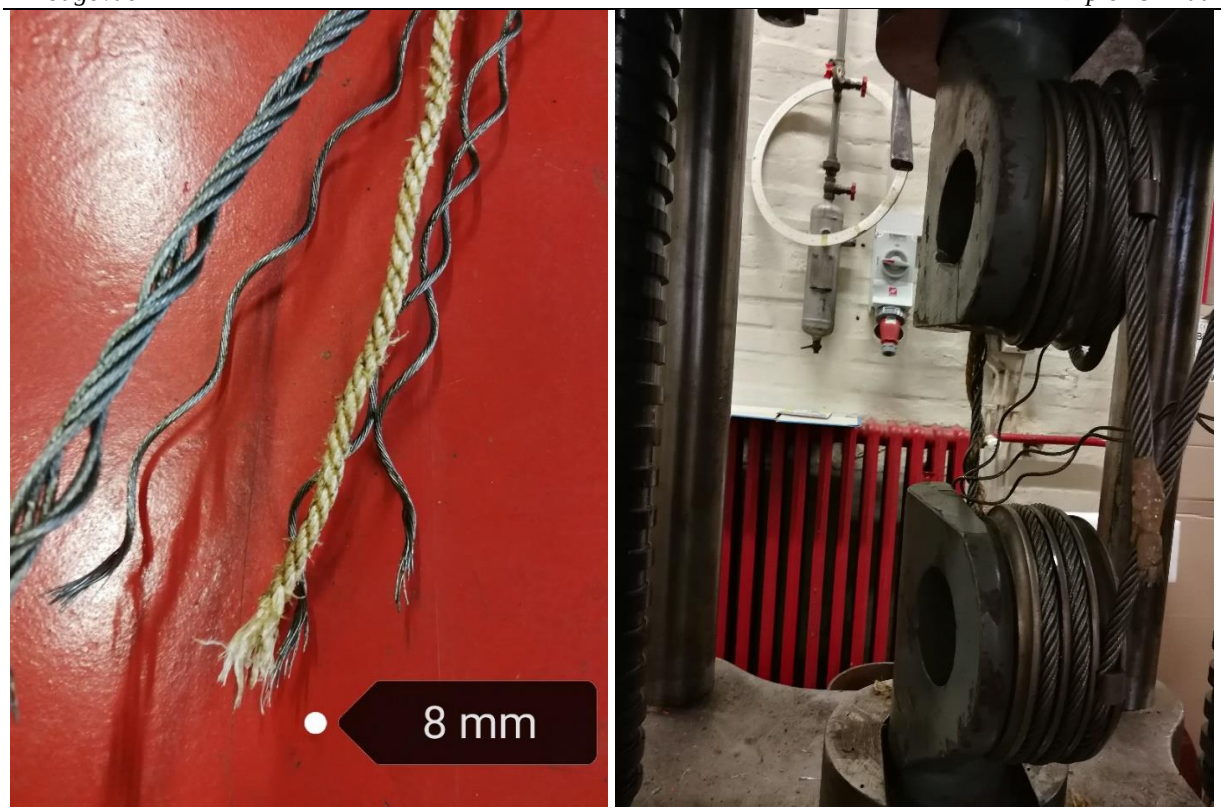


Slika 3.6 Uže u početnoj poziciji ispitivanja i očitanje pomaka čeljusti

a) uže u početnoj poziciji

b) očitanje pomaka čeljusti

Maksimalna sila očitana je u trenutku kada je primijećen početak loma kabela, a tada je ujedno i očitan pomak čeljusti. Primjer užadi promjera 8 milimetara nakon loma prikazan je na slici 3.7.



Slika 3.7 Užad nakon loma

3.3.1. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi proizvođača A

Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi proizvođača A prikazani su u tablici 3.1.

Tablica 3.1 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi (proizvođač A)

Promjer užeta [mm]	Br. uzorka	F_m [kN]	F_{sr} [kN]	ΔL [mm]
8	1	39,50	37,50	100
	2	37,50		120
	3	35,50		75
10	1	48,00	45,83	140
	2	43,00		165
	3	46,50		125
11	1	64,00	63,33	145
	2	62,50		135
	3	63,50		135

13	1	68,0	69,33	155
	2	69,0		150
	3	71,0		170

3.3.2. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi proizvođača B

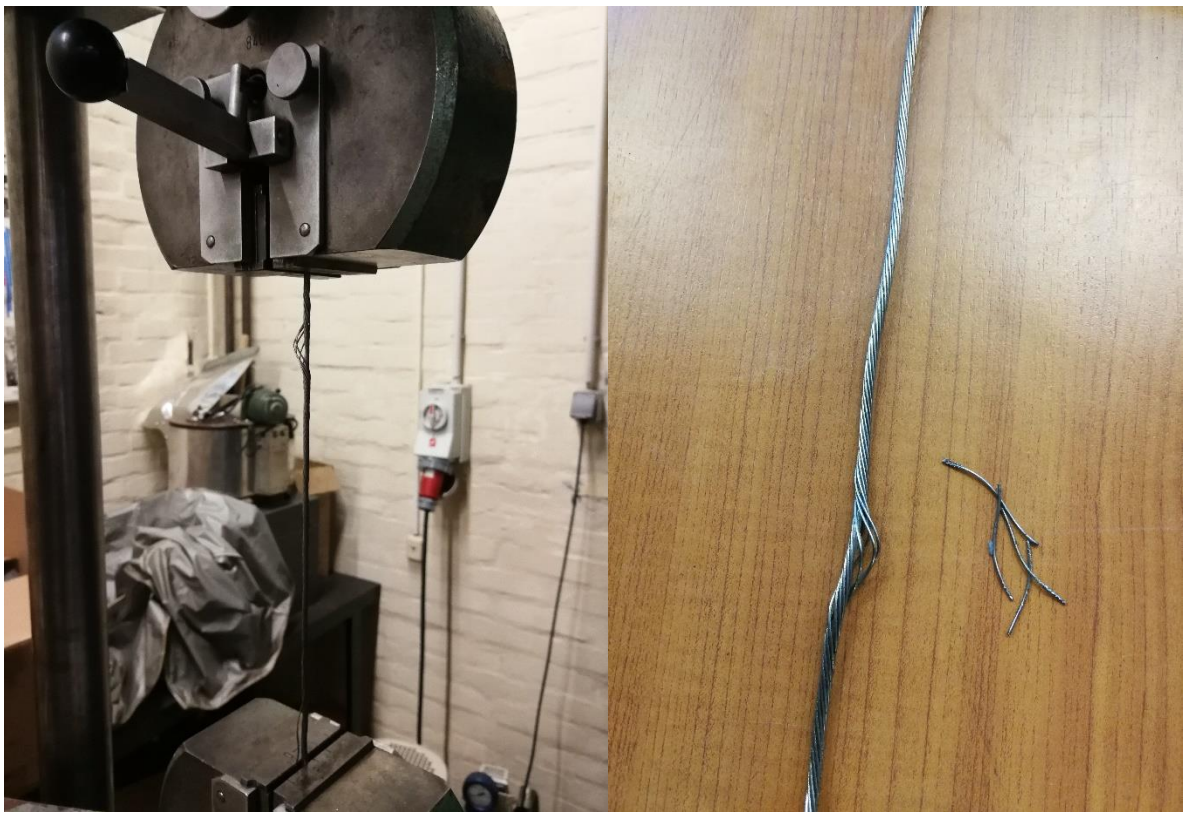
Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi proizvođača B prikazani su u tablici 3.2.

Tablica 3.2 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi (proizvođač B)

Promjer [mm]	Br. uzorka	F_m [kN]	F_{sr} [kN]	ΔL [mm]
8	1	32,0	32,17	155
	2	32,5		150
	3	32,0		160
10	1	47,5	47,00	150
	2	46,0		145
	3	47,5		160
11	1	58,5	58,83	150
	2	59,5		125
	3	58,5		140
13	1	77,5	77,00	100
	2	76,0		150
	3	77,5		175

3.4. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova

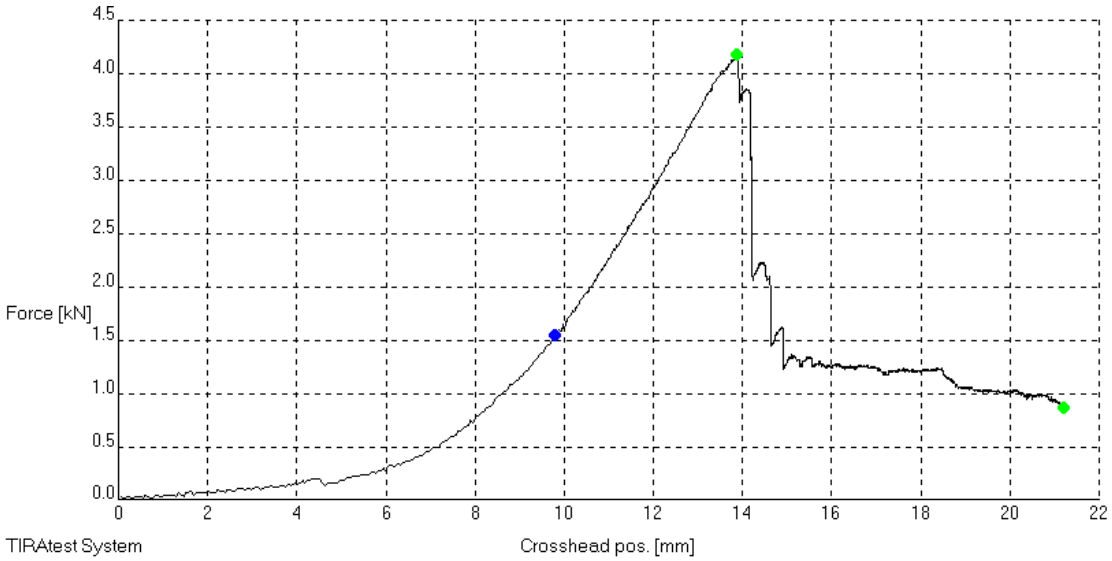
Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova prikazani su pomoću tablica i dijagrama dobivenih korištenjem software-a TIRAtest. Jedan dio lomova kod kablova dogodio se u samom prihvatu što svakako utječe na rezultate ispitivanja. Na slici 3.8 je prikazan kabel nakon loma. S obzirom na to da za ovu kidalicu nije bilo adekvatnih prihvata za ispitivanje kablova korištene su konusne čeljusti kidalice uz dodatno učvršćenje na samoj prihvatnoj napravi. Zbog toga je dolazilo do oštećenja užadi u samim prihvatnim napravama. To u svakom slučaju utječe na rezultate, no istim načinom su napravljeni svi uzorci kako bi se uvidjelo da li postoji razlika između dva proizvođača.



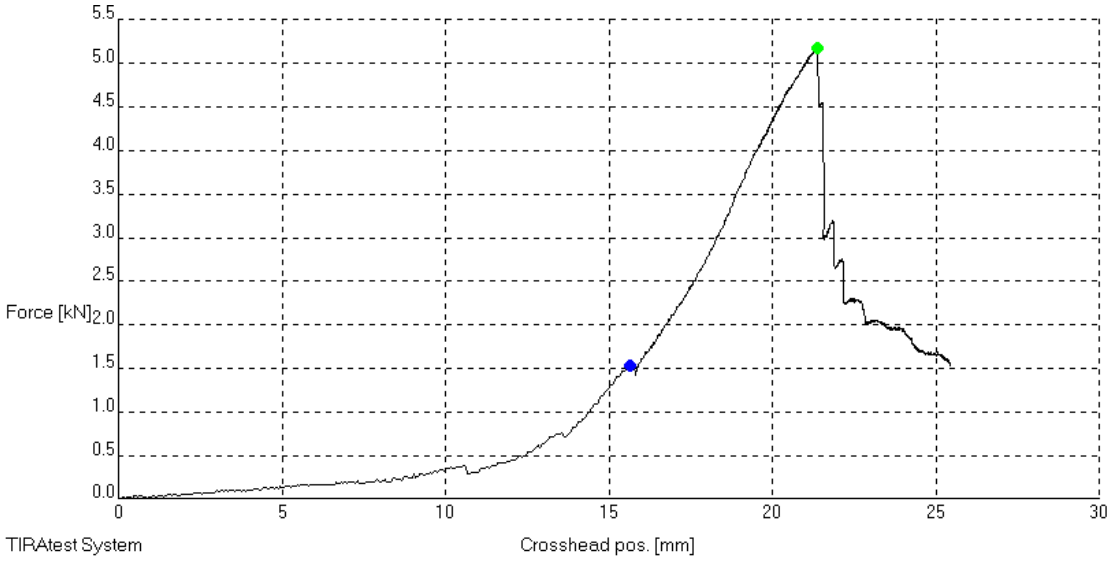
Slika 3.8 Slomljeni kabel

3.4.1. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova iz užadi proizvođača A

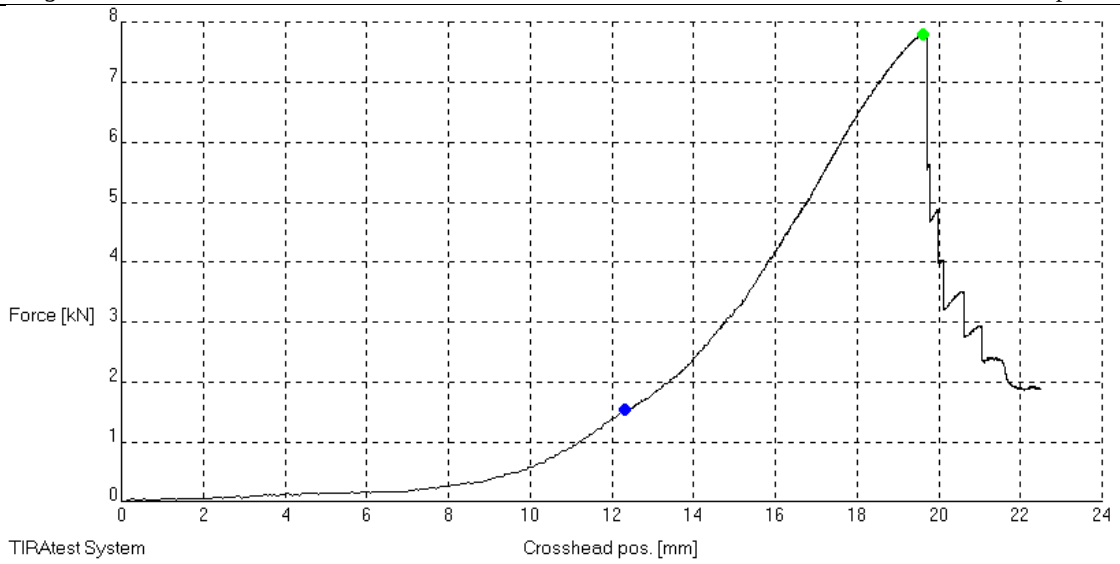
Slike (3.9-3.12) dijagrama dobivenih statičkim vlačnim ispitivanjem kablova iz užadi proizvođača A podijeljene su prema redoslijedu ispitivanja odnosno prema promjerima užadi iz kojih su uzeti. U tablici 3.3 su prikazani rezultati ispitivanja.



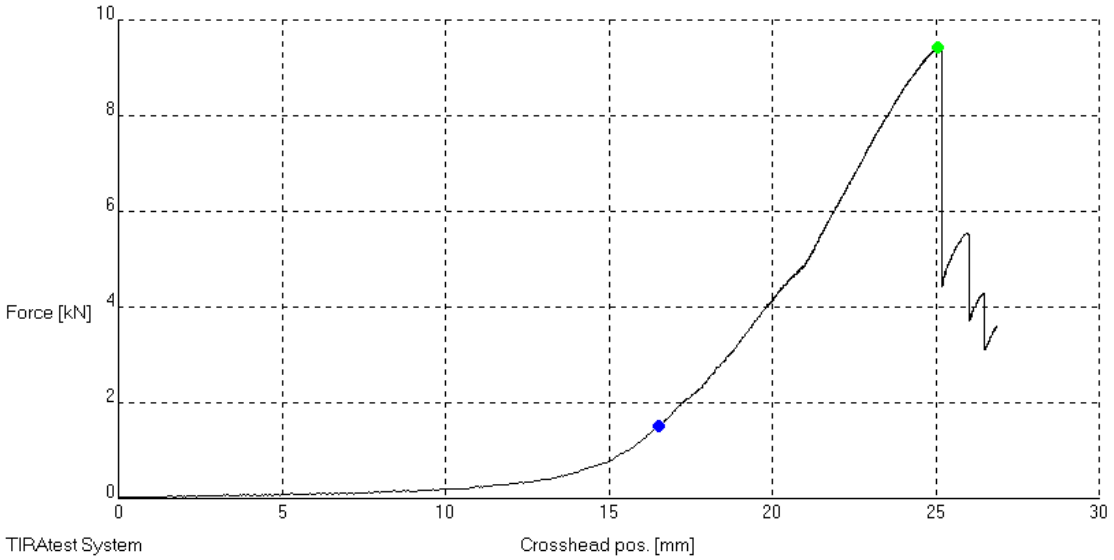
Slika 3.9 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 8 mm (proizvođač A)



Slika 3.10 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 10 mm (proizvođač A)



Slika 3.11 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 11 mm (proizvođač A)



Slika 3.12 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 13 mm (proizvođač A)

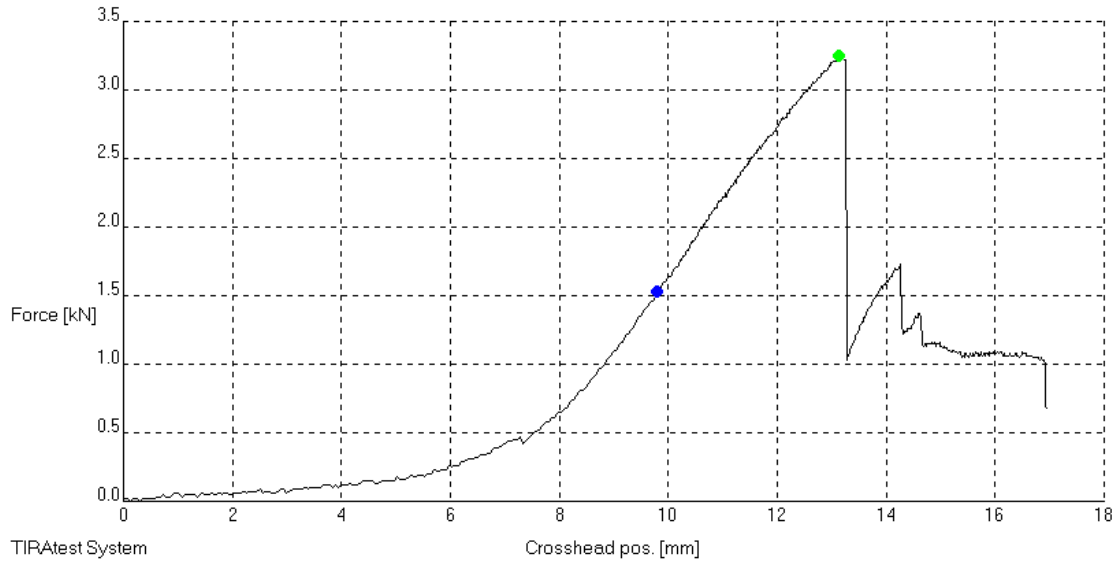
Tablica 3.3 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova iz užadi proizvođača A

Promjer užeta [mm]	Uzorak	Promjer kabela [mm]	F_m [kN]	F_{sr} [kN]
8	1	2,180	4,181	4,225
	2	2,200	4,253	
	3	2,200	4,242	

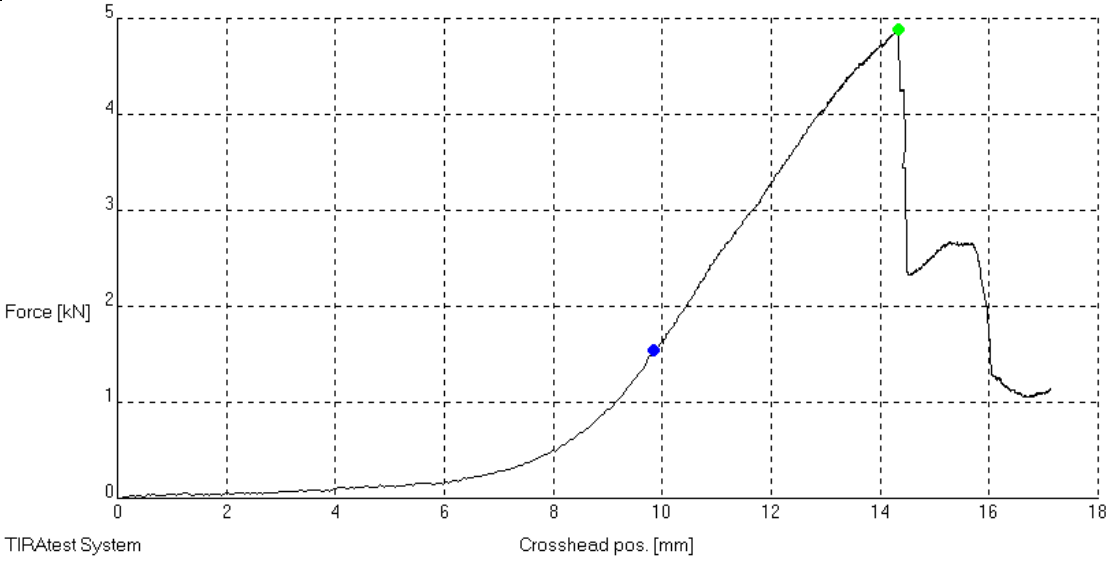
10	1	2,630	5,172	5,357
	2	2,640	5,466	
	3	2,640	5,434	
11	1	2,860	7,806	7,575
	2	2,850	7,098	
	3	2,860	7,822	
13	1	3,550	9,420	9,601
	2	3,560	9,668	
	3	3,560	9,715	

3.4.2. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova iz užadi proizvođača B

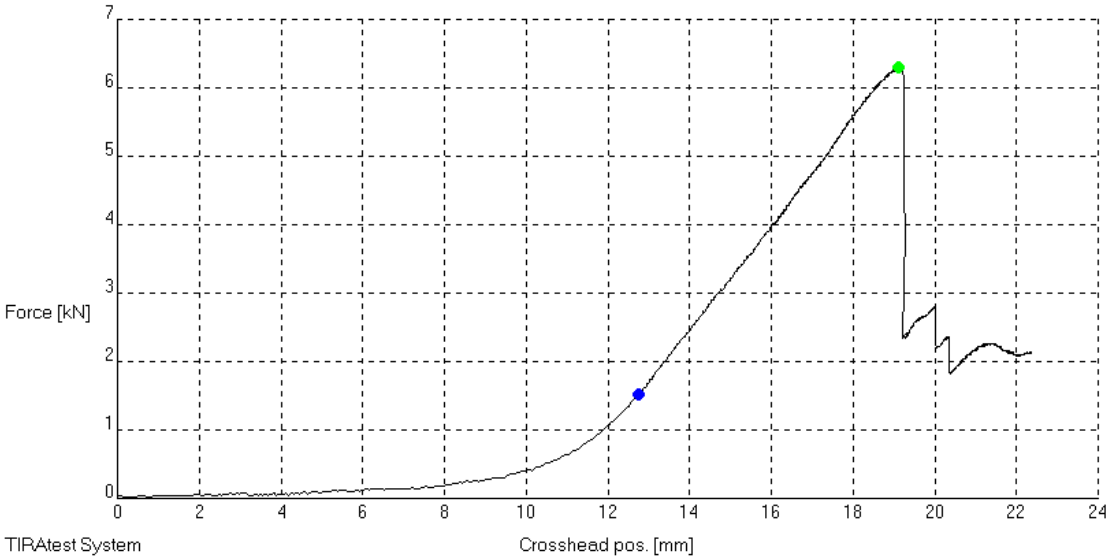
Slike (3.13-3.16) dijagrama dobivenih statičkim vlačnim ispitivanjem kablova iz užadi proizvođača B podijeljene su prema redoslijedu ispitivanja odnosno prema promjerima užadi iz kojih su uzeti. U tablici 3.4 prikazani su rezultati ispitivanja kablova proizvođača B.



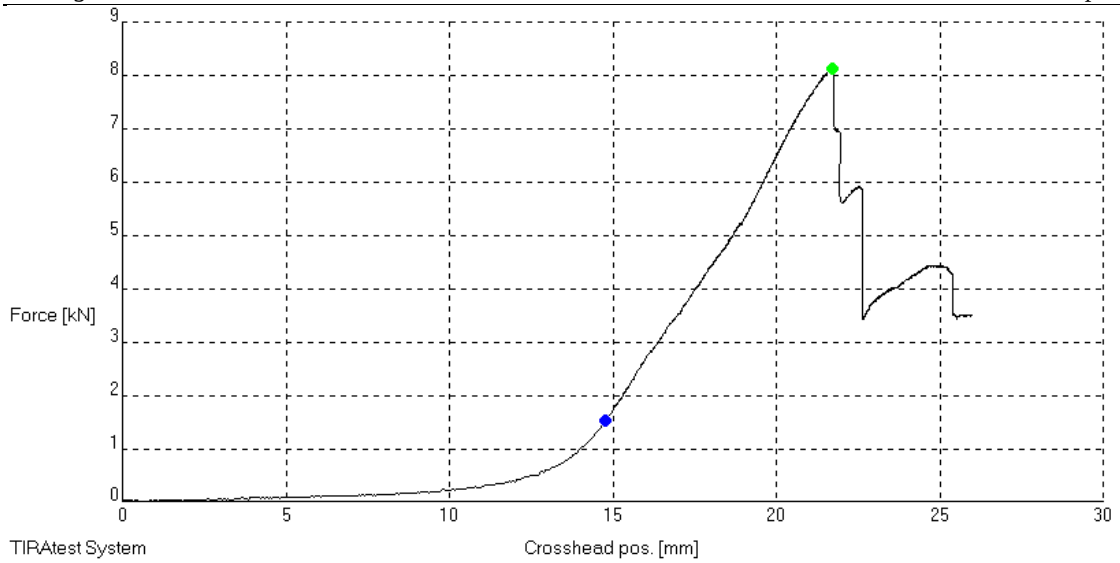
Slika 3.13 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 8 mm (proizvođač B)



Slika 3.14 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 10 mm (proizvođač B)



Slika 3.15 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 11 mm (proizvođač B)



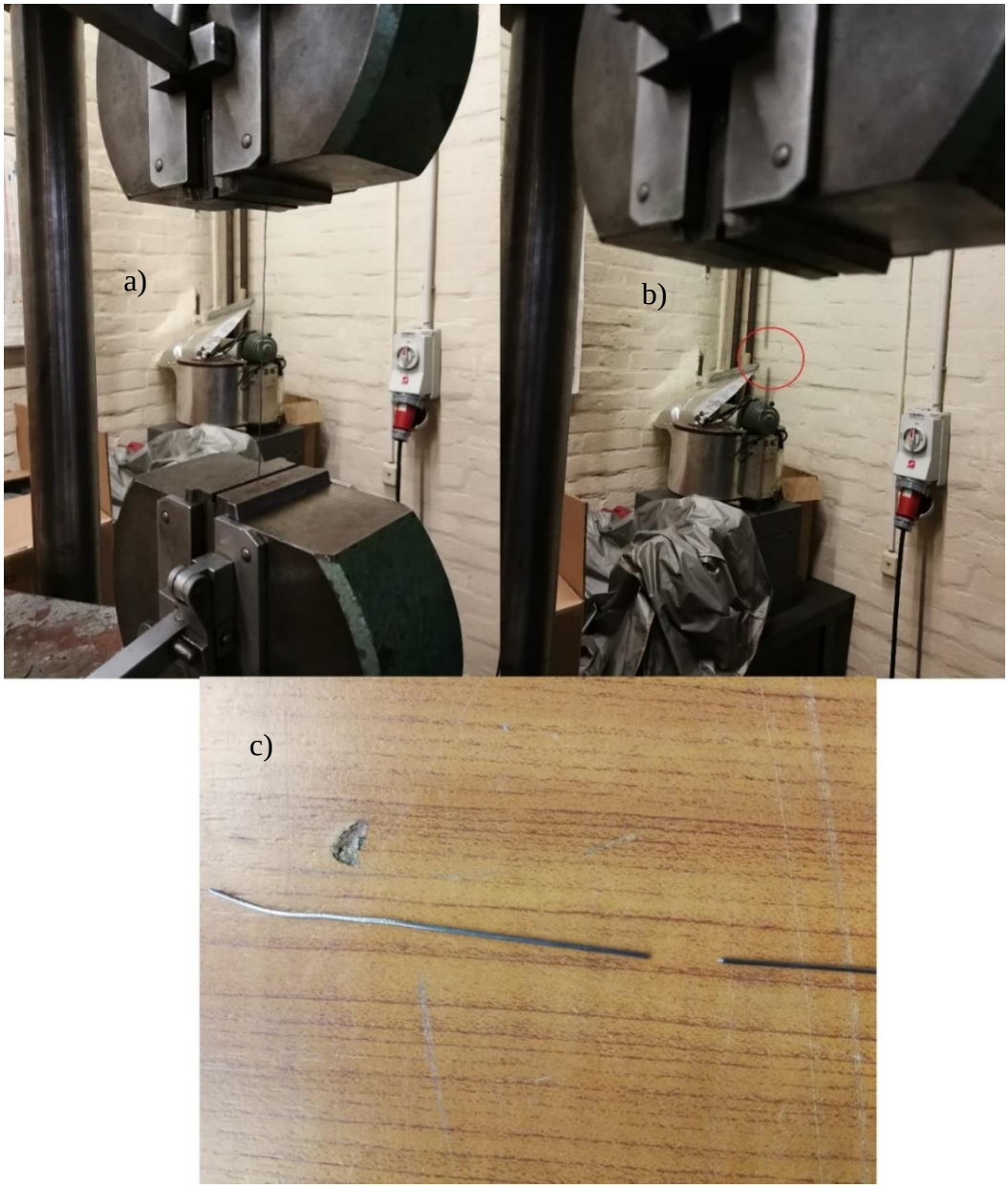
Slika 3.16 Dijagram sila-pomak jednog uzorka kabla iz užadi promjera 13 mm (proizvođač B)

Tablica 3.4 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova iz užadi proizvođača B

Promjer užeta [mm]	Uzorak	Promjer kabela [mm]	F_m [kN]	F_{sr} [kN]
8	1	2,090	3,254	3,268
	2	2,100	3,316	
	3	2,080	3,235	
10	1	2,640	4,891	4,939
	2	2,640	4,837	
	3	2,650	5,088	
11	1	2,850	6,304	6,277
	2	2,850	6,366	
	3	2,830	6,160	
13	1	3,410	8,136	8,100
	2	3,400	7,952	
	3	3,410	8,213	

3.5. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica

Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica prikazani su pomoću tablica i dijagrama dobivenih korištenjem software-a TIRAtest. Iz tri različita kabela izdvojena je po jedna žica kako bi dobili tri uzorka. Prije početka ispitivanja izmjeren je promjer uzorka žice kako bi se izračunala vlačna čvrstoća (R_m). Žice koje su nakon odvajanja od kabela spiralno uvijene nazivamo licne. Proces statičkog vlačnog ispitivanja žice (licne) prikazan je na slici 3.17.



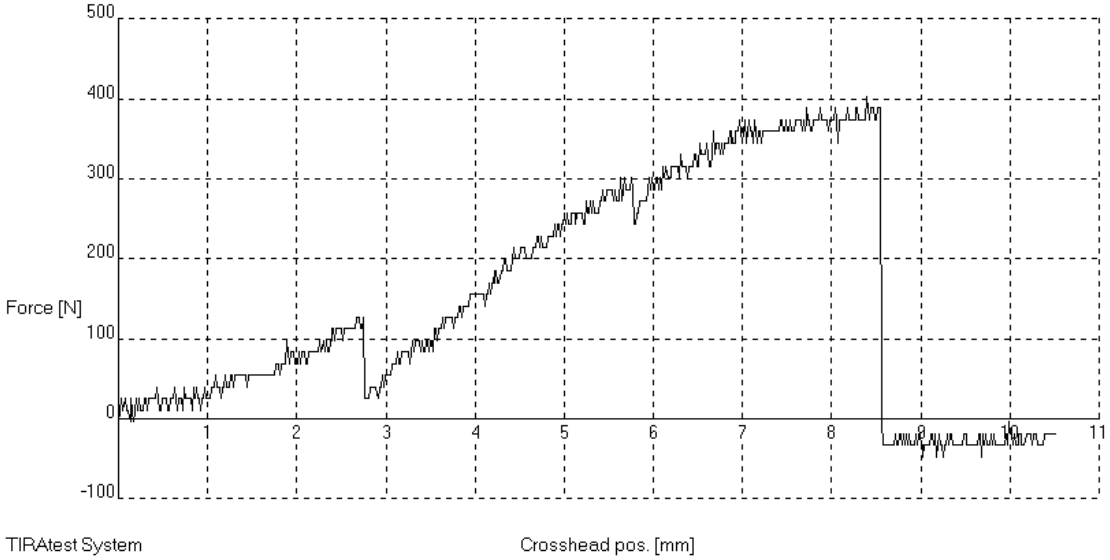
Slika 3.17 Statičko vlačno ispitivanje čelične žice
a) ravnanje spiralno uvinute žice
b) trenutak loma žice
c) žica nakon vađenja iz kidalice

$$S=(d^2\Pi)/4 \quad (4)$$

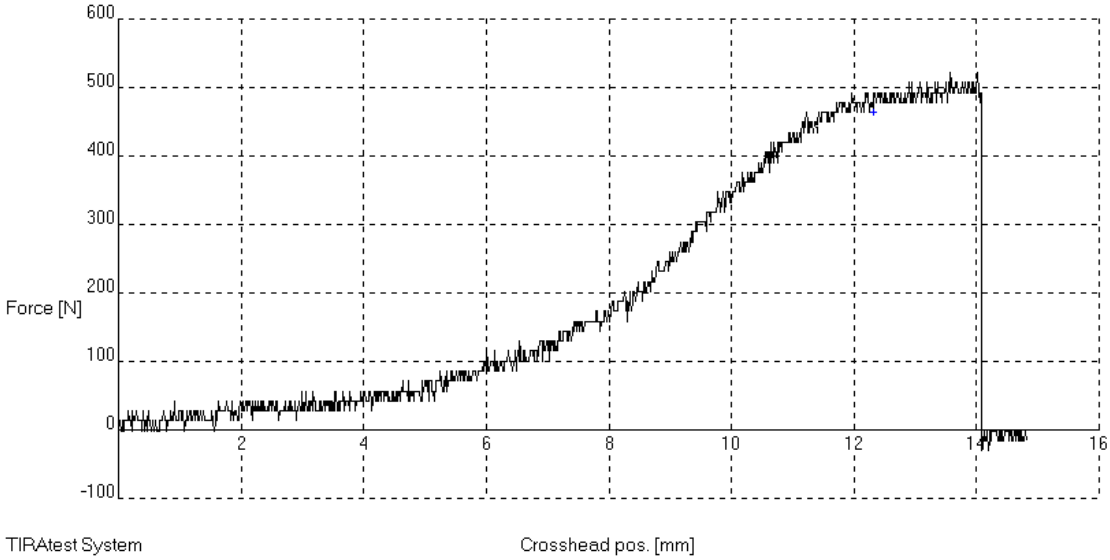
$$R_m=F_m/S \quad (5)$$

3.5.1. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica (licna) iz užadi proizvođača A

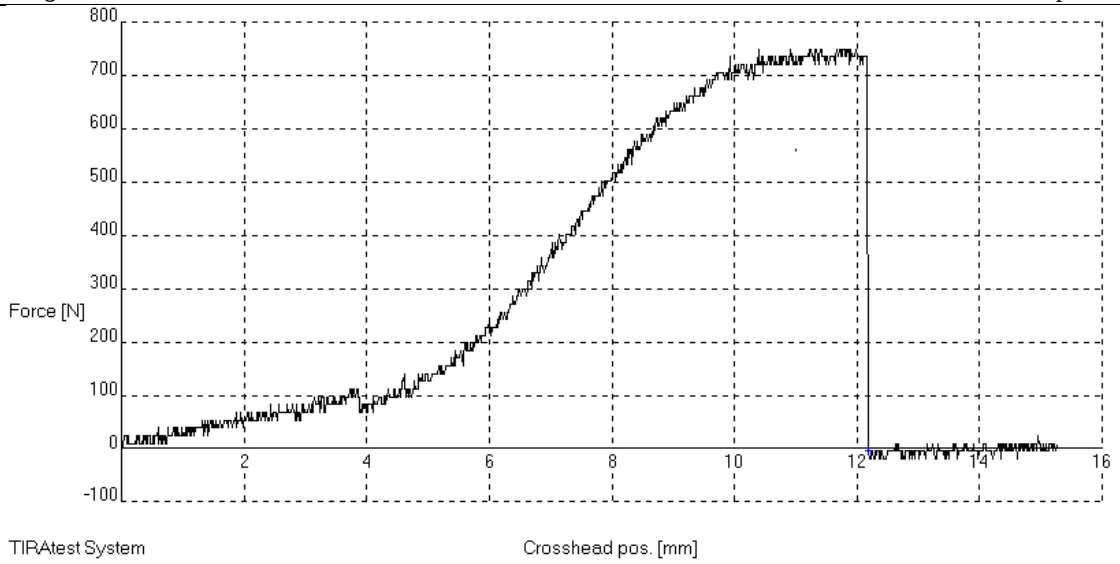
Slike (3.18-3.21) dijagrama dobivenih statičkim vlačnim ispitivanjem prikazani su redom od manjeg prema većem promjeru užadi, a rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 3.5.



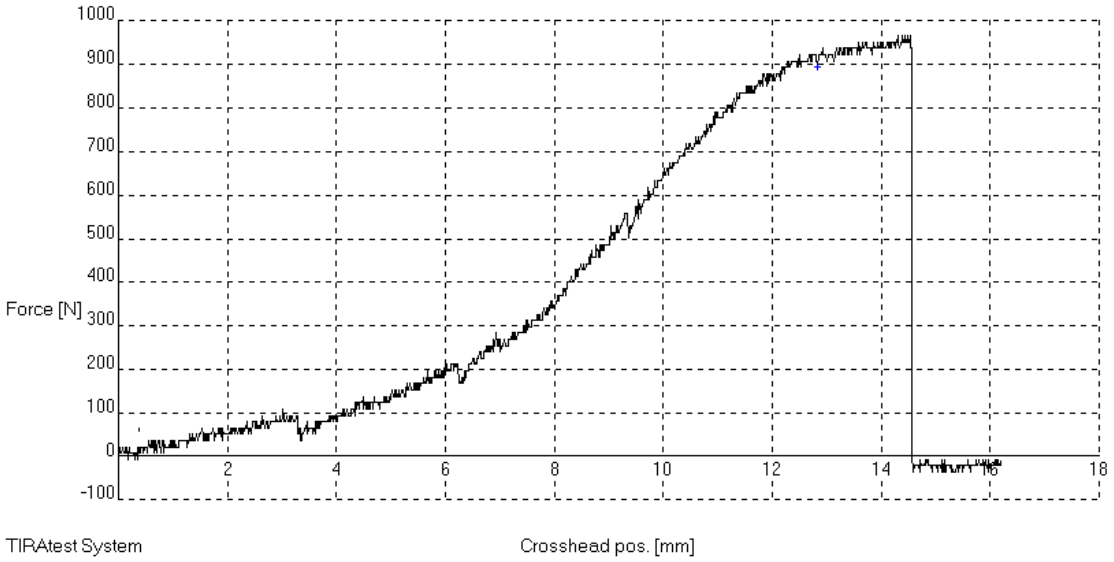
Slika 3.18 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 8 mm (proizvođač A)



Slika 3.19 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 10 mm (proizvođač A)



Slika 3.20 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 11 mm (proizvođač A)



Slika 3.21 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 13 mm (proizvođač A)

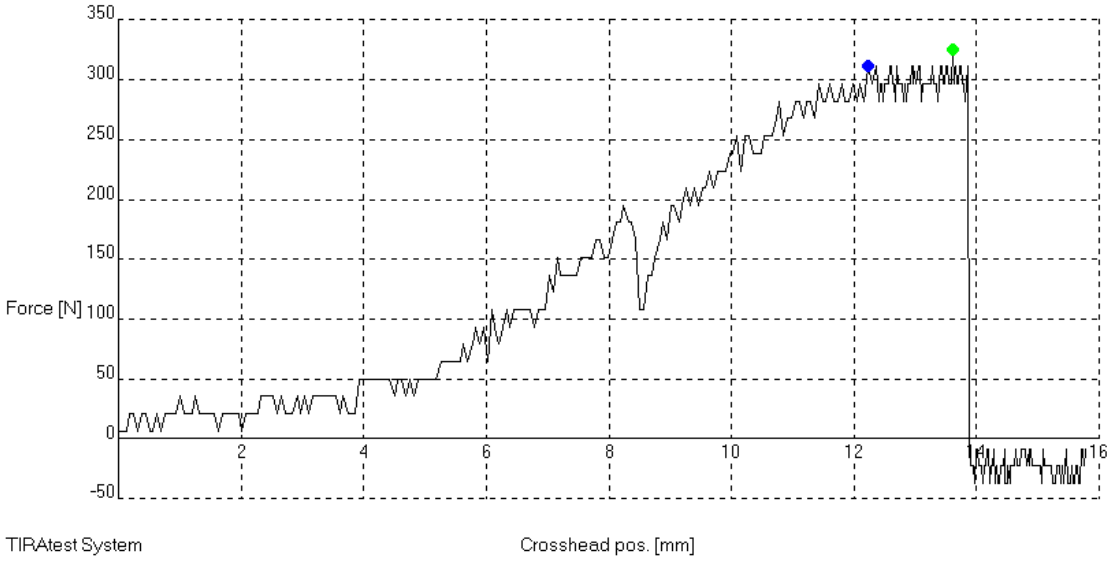
Tablica 3.5 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica iz užadi proizvođača A

Promjer užeta [mm]	Br. uzorka	d [mm]	S [mm^2]	F_m [N]	F_{sr} [N]	R_m [N/mm^2]	ΔR_m [N/mm^2]
8	1	0,550	0,238	393,600	389,333	1658,781	1637,521
	2	0,550	0,238	388,000		1630,252	
	3	0,550	0,238	386,400		1623,529	

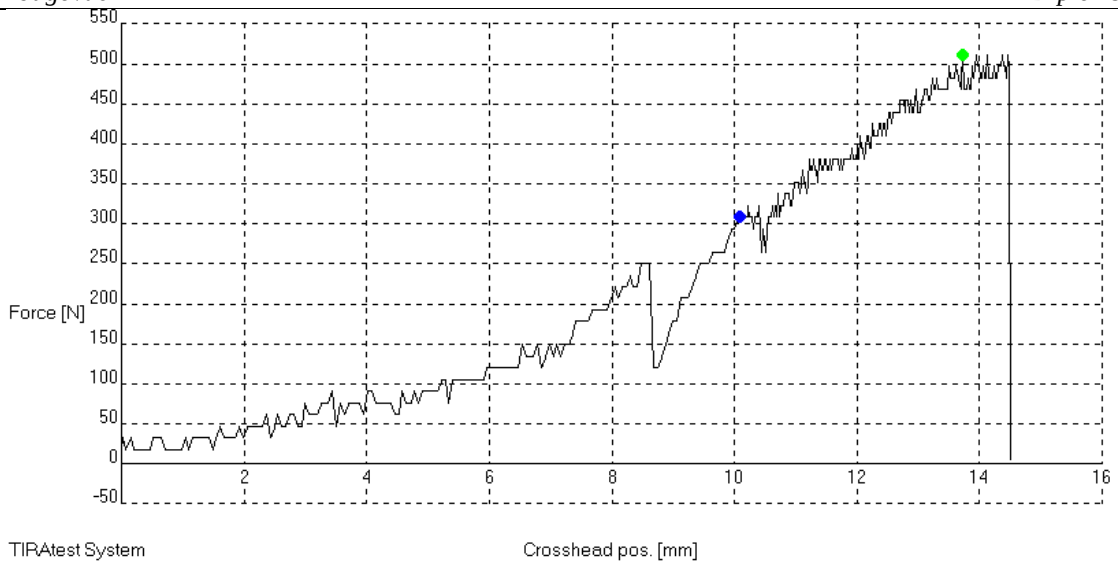
10	1	0,640	0,322	507,200	514,400	1575,155	1568,355
	2	0,650	0,331	517,200		1562,538	
	3	0,650	0,331	518,800		1567,372	
11	1	0,700	0,385	735,200	722,133	1909,610	1931,065
	2	0,690	0,374	729,600		1950,802	
	3	0,680	0,363	701,600		1932,782	
13	1	0,850	0,567	964,800	960,933	1701,587	1707,417
	2	0,840	0,567	983,600		1734,744	
	3	0,840	0,554	934,400		1685,921	

3.5.2. Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica (licna) iz užadi proizvođača B

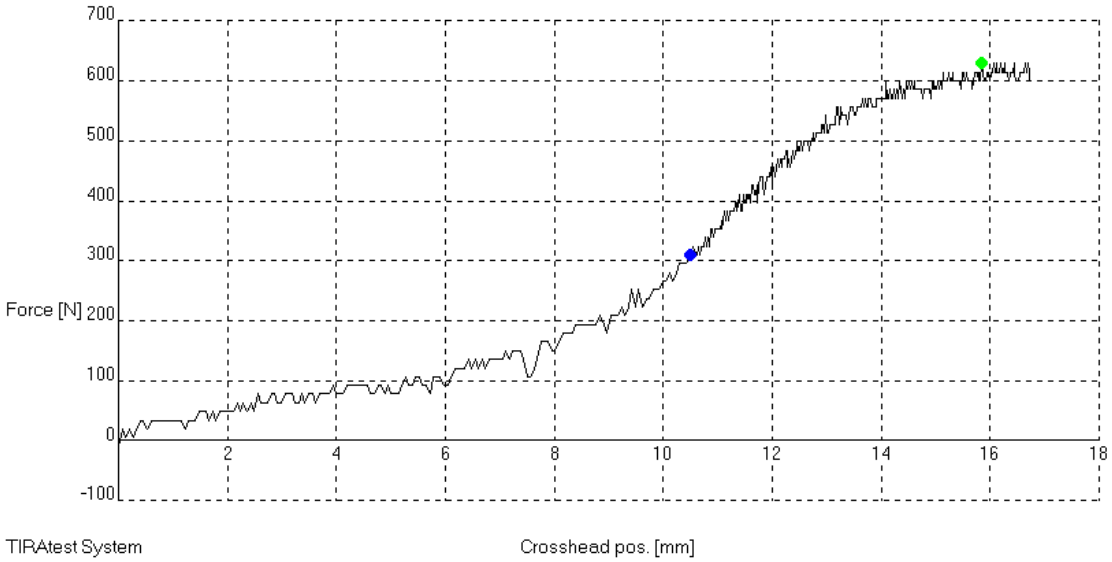
Slike (3.22-3.25) dijagrama dobivenih statičkim vlačnim ispitivanjem prikazani su redom od manjeg prema većem promjeru užadi,a u tablici 3.6 prikazani su rezultati ispitivanja.



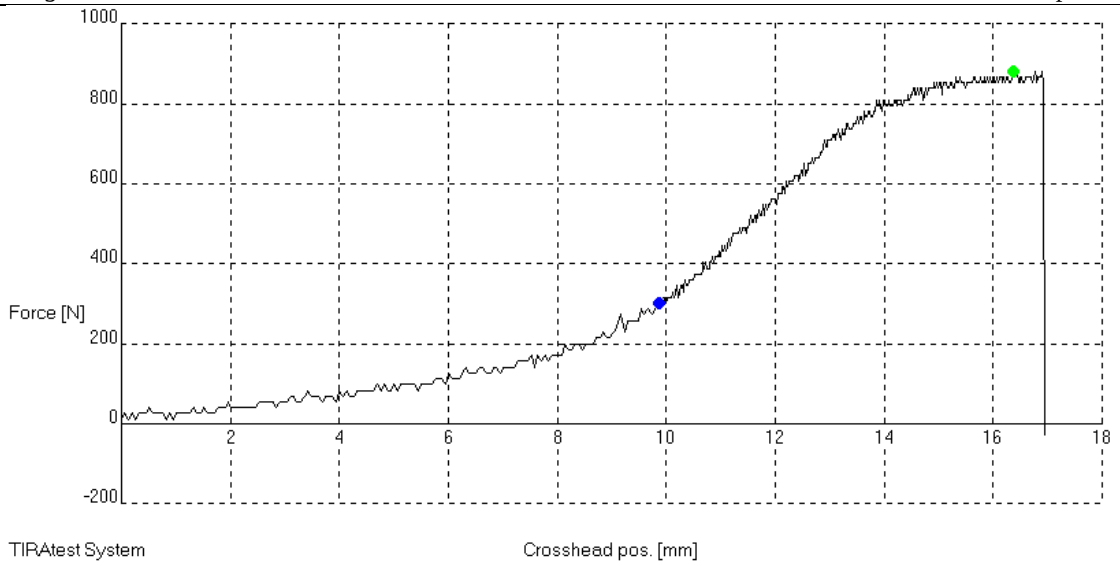
Slika 3.22 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 8 mm (proizvođač B)



Slika 3.23 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 10 mm (proizvođač B)



Slika 3.24 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 11 mm (proizvođač B)



Slika 3.25 Dijagram sila-pomak jednog uzorka žice iz užadi promjera 13 mm (proizvođač B)

Tablica 3.6 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica iz užadi proizvođača B

Promjer užeta [mm]	Br. uzorka	d [mm]	S [mm^2]	F_m [N]	F_{sr} [N]	R_m [N/mm^2]	ΔR_m [N/mm^2]
8	1	0,480	0,181	334,000	329,933	1845,304	1797,049
	2	0,490	0,189	330,800		1750,264	
	3	0480	0,181	325,000		1795,580	
10	1	0,630	0,312	482,500	510,167	1546,474	1585,994
	2	0,640	0,322	537,000		1667,702	
	3	0,650	0,331	511,000		1543,807	
11	1	0,690	0,374	659,000	641,067	1762,032	1714,538
	2	0,700	0,385	635,400		1649,351	
	3	0,680	0,363	628,800		1732,231	
13	1	0,810	0,515	881,000	864,467	1710,679	1704,753
	2	0,800	0,503	878,000		1745,527	
	3	0,800	0,503	834,400		1658,052	

4. ANALIZA REZULTATA

Rezultati dobiveni ispitivanjem analizirani su istim redoslijedom kao što su provedena ispitivanja. Dakle, prvo su analizirani rezultati uzoraka cijele užadi, zatim rezultati ispitivanja kablova i na kraju rezultati ispitivanja žica (licna). Sva ispitivanja provedena su na sobnoj temperaturi u istoj prostoriji, pa se može zanemariti utjecaj temperature kod usporedbe rezultata između uzoraka.

4.1. Analiza rezultata užadi

Jezgre od vlakana iz užeta nisu ispitana zbog neadekvatne opreme za njihova ispitivanja i vizualne razlike u stanju vlakana proizvođača A i B. Naime, kod užadi proizvođača A mazivo s kojim je premazana užad prodrlo je duboko u samu jezgru vlakana, dok se kod užadi proizvođača B mazivo može uočiti samo na površinskom dijelu vlakana. Odvojena vlakna proizvođača A i B prikazana su na slici 4.1.



Slika 4.1 Vlakna iz užadi

a) proizvođač B

b) proizvođač A

Također, vizualno se može primijetiti i razlika u suhoći vlakana prilikom pucanja užadi. Kod pucanja užadi proizvođača B vlakna su se razletjela u stotine sitnih vlakanaca dok su kod

pucanja užadi proizvođača A vlakna ostala u snopovima prilijepljenim mazivom. Vizualna usporedba slomljene užadi dva navedena proizvođača prikazana je na slici 4.2.



Slika 4.2 Slomljeno uže

a) proizvođač A

b) proizvođač B

Prije same analize rezultata užadi važno je naglasiti da ima puno utjecajnih faktora koji mogu utjecati na rezultate. Već u početku može se pretpostaviti da stanje maziva spada u jedan od utjecajnih faktora. Stanje maziva osim kod vlakana utjecalo je i na vanjsku površinu užadi. Skrutnuto mazivo na površini užadi proizvođača A doprinijelo je manjem proklizavanju u napravama. Naprave također mogu utjecati na rezultate ako uzmemo u obzir da su za sva ispitivanja korištene iste naprave, a utori na napravi su namijenjeni za specifični promjer užadi. Dužina ispitivanog dijela užadi je procijenjena na 200 milimetara, no to nije precizna izmjera zbog visoke istezljivosti užadi koja se mora prednapregnuti prije očitanja početne pozicije čeljusti kidalice. Uz produljenje užeta u prednapregnutom stanju mora se uzeti u obzir i problematika stezanja užeta na naprave. Prilikom namatanja užeta na naprave promjera 160 milimetara uže pruža otpor prema savijanju (veći otpor s porastom promjera užeta) što otežava precizno definiranje početne duljine između naprava. Zbog sigurnosti, u trenutku pucanja užeta potrebno je biti udaljen od kidalice, pa je pomak na kidalici očitan nekoliko sekundi nakon

pucanja. Ako uzmemo u obzir sve navedene faktore koji utječu na izmjereni pomak čeljusti kidalice, rezultati pomaka ne mogu se smatrati relevantnim za usporedbu između proizvođača. Prema normi EN 12385-5:2015 ispitivani uzorci užadi imaju početnu duljinu od jednog metra što nije bilo moguće realizirati na ovoj opremi. Kidalica na kojoj su ispitivani uzorci nema dovoljan hod da bi uzorci mogli biti dužine 1 metar, pa ova ispitivanja nisu sukladna prema normi. Primjer modernije kidalice na kojima se ispituje užad prema normi prikazana je na slici 4.3. Pregled analiziranih rezultata statičkog vlačnog ispitivanja užadi prikazan je u tablici 4.1.



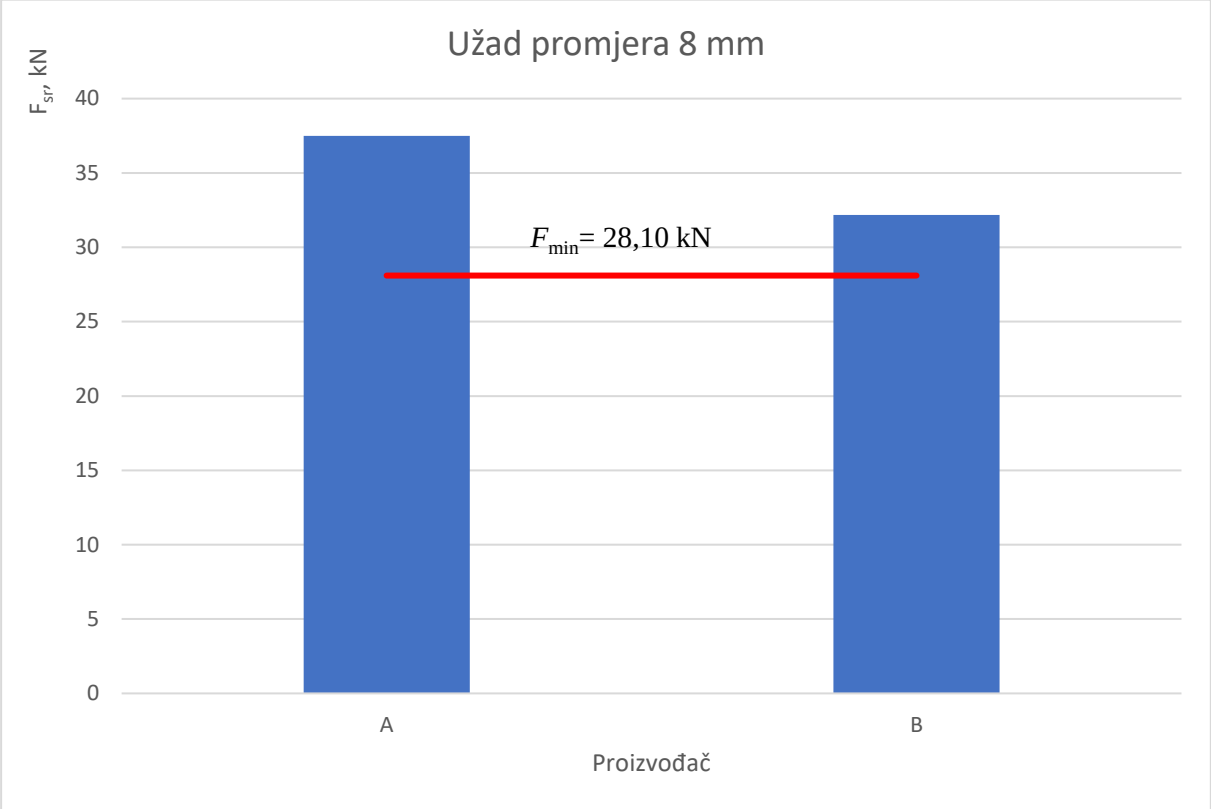
Slika 4.3 Moderna Zwick-ova kidalica za ispitivanje užadi [11]

Tablica 4.1 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi proizvođača A i B

Proizvođač	Promjer užeta [mm]	Br. uzorka	F_m [kN]	F_{sr} [kN]
A	8	1	39,50	37,50
		2	37,50	
		3	35,50	
	10	1	48,00	45,83
		2	43,00	
		3	46,50	

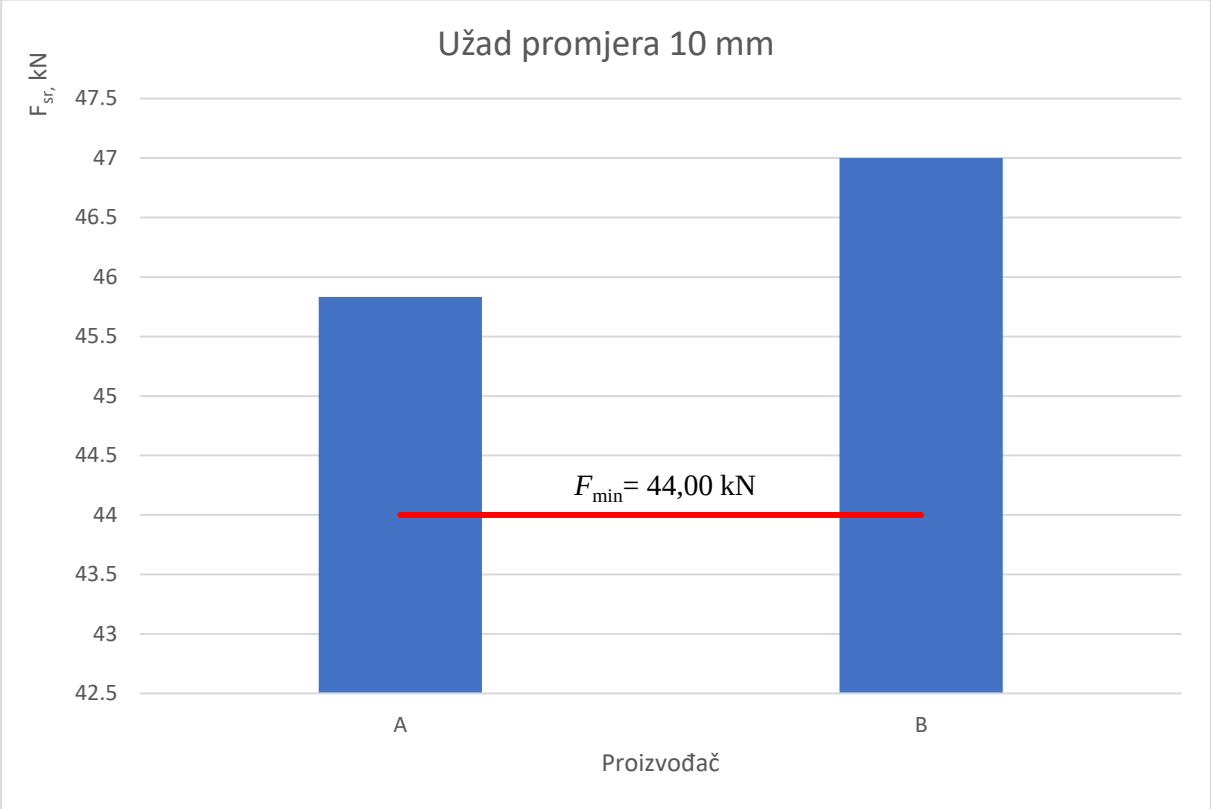
	11	1	64,00	63,33
		2	62,50	
		3	63,50	
	13	1	68,0	69,33
		2	69,0	
		3	71,0	
B	8	1	32,0	32,17
		2	32,5	
		3	32,0	
	10	1	47,5	47,00
		2	46,0	
		3	47,5	
	11	1	58,5	58,83
		2	59,5	
		3	58,5	
	13	1	77,5	77,00
		2	76,0	
		3	77,5	

Usporedbom rezultata užadi promjera 8 milimetara može se primijetiti da su vrijednosti maksimalne sile veće kod užadi proizvođača A. Rezultati sila proizvođača B imaju manja odstupanja. Vrijednosti izmjerenih maksimalnih sila oba proizvođača zadovoljavaju normiranu minimalnu silu koju treba izdržati ova vrsta užeta promjera 8 milimetara, a ona iznosi 28,10 kN prema EN 12385-5:2015. Usporedba srednjih vrijednosti maksimalnih sila za 3 uzorka prikazana je na slici 4.4.



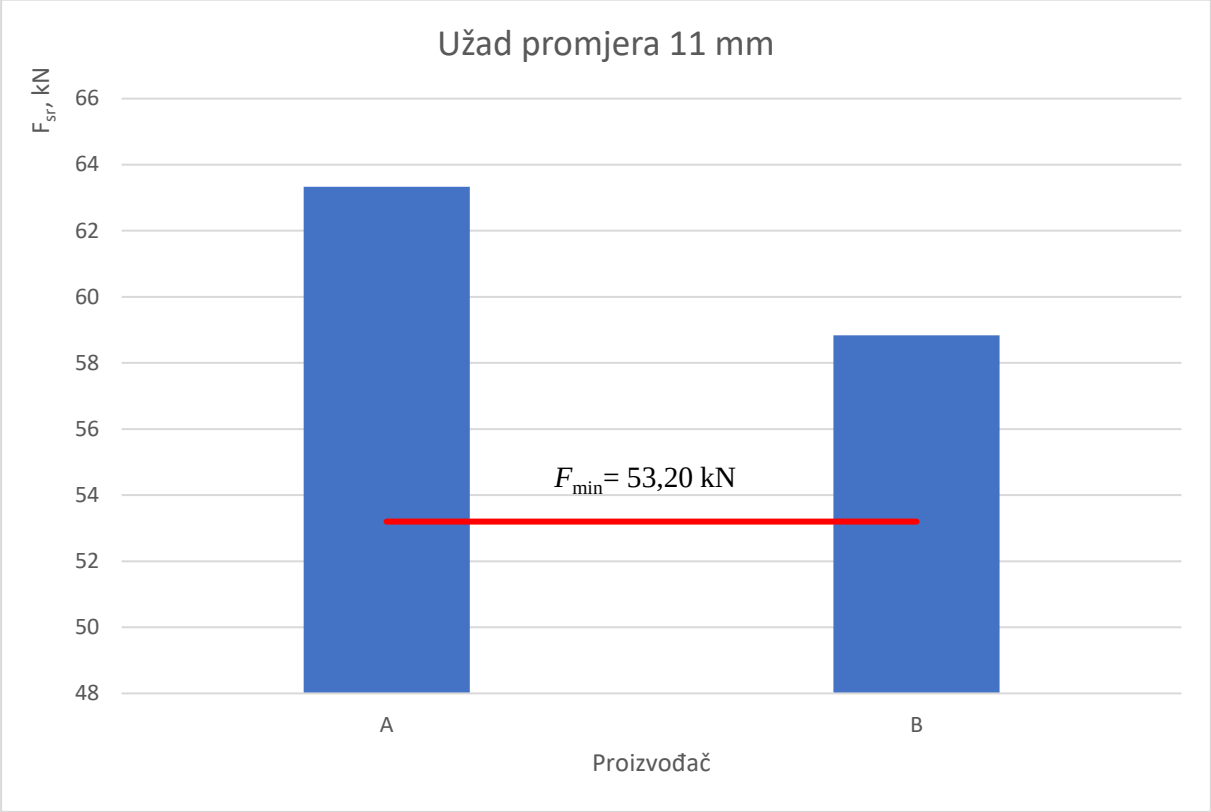
Slika 4.4 Usporedni dijagram užadi promjera 8 mm

Kod užadi promjera 10 milimetara izmjerene maksimalne sile proizvođača B imaju ponovno manja odstupanja, a vrijednosti sila su približno jednake kao i kod proizvođača A. Za ovaj tip užadi promjera 10 milimetara minimalna sila koju uže treba izdržati je 44,00 kN. Iz tablice rezultata može se primijetiti da jedan uzorak proizvođača A odstupa ispod minimalne vrijednosti. No kod ispitivanja se promatra srednja vrijednost od minimalno 3 uzorka, pa oba proizvođača zadovoljavaju normu i kod ovog promjera užadi. Na slici 4.5 je prikazan usporedni dijagram srednjih vrijednosti maksimalnih sila za užad od 10 milimetara.



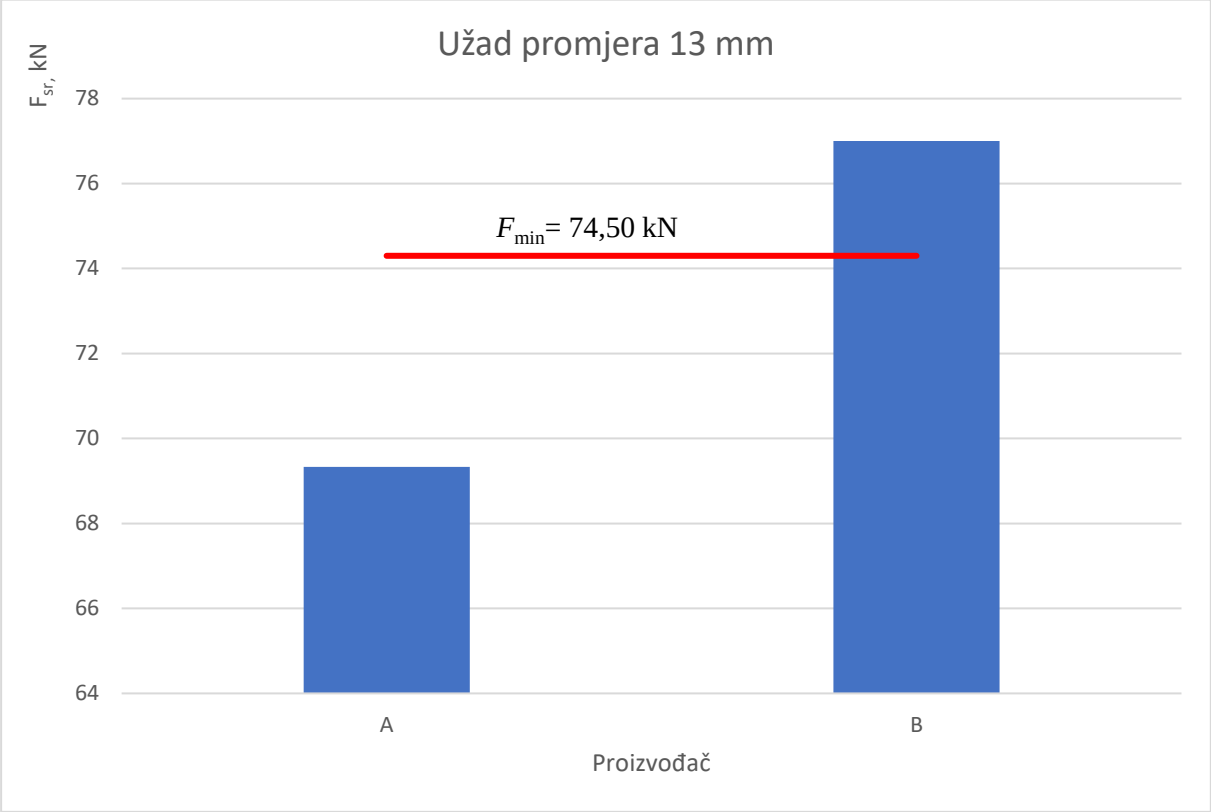
Slika 4.5 Usporedni dijagram užadi promjera 10 mm

Rezultati ispitivanja užadi promjera 11 milimetara imaju dobru ponovljivost kod oba proizvođača s malo višim vrijednostima kod proizvođača A. Za užad ovog tipa i promjera 11 milimetara minimalna sila loma prema normi je 53,20 kN, a taj kriterij su ponovno zadovoljila oba proizvođača. Na slici 4.6 je prikazan dijagram srednjih vrijednosti maksimalnih sila za oba proizvođača.



Slika 4.6 Usporedni dijagram užadi promjera 11 mm

Rezultati ispitivanja užadi promjera 13 milimetara od proizvođača A odstupaju od 5 do 9,5 kN u odnosu na rezultate sila proizvođača B. Možda se ova razlika ne čini velika za tako visoke sile, ali ona je dovoljna da svi rezultati proizvođača A budu ispod minimalne sile loma definirane prema normi za ovaj tip užeta promjera 13 milimetara. Minimalna sila definirana prema normi EN 12385-5:2015 je 74,50 kN, a taj kriterij je zadovoljio samo proizvođač B. Posebno treba istaknuti da niti jedan od 3 uzorka proizvođača A nije zadovoljio normu. Na slici 4.7 je prikazan dijagram sa srednjim vrijednostima maksimalnih sila oba proizvođača.



Slika 4.7 Usporedni dijagram užadi promjera 13 mm

4.2. Analiza rezultata kablova

Na rezultate ispitivanja kablova najveći je utjecaj prihvata (stega) koje tlače kabel. To je rezultiralo pucanjem kabla u samom prihvatu kod većine uzoraka. Također, kablovi u prihvatima su postavljeni spiralno uvijeni (prvobitno stanje nakon odvajanja iz užeta). Promatrajući jedan primjer dijagrama za uzorak kabla mogu se uočiti skokoviti pomaci. Ti pomaci se pojavljuju uslijed proklizavanja, a početni dio dijagrama u kojem je relativno spor rast sile može se objasniti kao proces ravnanja spiralno uvijenog kabla. Navedeni faktori onemogućavaju precizno mjerenje produljenja kabla i prema tome se produljenje neće analizirati. Važno je naglasiti da je ova kidalica ima maksimalnu silu od 400 kN što znači da je namijenjena za znatno veće sile od izmjerenih sila kod kablova. To je još jedan od utjecajnih faktora koje treba uzeti u obzir pri analizi rezultata.

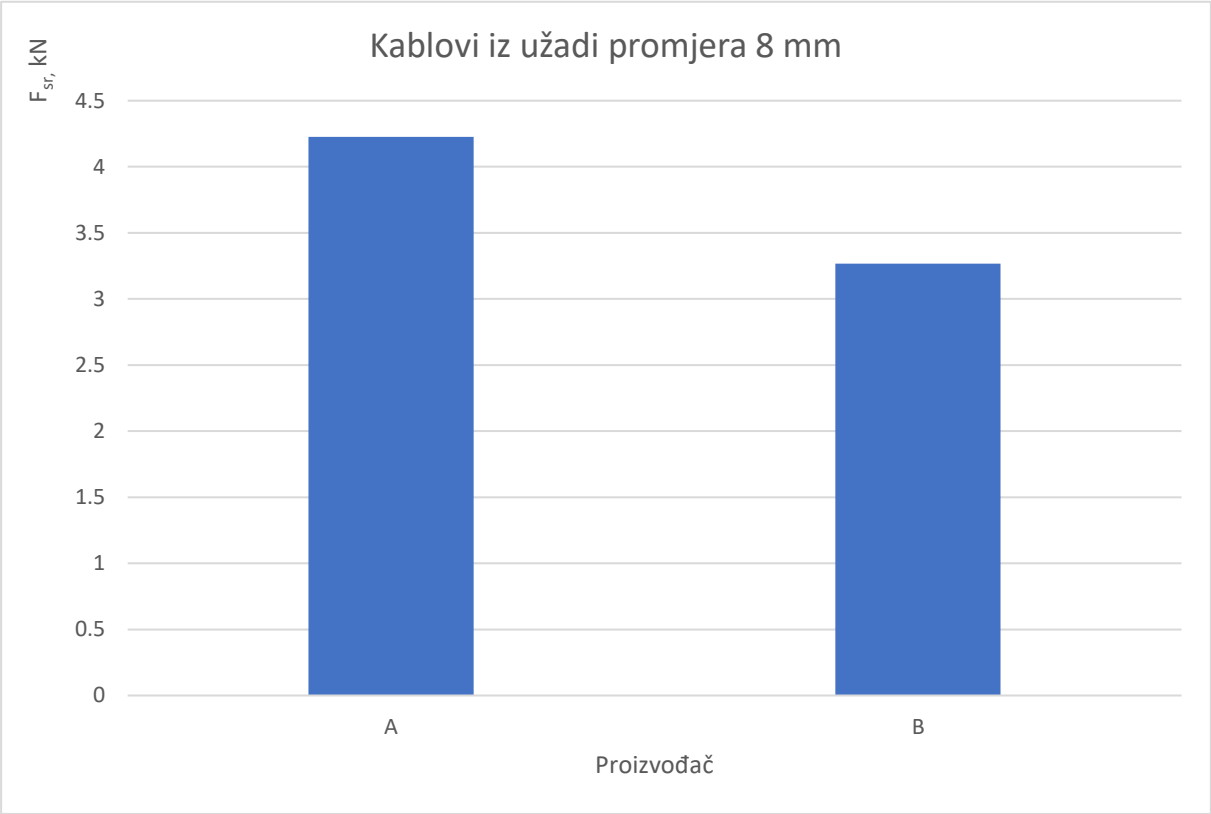
Mjerenjem promjera kablova može se zaključiti da oba proizvođača imaju neznatna odstupanja između uzoraka. Prema tome možemo zanemariti utjecaj promjera kabla na rezultate između uzoraka istog proizvođača. Analizirani rezultati za oba proizvođača prikazani su u tablici 4.2.

Tablica 4.2 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja kablova proizvođača A i B

Proizvođač	Promjer užeta [mm]	Uzorak	Promjer kabela [mm]	F_m [kN]	F_{sr} [kN]
A	8	1	2,180	4,181	4,225
		2	2,200	4,253	
		3	2,200	4,242	
	10	1	2,630	5,172	5,357
		2	2,640	5,466	
		3	2,640	5,434	
	11	1	2,860	7,806	7,575
		2	2,850	7,098	
		3	2,860	7,822	
	13	1	3,550	9,420	9,601
		2	3,560	9,668	
		3	3,560	9,715	

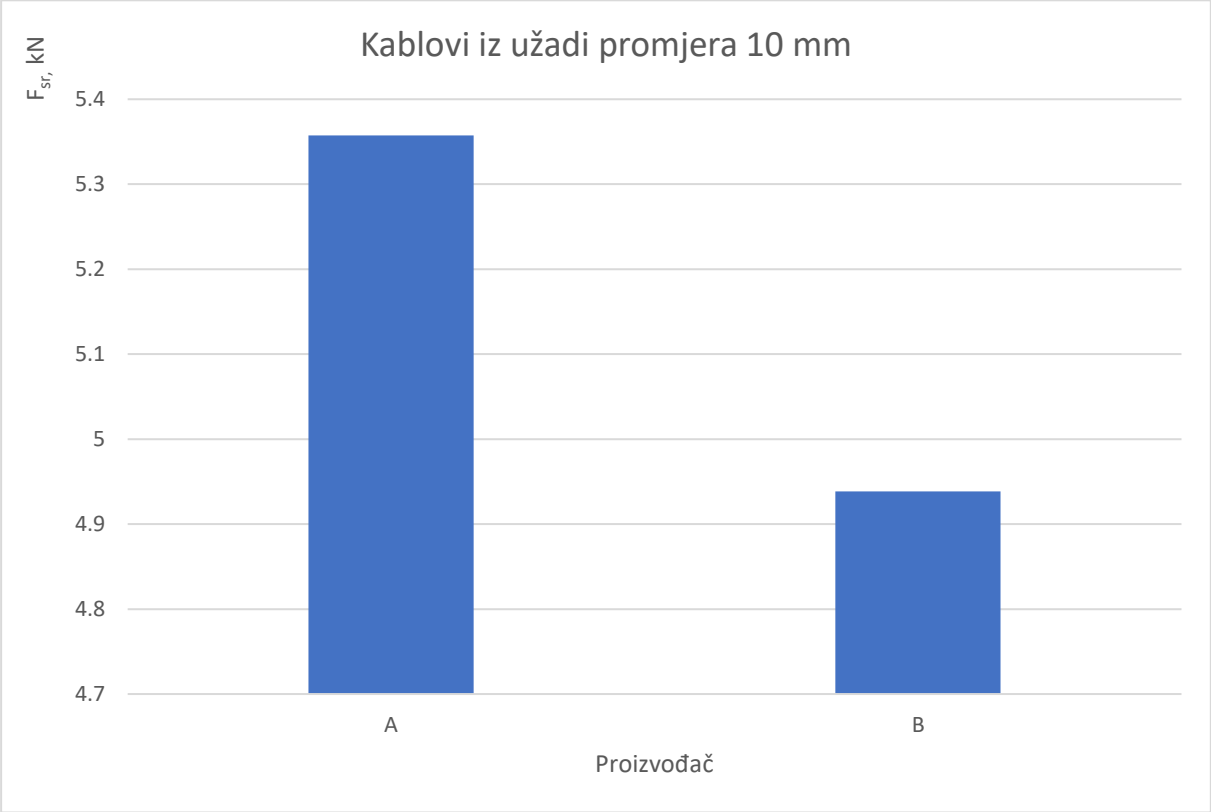
B	8	1	2,090	3,254	3,268
		2	2,100	3,316	
		3	2,080	3,235	
	10	1	2,640	4,891	4,939
		2	2,640	4,837	
		3	2,650	5,088	
	11	1	2,850	6,304	6,277
		2	2,850	6,366	
		3	2,830	6,160	
	13	1	3,410	8,136	8,100
		2	3,400	7,952	
		3	3,410	8,213	

Promatrajući rezultate kablova iz užadi promjera 8 milimetara može se zaključiti da su maksimalne sile veće kod proizvođača A, a to se može pripisati većem promjeru kabela. Usporedba srednjih vrijednosti rezultata maksimalnih sila za kablove iz užadi od 8 milimetara prikazana je na slici 4.8.



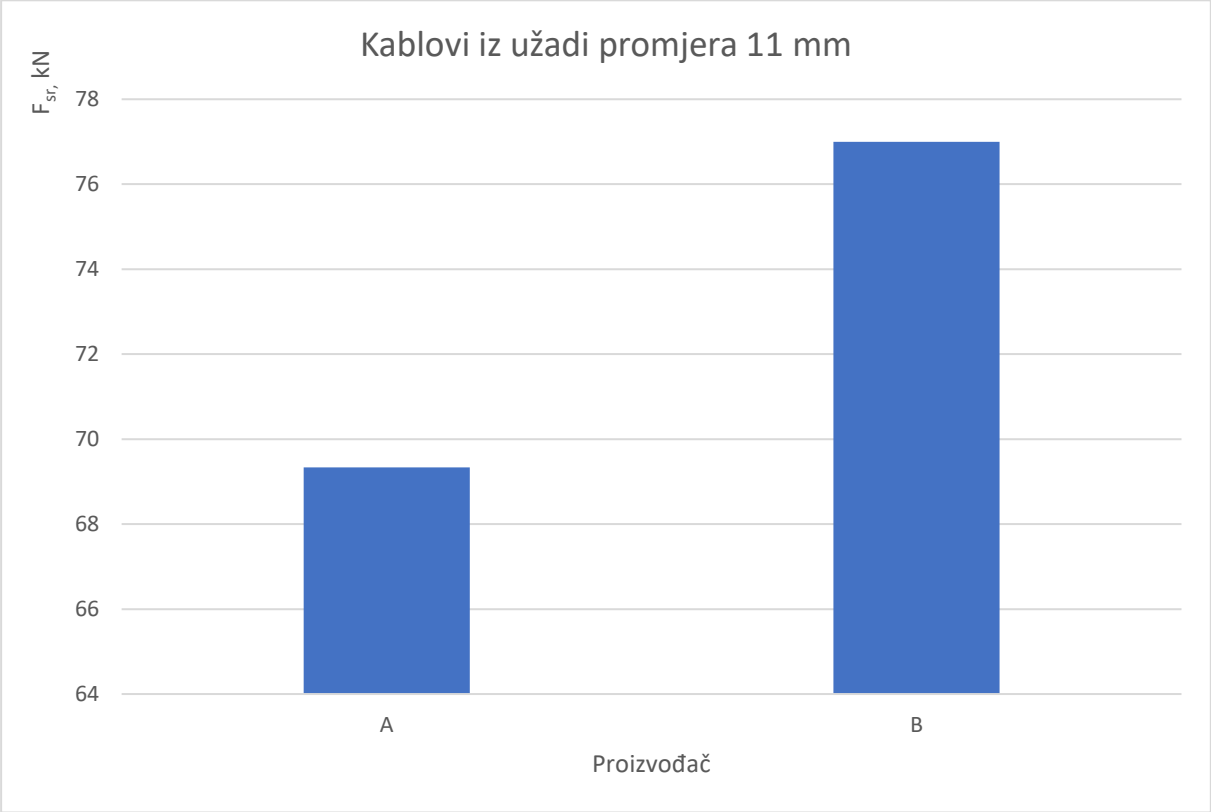
Slika 4.8 Usporedni dijagram kablova iz užadi promjera 8 mm

Kod kablova iz užadi promjera 10 milimetara zabilježeni rezultati maksimalnih sila ponovno su veći kod proizvođača A, ali za približno jednake promjere. Usporedba maksimalnih sila kod kablova za promjer užadi od 10 milimetara prikazan je na slici 4.9.



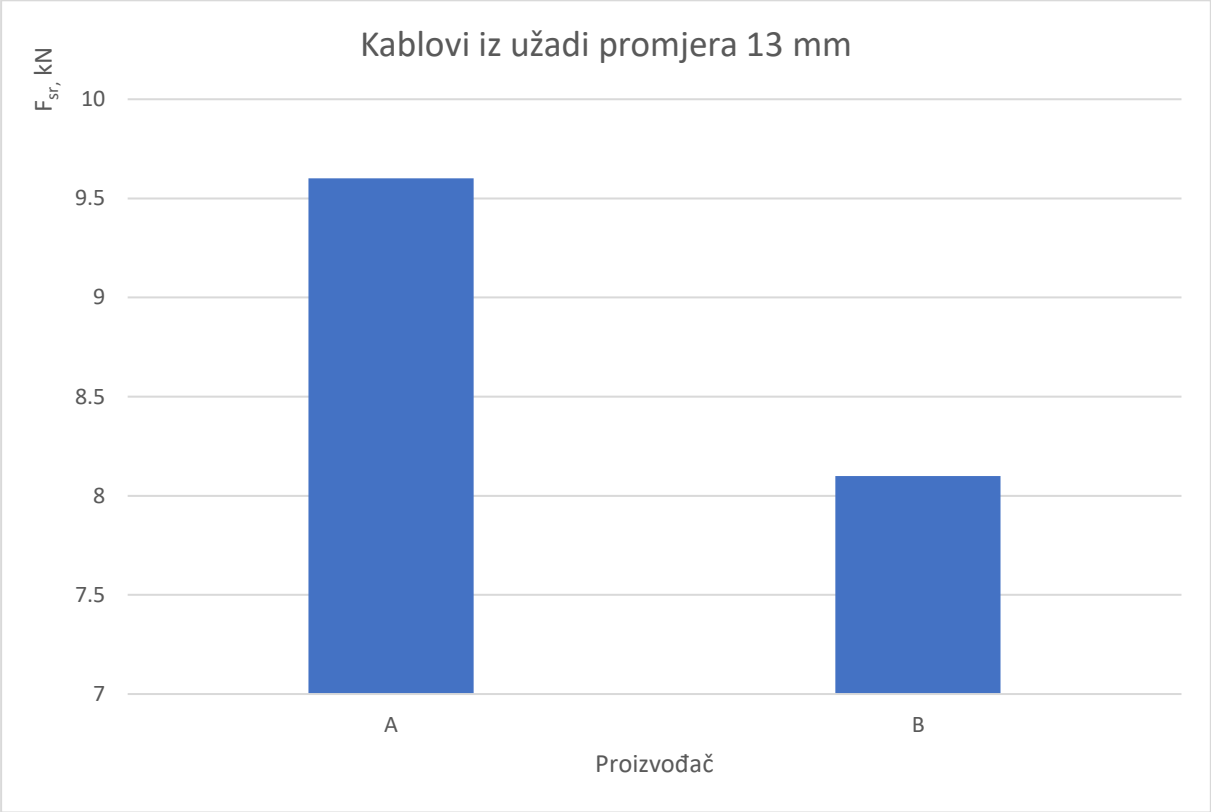
Slika 4.9 Usporedni dijagram kablova iz užadi promjera 10 mm

Kablovi iz užadi promjera 11 milimetara imaju gotovo identične promjere kod oba proizvođača, a izmjerene maksimalne sile neznatno su veće kod proizvođača A. Usporedba rezultata srednjih vrijednosti maksimalnih sila za navedene kablove prikazana je na slici 4.10.



Slika 4.10 Usporedni dijagram kablova iz užadi promjera 11 mm

Kablovi iz užadi promjera 13 milimetara proizvođača A imaju veći promjer, a time i veće izmjerene maksimalne sile. Na slici 4.11 su prikazane srednje vrijednosti maksimalnih sila oba proizvođača.



Slika 4.11 Usporedni dijagram kablova iz užadi promjera 13 mm

4.3. Analiza rezultata vanjskih žica

Kao i kod analize rezultata kablova na rezultate mogu utjecati prihvati koji tlače žicu, također spiralno uvijenu. S obzirom na to da žice imaju manji promjer i izmjerene sile u odnosu na kablove možemo pretpostaviti da će i faktori biti utjecajniji. Kao što je kod analize kablova navedeno, kidalica nije namijenjena za tako male sile, što se odrazilo i u dijagramima (nazubljenost zbog niske rezolucije kidalice). Početak dijagrama s malim prirastom sile može se protumačiti kao ravnanje spiralno uvinute žice (licne). Promjeri žica mjereni su pomičnim mjerilom, a s obzirom na to da su promjeri svih žica manji od jednog milimetra i pretpostavimo li da žica nije savršeno okruglog presjeka treba uzeti u obzir pogreške kod izračuna površine poprečnog presjeka žice. Površina nadalje utječe na rezultat vlačne čvrstoće. Primjer naprave koja je namijenjena za statičko vlačno ispitivanje čeličnih žica prema normi prikazana je na slici 4.12.



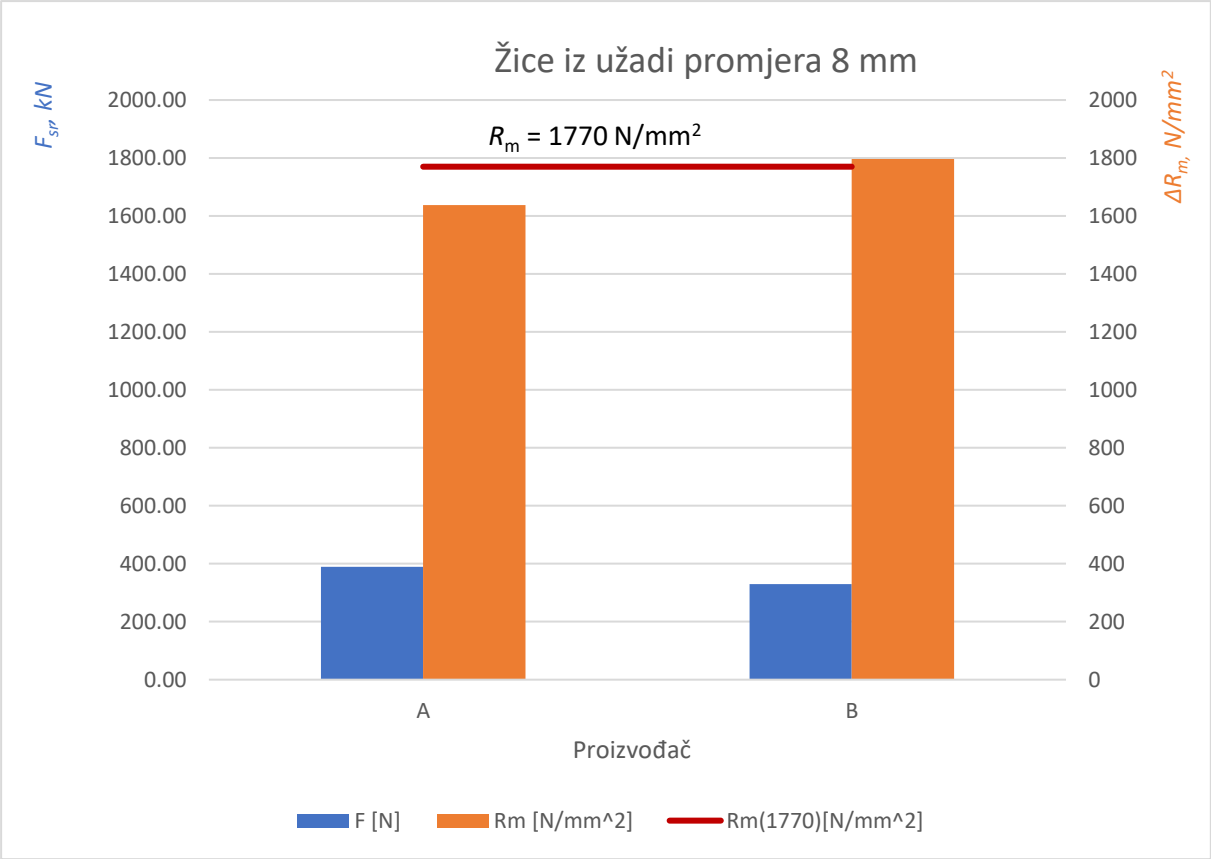
Slika 4.12 Naprava namijenjena za SVI čeličnih žica [12]

Tablica 4.3 Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja žica proizvođača A i B

Proizvođač	Promjer užeta [mm]	Br. uzorka	d [mm]	S [mm^2]	F_m [N]	F_{sr} [N]	R_m [N/mm^2]	ΔR_m [N/mm^2]
A	8	1	0,550	0,238	393,600	389,333	1658,781	1637,521
		2	0,550	0,238	388,000		1630,252	
		3	0,550	0,238	386,400		1623,529	
	10	1	0,640	0,322	507,200	514,400	1575,155	1568,355
		2	0,650	0,331	517,200		1562,538	
		3	0,650	0,331	518,800		1567,372	
	11	1	0,700	0,385	735,200	722,133	1909,610	1931,065
		2	0,690	0,374	729,600		1950,802	
		3	0,680	0,363	701,600		1932,782	
	13	1	0,850	0,567	964,800	960,933	1701,587	1707,417
		2	0,840	0,567	983,600		1734,744	
		3	0,840	0,554	934,400		1685,921	
B	8	1	0,480	0,181	334,000	329,933	1845,304	1797,049
		2	0,490	0,189	330,800		1750,264	
		3	0480	0,181	325,000		1795,580	
	10	1	0,630	0,312	482,500	510,167	1546,474	1585,994
		2	0,640	0,322	537,000		1667,702	
		3	0,650	0,331	511,000		1543,807	
	11	1	0,690	0,374	659,000	641,067	1762,032	1714,538
		2	0,700	0,385	635,400		1649,351	
		3	0,680	0,363	628,800		1732,231	
	13	1	0,810	0,515	881,000	864,467	1710,679	1704,753
		2	0,800	0,503	878,000		1745,527	

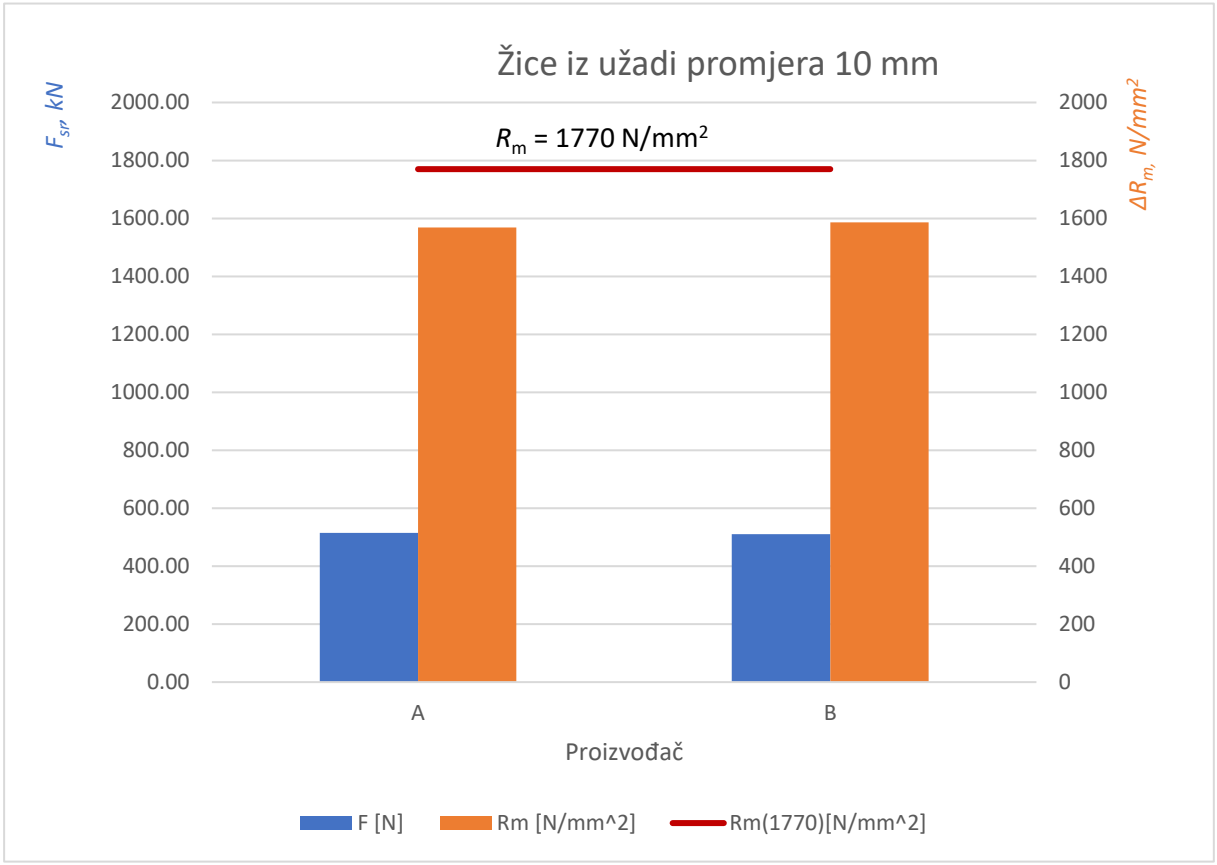
		3	0,800	0,503	834,400		1658,052	

Vanjske žice iz užadi promjera 8 milimetara većeg su promjera kod proizvođača A, a time i maksimalne sile izmjerene na uzorcima žica. Izračunate vlačne čvrstoće proizvođača B približno su jednake kao i u oznaci užadi (1770 N/mm^2), dok su kod proizvođača A manje vrijednosti. Usporedba rezultata između proizvođača za navedene žice prikazana je na slici 4.13.



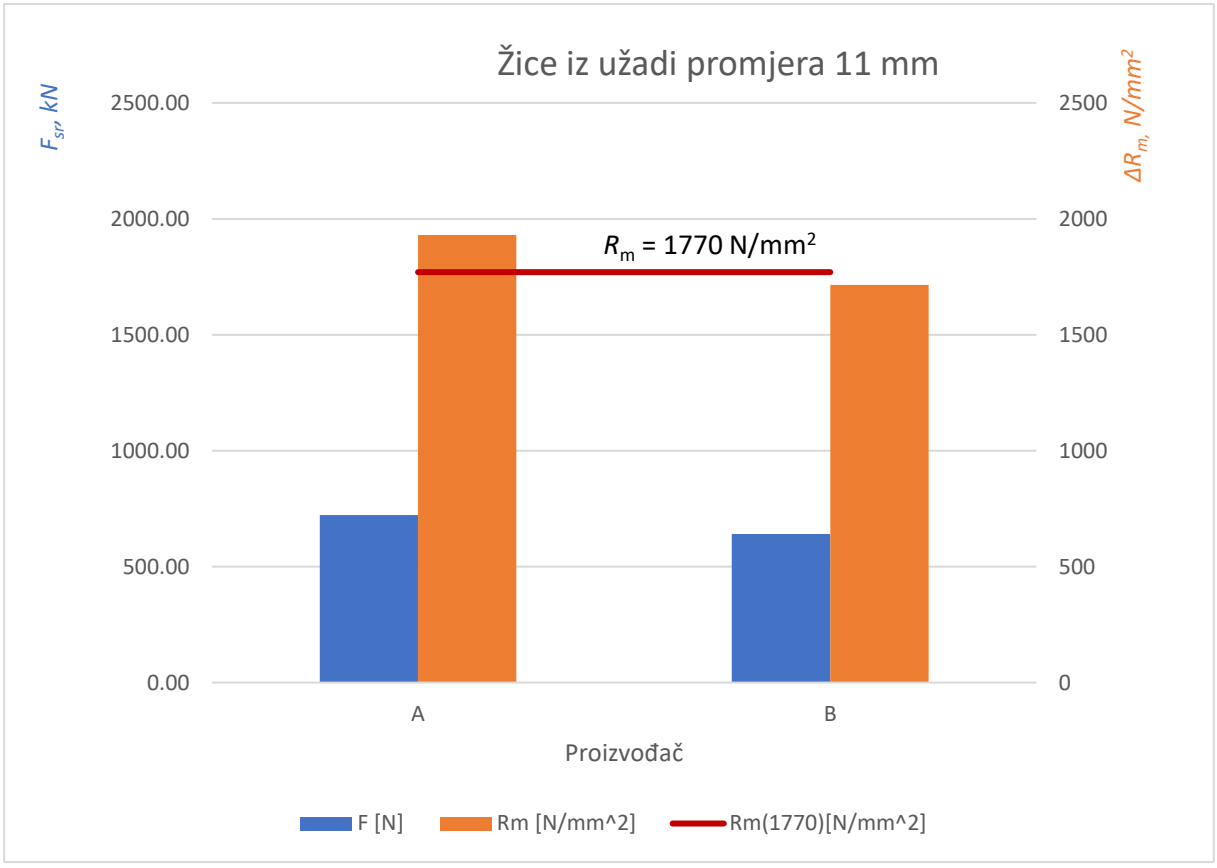
Slika 4.13 Usporedni dijagram žica iz užadi promjera 8 mm

Žice iz užadi promjera 10 milimetara imaju gotovo jednake vrijednosti promjera i maksimalnih sila, a time i približno jednake vrijednosti vlačnih čvrstoća. Rezultati izračunate vlačne čvrstoće manji su od vlačne čvrstoće navedene u oznaci užadi. Usporedni dijagram za navedene rezultate prikazan je na slici 4.14.



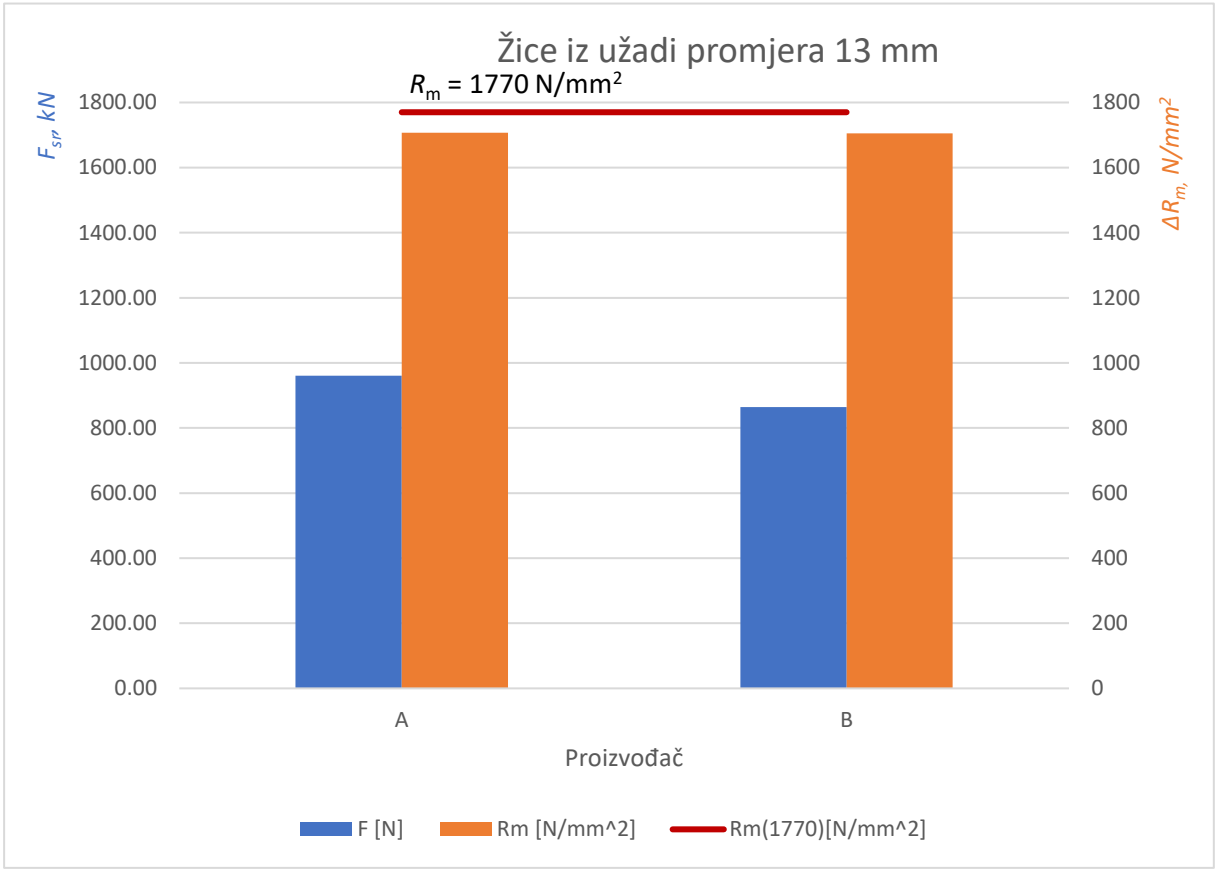
Slika 4.14 Usporedni dijagram žica iz užadi promjera 10 mm

Žice iz užadi promjera 11 milimetara imaju podjednake promjere kod oba proizvođača, no maksimalne sile su veće kod proizvođača A. Nadalje, uslijed većih izmjerenih maksimalnih sila veće su i vrijednosti vlačne čvrstoće. Aritmetička sredina vrijednosti vlačnih čvrstoća proizvođača A nalazi se znatno iznad granice vlačne čvrstoće u oznaci užadi, dok je kod proizvođača B ispod granice. Usporedni dijagram navedenih vrijednosti prikazan je na slici 4.15.



Slika 4.15 Usporedni dijagram žica iz užadi promjera 11 mm

Posljednje ispitivane žice iz užadi promjera 13 milimetara imaju veće izmjerene promjere kod proizvođača A i prema tome nešto veće maksimalne sile. Izračunate vlačne čvrstoće približno su jednake kod oba proizvođača i nalaze se ispod granice vlačne čvrstoće zapisane u oznaci užadi. Na slici 4.16 je prikazan usporedni dijagram analiziranih rezultata za navedene žice.



Slika 4.16 Usporedni dijagram žica iz užadi promjera 13 mm

5. ZAKLJUČAK

Sa sigurnošću se može reći da su pregledom užadi proizvođača B isporučene u vizualno boljem stanju. Ta činjenica potkrijepljena je slikama vlakana koja su u znatno lošijem stanju kod proizvođača A. No osim jezgre od vlakana koja su upila mazivo i vanjska površina je na dodir ljepljiva uslijed osušenog maziva. Iz navedenog se može pretpostaviti da je užad proizvođača A duže vrijeme stajala na skladištu.

Rezultati statičkog vlačnog ispitivanja užadi pokazuju da proizvođač B ima bolju ponovljivost rezultata. Proizvođač A je kod većine ispitivanja zadovoljio normiranu maksimalnu silu za ispitivani tip užadi osim kod užadi promjera 13 milimetara. Užad proizvođača A promjera 13 milimetara nije zadovoljila minimalnu normiranu silu niti na jednom uzorku. Uzevši u obzir ranije navedene utjecajne faktore nije moguće presuditi da kvaliteta proizvođača A nije zadovoljavajuća, ali sa sigurnošću možemo zaključiti da je užad proizvođača B pouzdanija.

Kod kupnje užadi vrlo je važna i cijena, a u ovom slučaju proizvođač B ima oko 25% višu cijenu za isti tip užadi. Kada je riječ o dizalima koja služe za transport ljudi i materijala trebalo bi uvijek težiti boljoj kvaliteti. U slučaju nezgode troškovi će zasigurno biti veći od razlike u cijeni ove užadi. Iz rezultata ispitivanja kablova i žica ovih proizvođača nije moguće dati zaključak o kvaliteti pojedinog proizvođača s obzirom na to da oprema za ispitivanje nije bila namjenski predviđena za ispitivanje užadi odnosno nije imala dodatnih prihvata za ispitivanje užadi. Uz činjenicu da je kidalica namijenjena za znatno veće sile slijedi i niz drugi utjecajnih faktora (npr .proklizavanje, prihvati, ravnanje spiralno uvijenih uzoraka) koji su navedeni u analizi rezultata. Prema tome možemo samo pretpostaviti da su vrijednosti izračunatih vlačnih čvrstoća približne vlačnoj čvrstoći naznačenoj u oznaci užadi. Također, iz podataka izmjerenih promjera kablova i žica može se zaključiti da bez obzira na istu navedenu strukturu užadi postoje male razlike. Takve male razlike na malim promjerima žica mogu napraviti značajnu razliku pri izračunu vlačne čvrstoće.

Važno je naglasiti da je ovaj tip užadi (8x19S FC) najkorišteniji tip u cijelom svijetu zbog toga što je njegova namjena zaživjela prije nešto više od pola stoljeća. U svijetu je velika količina starijih građevinskih objekata u kojima se vrše remonti dizala, pa je ova užad još uvijek nužna s obzirom na to da je namijenjena za specifične užnice i dizala koja imaju strojarnicu. U novim stambenim objektima više se ne rade takvi tipovi dizala (sa strojarnicom), pa se ne koristi niti taj tip užadi već užad koja je strukturirana samo od čelika (bez vlakana). Potpuno čelična užad ima duži vijek trajanja i puno je bolja opcija kod većih visine dizanja. Za isti promjer poprečnog

presjeka čelična užad ima znatno veću čvrstoću i s vremenom će istisnuti primjenu užadi s vlaknima.

LITERATURA

[1] Dizalice i dizala, "Hrvatska enciklopedija", Leksikografski zavod Miroslav Krleža, www.enciklopedija.hr, 2019.Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.

[2] Tehnička enciklopedija (Prenosila i dizala), glavni urednik Hrvoje Požar, Grafički zavod Hrvatske, 1987.

[3] https://www.pinterest.com/pin/511158626459560212/ (pregledano 21.10.2020.)

[4] BS EN 81-20:2014, Safety rules for the construction and installation of lifts — Lifts for the transport of persons and goods, Part 20: Passenger and goods passenger lifts

[5] Pfeifer Drako elevator products, Steel wire ropes in elevators (products catalogue), 09/2015.

[6] Matej Petko „Putnička dizala“, završni rad, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2015, mentor: Tomislav Barić, dipl.ing.el.

[7] BS EN 81-50:2014, Safety rules for the construction and installation of lifts — Examinations and tests, Part 50: Design rules, calculations, examinations and tests of lift components

[8] https://groovedwheels.com/blogs/news/the-difference-between-u-groove-and-v-groove-wheels (pregledano 5.11.2020.)

[9] https://www.assemblyspecialty.com/guide-to-wire-rope/wire-rope-selection/wire-rope-lay-2/ (pregledano 5.11.2020.)

[10] https://www.elevatorbooks.com/wp-content/uploads/2019/02/EW0509.pdf (pregledano 7.11.2020.)

[11] https://www.zwickroell.com/en/metals/long-products/wire (pregledano 8.11.2020.)

[12] https://www.jfe-tec.co.jp/en/implant/wire.html (pregledano 10.11.2020.)

PRILOZI

I. CD-R disc

II. Tehnička dokumentacija