

# Mehaničko ispitivanje veze zatezne stezaljke s električnim vodičem za srednje napone do 10 kV

---

**Medvidović, Davor**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*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:235:228523>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-15**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Davor Medvidović**

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Janoš Kodvanj

Student:

Davor Medvidović

Zagreb, 2017.

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

Zahvaljujem se prof.dr.sc. Janošu Kodvanj na podršci te pruženoj pomoći i stručnom usmjeravanju pri izradi završnog rada.

Također, zahvaljujem se tvrtki Metal Product d.o.o na čelu s predsjednikom uprave gosp. Stjepanom Šafran te tehničkom direktoru gosp. Ivici Klasan što su mi omogućili izradu ovoga rada.

Zahvaljujem se obitelji na pruženoj podršci tijekom studiranja.

Davor Medvidović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Davor MEDVIDOVIĆ** Mat. br.: 0035193886

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mehaničko ispitivanje veze zatezne stezaljke s električnim vodičem za srednje napone do 10 kV**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Mechanical testing of the connection between tension clamp and electrical conductor for medium voltage up to 10 kV**

Opis zadatka:

Zatezna stezaljka se koristi za nošenje i zatezanje energetskih vodiča na zateznim stupovima dalekovoda srednjeg napona do 10 kV. Montira se na stupove dalekovoda u bez naponskom stanju i namijenjena je za rad pri temperaturama okoline od  $-5^{\circ}\text{C}$  do  $+35^{\circ}\text{C}$ . Uglavnom se koriste za nošenja i zatezanja vodiča za prijenos električne energije između manjih mjesta i gradova. Stezaljke su u eksploataciji pored sila zatezanja vodiča dodatno opterećene i turbulencijom vjetra, vibracijama i dodatnim teretom uslijed snijega i leda što može dovesti do izvlačenja vodiča iz stezaljke, a u najgorem slučaju do havarije dalekovoda i prekida napajanja električnom energijom.

U radu je potrebno pri statičkom opterećenju odrediti mehaničke karakteristike vodiča i silu izvlačenja vodiča iz stezaljke za različite momente pritezanja vijaka. Ispitivanja provesti pri uobičajenim temperaturama okoline.

Tijekom rada potrebno je:


1. Upoznati se s radom statičke kidalice i pripadajućeg upravljačkog programa.
2. Odrediti mehaničke karakteristike vodiča i usporediti s atestnom dokumentacijom za predmetni vodič.
3. Odrediti silu izvlačenja vodiča iz zatezne stezaljke pri 95%-tnoj vrijednosti prekidne sile uz opterećenje u trajanju od jedne minute prema normi IEC 61284.
4. Odrediti silu izvlačenja vodiča iz stezaljke pri različitim momentima pritezanja vijaka na uobičajenim temperaturama okoline ( $-5^{\circ}\text{C}$  i  $+35^{\circ}\text{C}$ ).
5. Ispitati stezaljku pri dozvoljenoj vlačnoj sili s odgovarajućim alatom bez vodiča.

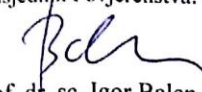
U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
30. studenog 2016.

Rok predaje rada:  
1. rok: 24. veljače 2017.  
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.  
3. rok: 22. rujna 2017.

Predvideni datumi obrane:  
1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.  
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.  
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:  
  
Prof. dr. sc. Janoš Kodvanj

Predsjednik Povjerenstva:  
  
Prof. dr. sc. Igor Balen

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	1
POPIS SLIKA .....	2
POPIS TABLICA.....	4
POPIS OZNAKA .....	5
SAŽETAK.....	6
SUMMARY .....	7
1 UVOD.....	7
2 ULOGA ZATEZNE STEZALJKE S PRIPADAJUĆIM ELEKTRIČNIM VODIČEM ZA SREDNJE NAPONE DO 10 kV .....	9
2.1 Zatezna stezaljka .....	9
2.2 Vodiči.....	12
3 EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA I REZULTATI .....	14
3.1 Oprema za provedbu ispitivanja .....	14
3.2 Mehaničke karakteristike vodiča i usporedba s atestnom dokumentacijom .....	16
3.3 Sila izvlačenja vodiča iz stezaljke pri 95 % vrijednosti prekidne sile .....	25
3.3.1 Sila izvlačenja vodiča iz stezaljke pri temperaturi -5°C .....	25
3.3.2 Sila izvlačenja vodiča iz stezaljke pri temperaturi +35°C.....	30
3.4 Mehaničko ispitivanje stezaljke na vlak pri dozvoljenoj sili s odgovarajućim alatom bez vodiča .....	35
4 ZAKLJUČAK.....	39
LITERATURA.....	40
PRILOZI.....	41

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Zatezna stezaljka .....	9
Slika 2.	Zatezna stezaljka na drvenom vodu .....	11
Slika 3.	Primjer zatezne stezaljke na betonskom vodu .....	11
Slika 4.	Karakteristike korištenog vodiča, izvadak iz norme BS EN 50182:2001 .....	13
Slika 5.	Statička kidalica s pripadajućom upravljačkom jedinicom .....	14
Slika 6.	Komora za zagrijavanje ispitnih uzoraka .....	15
Slika 7.	Uzorci žice iz unutarnjeg sloja .....	16
Slika 8.	Mjerenje promjera žice .....	16
Slika 9.	Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) uzorak poslije ispitivanja... ..	17
Slika 10.	Dijagram F – t za uzorak 1.1 iz unutarnjeg sloja .....	18
Slika 11.	Dijagram F – t za uzorak 1.2 iz unutarnjeg sloja .....	18
Slika 12.	Dijagram F – t za uzorak 1.3 iz unutarnjeg sloja .....	19
Slika 13.	Dijagram F – t za uzorak 1.4 iz unutarnjeg sloja .....	19
Slika 14.	Dijagram F – t za uzorak 1.5 iz unutarnjeg sloja .....	20
Slika 15.	Dijagram F – t za uzorak 1.6 iz unutarnjeg sloja .....	20
Slika 16.	Dijagram F – t za uzorak 1.1 iz vanjskog sloja .....	21
Slika 17.	Dijagram F – t za uzorak 1.2 iz vanjskog sloja .....	22
Slika 18.	Dijagram F – t za uzorak 1.3 iz vanjskog sloja .....	22
Slika 19.	Dijagram F – t za uzorak 1.4 iz vanjskog sloja .....	23
Slika 20.	Dijagram F – t za uzorak 1.5 iz vanjskog sloja .....	23
Slika 21.	Dijagram F – t za uzorak 1.6 iz vanjskog sloja .....	24
Slika 22.	Pritezanje vijaka stezaljke s momentom 20 Nm .....	25
Slika 23.	Uzorak za ispitivanje sile izvlačenja vodiča .....	26
Slika 24.	Ispitivanje na kidalici: a) prihvat uzorka na kidalici, b) izvlačenje vodiča iz stezaljke .....	26
Slika 25.	Dijagram F – t za uzorak s momentom pritezanja 20 Nm pri -5°C .....	27
Slika 26.	Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) pucanje vodiča nakon ispitivanja .....	28
Slika 27.	Dijagram F – t za uzorak s momentom pritezanja 25 Nm pri -5°C .....	28
Slika 28.	Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) uzorak nakon vlačnog ispitivanja .....	29
Slika 29.	Dijagram F – t za uzorak s momentom pritezanja 30 Nm pri -5°C .....	30
Slika 30.	Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) izvlačenje vodiča iz stezaljke .....	31
Slika 31.	Dijagram F – t za uzorak s momentom pritezanja 15 Nm pri +35°C .....	31
Slika 32.	Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) uzorak nakon ispitivanja... ..	32
Slika 33.	Dijagram F – t za uzorak s momentom pritezanja 20 Nm pri +35°C .....	33
Slika 34.	Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) popuštanje vodiča na izlazu iz stezaljke .....	34
Slika 35.	Dijagram F – t za uzorak s momentom pritezanja 25 Nm pri +35°C .....	34
Slika 36.	Uzorak s odgovarajućim alatom pritegnut s 25 Nm .....	35
Slika 37.	Ispitivanje uzorka na kidalici .....	36
Slika 38.	Lom na tijelu stezaljke .....	36
Slika 39.	Lom stezaljke na mjestu svornjaka .....	37
Slika 40.	Prvi uzorak – ostvarena sila od 49,6 kN .....	37

---

Slika 41.	Drugi uzorak – ostvarena sila od 44,1 kN.....	38
Slika 42.	Treći uzorak – ostvarena sila od 42,4 kN.....	38



## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Rezultati ispitivanja uzoraka žice unutarnjeg sloja .....	21
Tablica 2. Rezultati ispitivanja uzoraka žice vanjskog sloja.....	24

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$F$	N	Prekidna sila vodiča, sila izvlačenja vodiča
$t$	s	Vrijeme
$M$	Nm	Moment pritezanja vijaka
$\vartheta$	°C	Temperatura
$R_m$	MPa	Vlačna čvrstoća
$d$	mm	Promjer žice vodiča
$A$	mm <sup>2</sup>	Površina presjeka žice

## SAŽETAK

Za prijenos električne energije koriste se dalekovodi s odgovarajućom ovjesnom opremom i vodičima. Ovjesna oprema koja je ispitana u okviru ovog rada je zatezna stezaljka s pripadajućim vodičem. Zbog sila zatezanja vodiča, dodatnog opterećenja turbulencijom vjetra, vibracijama i dodatnim teretom uslijed snijega i leda može doći do izvlačenja vodiča iz stezaljke te u najgorem slučaju do havarije dalekovoda i prekida napajanja električnom energijom. Da bi se to izbjeglo provode se ispitivanja odgovarajućih elemenata dalekovoda pri različitim vremenskim uvjetima. U ovom radu je ispitana veza zatezne stezaljke s odgovarajućim vodičem pri statičkom vlačnom opterećenju. Rad je podijeljen na dva dijela.

Na prvom dijelu rada opisana je primjena, oblikovanje i zahtjevi koje moraju zadovoljiti zatezne vijčane stezaljke i vodiči. Detaljno je opisana oprema koja je korištena za provedbu eksperimentalnog ispitivanja.

U drugom dijelu opisana je provedba eksperimentalnog ispitivanja i analizirani su dobiveni rezultati.

Ispitivanja prikazana u ovom radu provedena su u laboratoriju tvrtke Metal Product d.o.o.

Ključne riječi: ovjesna oprema, zatezna stezaljka, sila izvlačenja, električni vodič

## **SUMMARY**

Transmission lines with the required suspension assembly and conductors are used to transmit electrical power. In this study a tension clamp was tested along with its corresponding conductor. The forces resulting from tensioning the conductor, additional wind turbulence load, vibrations and additional snow and ice load, might cause the conductor to get pulled out from the clamp. These could even lead to transmission line failure and electrical power cuts. To avoid that, the respective transmission line components were tested under different weather conditions. The connection between the tension clamp and the corresponding conductor under static tensile load was examined.

The work is divided into two parts. The use and the design of tension bolted clamps and conductors as well as the requirements they need to meet were described in the first part. In addition, the testing equipment was described in detail. In the second part, the testing procedure was presented and the results analyzed.

The tests presented in this work were carried out in the laboratory Metal Product Ltd.

Keywords: suspension assembly, tension clamp, tensile force, conductor

## 1 UVOD

Pouzdan rad vodova srednjeg napona u mnogome je ovisan o ovjesnoj opremi, pa se od iste zahtijeva da bude tehnički funkcionalna i kvalitetno izrađena. Od opreme se očekuje visoka sigurnost u eksploatacijskim uvjetima, minimalna težina, jednostavna montaža s mogućnošću montaže pod naponom primjenom odgovarajuće zaštitne opreme i isključivost mogućnosti pojave električnog izboja. Svi dijelovi ovjesne opreme prema svojoj namjeni moraju izdržati određena mehanička i električna opterećenja, a izrađuju se od kovanog čelika, aluminijskih legura odgovarajuće kvalitete.

Kako bi se odredila kvaliteta ovjesne opreme i vodiča te spriječile havarije koje mogu prouzročiti nekvalitetni materijali, nedostatna kvaliteta izrade i neispravna montaža, provode se ispitivanja prema zahtjevima normi.

Jedan od važnijih elemenata ovjesne opreme je zatezna stezaljka. U ovom radu ispitana je zatezna stezaljka s pripadajućim vodičem za srednje napone do 10 kV. Sva ispitivanja provedena su prema važećim normama za elemente srednje naponskih vodova.

U drugom poglavlju rada detaljnije je opisana zatezna stezaljka i vodič koji se koristi za ovaj tip stezaljke.

U trećem poglavlju opisana je oprema korištena tijekom eksperimenata, priprema uzoraka i sama provedba vlačnih ispitivanja stezaljke s vodičem s ciljem određivanja sile izvlačenje vodiča iz stezaljke za različite momente pritezanja vijaka pri različitim temperaturama okoline. U istom poglavlju dani su i rezultati ispitivanja.

Zaključci na temelju provedenih ispitivanja nalaze se u četvrtom poglavlju.

## 2 ULOGA ZATEZNE STEZALJKE S PRIPADAJUĆIM ELEKTRIČNIM VODIČEM ZA SREDNJE NAPONE DO 10 kV

### 2.1 Zatezna stezaljka

Zatezna stezaljka se koristi za nošenje i zatezanje energetskih vodiča na zateznim stupovima dalekovoda srednjeg napona. Montira se na zatezne izolatorske lance na konzoli drvenog stupa, betonskog stupa ili na čelično rešetkasti stup. Uglavnom se koriste za nošenje i zatezanje vodiča za prijenos električne energije između manjih mjesta i gradova.

Zatezna vijčana stezaljka namijenjena je za prihvat vodiča Al/Fe 50/8 mm<sup>2</sup>; Al/Fe 70/12 mm<sup>2</sup>; Al 70 mm<sup>2</sup>, koji se odabiru prema naponskom nivou dalekovoda. Stezaljka je izrađena iz aluminijske legure koja posjeduje veliku čvrstoću i malu težinu, laka je za rukovanje i montažu, podnosi visoka naprezanja te svojim oblikom ima dobre performanse pri visokonaponskim ispitivanjima korone i radio smetnji. Minimalna prekidna sila ove stezaljke je 40 kN, a montaža vodiča u stezaljku se vrši s vruće pocinčanim „U“ vijcima M10 i propisanim momentom pritezanja matica.

Na slici 1. prikazana je zatezna stezaljka ispitana u okviru ovog rada.



Slika 1. Zatezna stezaljka

Ovaj tip stezaljke se može ugrađivati na područjima s normalnom klimom i u tropskim uvjetima. Stezaljke su u eksploataciji pored sila zatezanja vodiča, dodatno opterećene i turbulencijom vjetra, vibracijama i dodatnim teretom uslijed snijega i leda koji može dovesti do izvlačenja vodiča iz stezaljke.

Ako montaža nije izvršena odgovarajućim momentom pritezanja vijaka na stezaljci, u najgorem slučaju dolazi do havarije dalekovoda i prekida napajanja strujom.

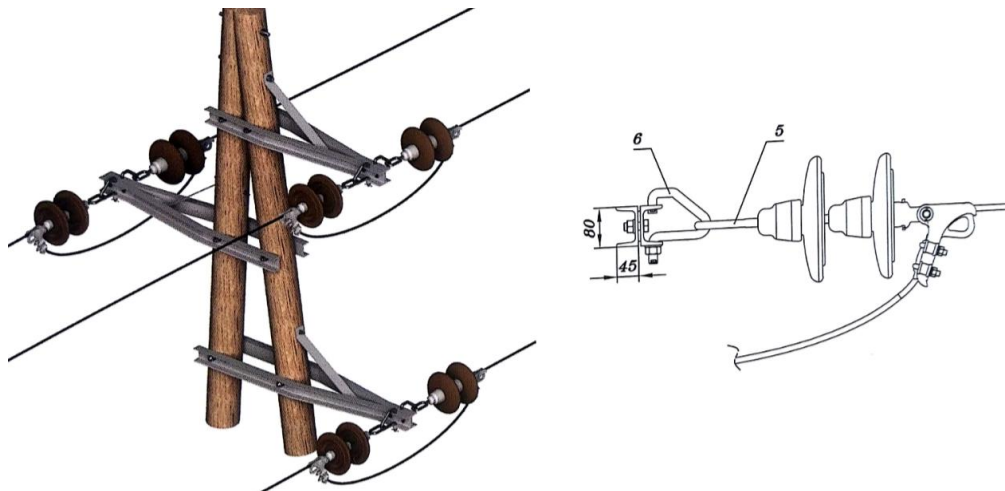
Zatezna stezaljka se izrađuje lijevanjem. Prije samog lijevanja vrši se kontrola taline na spektrometru za kemijsku analizu. Ukoliko dobiveni rezultati ispitivanja odgovaraju propisanom kemijskom sastavu za tu stezaljku odobrava se operacija lijevanja.

Nakon lijevanja stezaljka se kontrolira vizualno, dimenzionalno prema nacrtnoj dokumentaciji i mehaničkim vlačnim ispitivanjem na zahtijevanu silu opterećenja. Nakon kontrole i dobivenih zadovoljavajućih rezultata, zatezna stezaljka se može proslijediti na strojnu obradu i montažu.

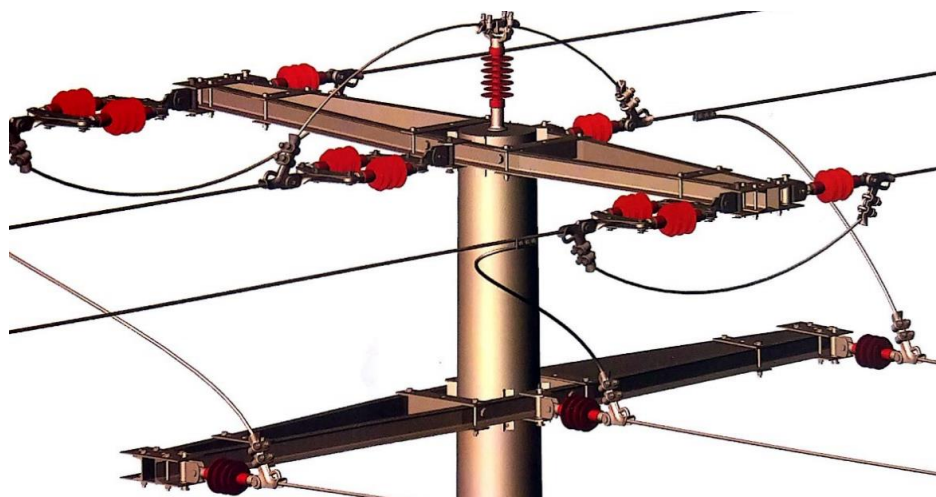
Zahtjevi koji utječu na oblikovanje i tehnologiju izrade aluminijskih zateznih vijčanih stezaljki:

- **Varijantnost:** Odabir vodiča ovisi o električnim i mehaničkim zahtjevima nad elektroenergetskim vodom. Stezaljke za njih su različitih dimenzijama, i za neke uvjete različitog oblika, ali dovoljno sličnog kako bi se mogle grupirati zajedno.
- **Mehaničko opterećenje:** Vodiči se potpuno rasterećuju od natega preko zateznih stezaljki. Uz to postoji dinamičko opterećenje zbog eolskih vibracija. Normalne izvedbe zateznih stezaljki su predviđene za rad na temperaturama od  $-5^{\circ}\text{C}$  do  $+35^{\circ}\text{C}$ . Postoje izvedbe i za rad na povišenim temperaturama. Stezaljka mora imati dovoljnu čvrstoću da bi podnijela opterećenja uslijed vlastite težine, snijega i leda.
- **Električno opterećenje:** Ono je visoko i proizlazi iz osnovne funkcije elektroenergetske mreže.
- **Rad pod visokim naponom:** Postoji opasnost od pojave korone, tj. lokalnog iskrenja koje se očituje u oštećenju materijala, električnim gubicima i smetnjama u cijelom spektru frekvencija, od radio interferencije, preko bučnog rada, do vidljivih električnih izboja. Pravilnim oblikovanjem treba spriječiti gomilanje električnog naboja.
- **Kemijsko opterećenje:** Stezaljke su električno i mehanički visoko opterećene, a izložene su i onečišćenom zraku i cijelom spektru atmosferskih utjecaja. Moraju biti izrađene od materijala s dobrom kemijskom postojanošću.

Zatezne stezaljke se koriste kod svih vrsta vodova. Na slikama 2 i 3 prikazani su primjeri zatezne stezaljke na različitim vodovima [2].



Slika 2. Zatezna stezaljka na drvenom vodu



Slika 3. Primjer zatezne stezaljke na betonskom vodu



## 2.2 Vodiči

Vodiči kao osnovni funkcionalni elementi električnog voda imaju zadatak provoditi električnu struju i jedini su aktivni dio voda. Uslijed vlastite težine vodiči su mehanički opterećeni na vlak, a protjecanjem struje kroz vodič stvaraju se Jouleovi gubici pa su i termički opterećeni. Zbog izloženosti vremenskim uvjetima kao što su led, vjetar, ekstremne temperature i lokalno kemijsko onečišćenje zraka, vodiči nadzemnih vodova i njihova zaštitna užad dodatno su opterećeni.

Dakle, osim električnim, nadzemni vodiči su izloženi i visokim mehaničkim i kemijskim opterećenjima, te termičkim zbog gubitaka u vidu Jouleove topline.

Vodiči mogu biti izrađeni u obliku žica ili užadi, pri čemu se za prijenos većih snaga koriste isključivo vodiči u obliku užadi. Za izradu električnih vodiča nadzemnih vodova koriste se razni materijali, od kojih se traži dobra električna vodljivost, velika čvrstoća, dobra obradivost, otpornost na koroziju i starenje te prihvatljiva cijena.

Osnovna podjela vodiča koji se koriste u elektroenergetskim mrežama je prema materijalu izrade:

- vodiči od bakra i bakrenih legura,
- vodiči od aluminijskih legura, koji mogu sadržati ojačanja od čelika ili polimernih materijala,
- užad od pocinčanog čelika ili čelika presvučenog aluminijem; ne koristi se za fazne vodiče već za zaštitnu užad.

Aluminijski vodiči imaju dvostruko manju specifičnu težinu u odnosu na vodiče od bakra i dvostruko su jeftiniji. Uz to aluminij ima dvostruko veći specifični toplinski kapacitet od bakra. Stoga je razumljivo kako se za nadzemne vodove danas koriste pretežno aluminijski vodiči. S druge strane, mehanička čvrstoća aluminijskih vodiča je znatno manja od bakrenih, posebno žilavost. Manja gustoća aluminijskih vodiča u odnosu na bakar uzrokuje veći promjer i manju masu aluminijskih vodiča, što kod nadzemnih vodova rezultira većom amplitudom eolskih vibracija. Fazni vodiči se štite od atmosferskih električnih pražnjenja zaštitnim užetima postavljenim iznad njih [1].

U ovom radu za ispitivanja korišten je aluminijski vodič Al 70 mm<sup>2</sup> sa 19 žica srednjeg promjera 2.10 mm. Na slici 4 vidljive su važnije karakteristike vodiča [3].

Table F.17 - Characteristics of aluminium conductors used in Germany - Type AL1

Code	Old code	Area mm <sup>2</sup>	No. of wires	Diameter		Mass per unit length kg/km	Rated strength kN	DC resistance Ω/km	Final modulus of elasticity N/mm <sup>2</sup>	Coefficient of linear expansion 1/K	Current carrying capacity A
				Wire	Cond.						
				mm	mm						
16-AL1	16	15,9	7	1,70	5,10	43,4	3,02	1,798 6	60 000	2,30E-05	110
24-AL1	25	24,2	7	2,10	6,30	66,3	4,36	1,178 7	60 000	2,30E-05	145
34-AL1	35	34,4	7	2,50	7,50	93,9	6,01	0,831 7	60 000	2,30E-05	180
49-AL1	50	49,5	7	3,00	9,00	135,2	8,41	0,577 6	60 000	2,30E-05	225
4S-AL1	50	48,3	19	1,80	9,00	132,9	8,94	0,594 4	57 000	2,30E-05	225
66-AL1	70	65,8	19	2,10	10,5	180,9	11,85	0,436 7	57 000	2,30E-05	270
93-AL1	95	93,3	19	2,50	12,5	256,3	16,32	0,308 1	57 000	2,30E-05	340
117-AL1	120	117,0	19	2,80	14,0	321,5	19,89	0,245 6	57 000	2,30E-05	390
147-AL1	150	147,1	37	2,25	15,8	405,7	26,48	0,196 0	57 000	2,30E-05	455
182-AL1	185	181,6	37	2,50	17,5	500,9	31,78	0,158 8	57 000	2,30E-05	520
243-AL1	240	242,5	61	2,25	20,3	671,1	43,66	0,119 3	55 000	2,30E-05	625
299-AL1	300	299,4	61	2,50	22,5	828,5	52,40	0,096 6	55 000	2,30E-05	710
400-AL1	400	400,1	61	2,89	26,0	1 107,1	68,02	0,072 3	55 000	2,30E-05	855
500-AL1	500	499,8	61	3,23	29,1	1 382,9	82,47	0,057 9	55 000	2,30E-05	990
626-AL1	625	626,2	91	2,96	32,6	1 739,7	106,45	0,046 4	55 000	2,30E-05	1 140
802-AL1	800	802,1	91	3,35	36,9	2 228,3	132,34	0,036 2	55 000	2,30E-05	1 340
1000-AL1	1000	999,7	91	3,74	41,1	2 777,3	159,95	0,029 1	55 000	2,30E-05	1 540

NOTE 1 NOTE Direction of lay of external layer is right-hand (Z).

NOTE 2 Values of final modulus of elasticity and coefficient of linear expansion for the conductor sizes listed in the Table are used in Germany. Values for other conductor constructions may be calculated using the method given in IEC 61597

NOTE 3 Guideline values of current carrying capacity are valid up to a frequency of 60 Hz, assuming a wind velocity of 0,6 m/s, the effect of solar radiation for Germany, an initial ambient temperature of 35 °C and a conductor temperature of 80 °C. For special applications, when there is no air turbulence, the values should be reduced by 30 %.

#### Slika 4. Karakteristike korištenog vodiča, izvadak iz norme BS EN 50182:2001

Danas se uglavnom koriste spojnice i zatezne vijčane stezaljke za zatezanje i nošenje energetskih vodiča, zbog kvalitete i pouzdanosti. Proračuni i mjerenja pokazuju kako je najveće mehaničko opterećenje vodiča upravo na mjestu spoja sa stezaljkama. Uz statičku silu koja je kombinacija reakcije zatezne sile vodiča i mase užeta, javlja se i dinamička sila zbog eolskih vibracija. Ako se uz to uzmu u obzir i ostala spomenuta opterećenja kojima su izloženi vodiči, a time i zatezne stezaljke, električna, kemijska i toplinska, jasno se vidi važnost korištenja kvalitetnih zateznih vijčanih stezaljki.

### 3 EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA I REZULTATI

#### 3.1 Oprema za provedbu ispitivanja

Statička ispitivanja zatezne vijčane stezaljke provedena su na statičkoj kidalici nazivne sile 100 kN s frekventnim pretvaračem koji omogućuje promjenu prirasta sile u vremenu prema potrebi ispitivanja [Slika 5.].

Očitanje vrijednosti sile na kidalici se vrši preko programa na računalu koji prikazuje dijagram sila-vrijeme. Prije samog ispitivanja u programu se definiraju svi parametri značajni za ispitivanje kao što su: naziv uzorka, kataloški broj uzorka, norma ispitivanja, garantirana prekidna sila, datum ispitivanja i ime ispitivača. Pomoću programa dobivaju se i rezultati ispitivanja: minimalna i maksimalna postignuta sila tijekom ispitivanja, standardna devijacija, aritmetička sredina za više uzoraka.

Kidalica je umjerena od strane ovlaštenog umjerenog laboratorija u klasi 0,5.



Slika 5. Statička kidalica s pripadajućom upravljačkom jedinicom

Za pritezanje vijaka stezaljke kontroliranim momentom korišten je moment ključ s područjem do 60 Nm (Stahlwille, Njemačka). Prikaz ostvarenog momenta je u digitalnom obliku, a rezolucija je  $10^{-1}$  Nm. Moment ključ je umjeren u akreditiranom umjerenom laboratoriju.

Za mjerenje dimenzija zatezne stezaljke i vodiča korišteno je pomično mjerilo s digitalnim prikazom rezultata u mjernom području od 0 do 150 mm sa točnošću od  $10^{-2}$  mm. (Mitutoyo, Japan). Pomično mjerilo je umjeren u akreditiranom umjerenom laboratoriju.

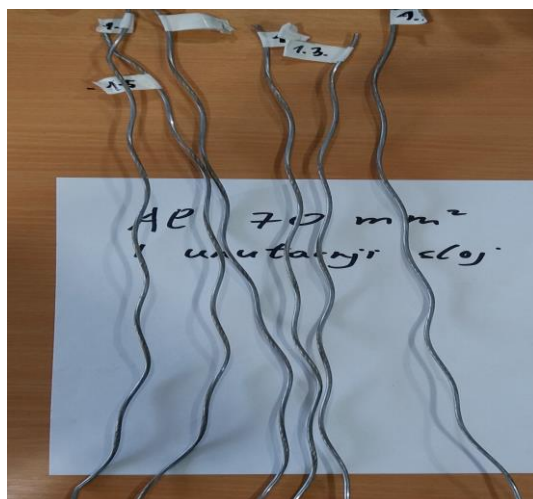
U okviru rada potrebno je odrediti silu izvlačenja vodiča iz zatezne stezaljke za različite momente pritezanja vijaka pri temperaturi  $+35^{\circ}\text{C}$ . Stezaljka i vodič na temperaturu ispitivanja zagrijani su u komori s mogućnošću regulacije temperature [Slika 6.].



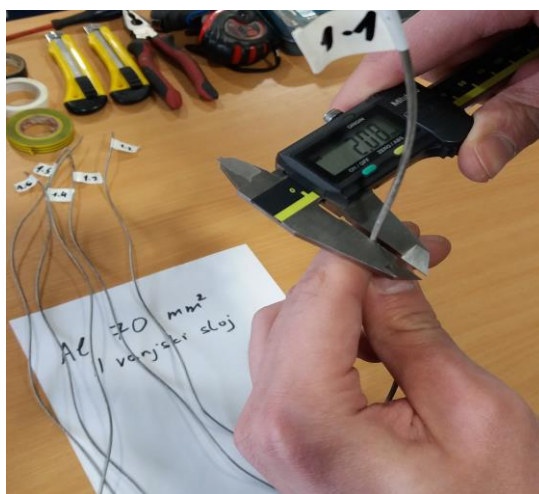
**Slika 6. Komora za zagrijavanje ispitnih uzoraka**

### 3.2 Mehaničke karakteristike vodiča i usporedba s atestnom dokumentacijom

Prije eksperimentalnog ispitivanja veze stezaljke s pripadajućim vodičem provedeno je ispitivanje samog vodiča i rezultati su uspoređeni s atestnom dokumentacijom. Ispitana je vlačna čvrstoća vodiča Al 70 mm<sup>2</sup>, koji se sastoji od 19 žica srednjeg promjera  $d=2,10$  mm prema normi EN 60889. Garantirana vrijednost prekidne sile  $F$  koju žice moraju zadovoljiti je 530 N, a vlačna čvrstoća  $R_m$  treba iznositi 180 MPa [4]. Vodič se dijeli u 2 sloja, vanjski sloj koji se sastoji od 12 žica te unutarnji sloj sa 7 žica. U ovom radu ispitano je po 6 uzoraka žice svakog sloja. Uzorci žice iz unutarnjeg sloja prikazani su na slici 7. Prije ispitivanja je izvršeno mjerenje promjera žica pomoću digitalnog pomičnog mjerila [Slika 8.] te je izračunata površina presjeka  $A$  svake žice.



Slika 7. Uzorci žice iz unutarnjeg sloja



Slika 8. Mjerenje promjera žice

Slijedeći korak je bio samo ispitivanje uzoraka na statičkoj kidalici.

Svaki uzorak je pojedinačno namotan na dva vijka koji su zatim zajedno stavljeni u prihvat ispitnog uređaja. Svi uzorci su ispitivani do loma.

Uzorci na ispitnom uređaju prije i nakon ispitivanja prikazani su na slici 9. a) i 9. b).

a)



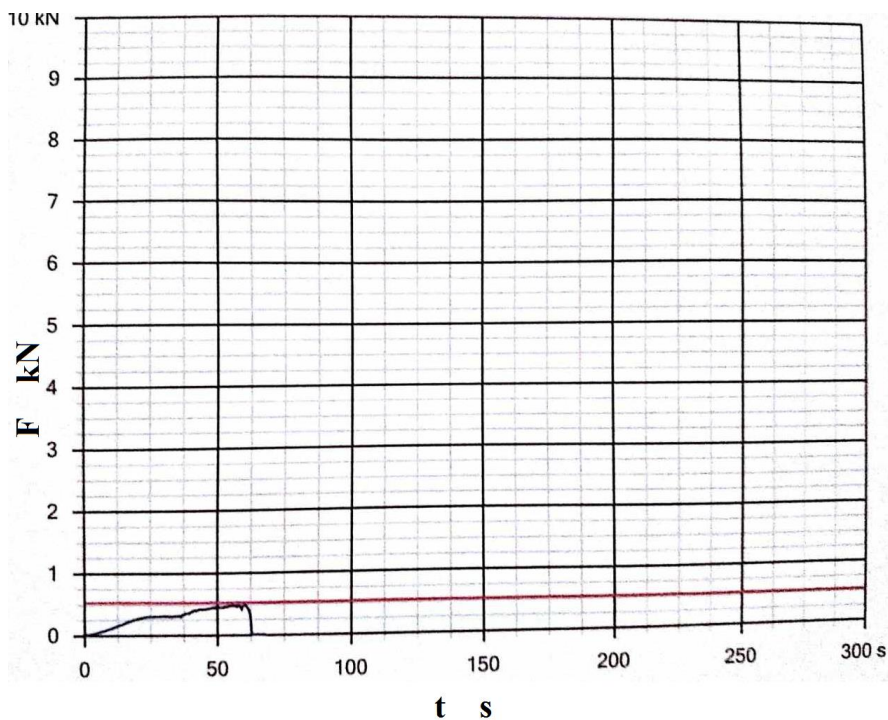
b)



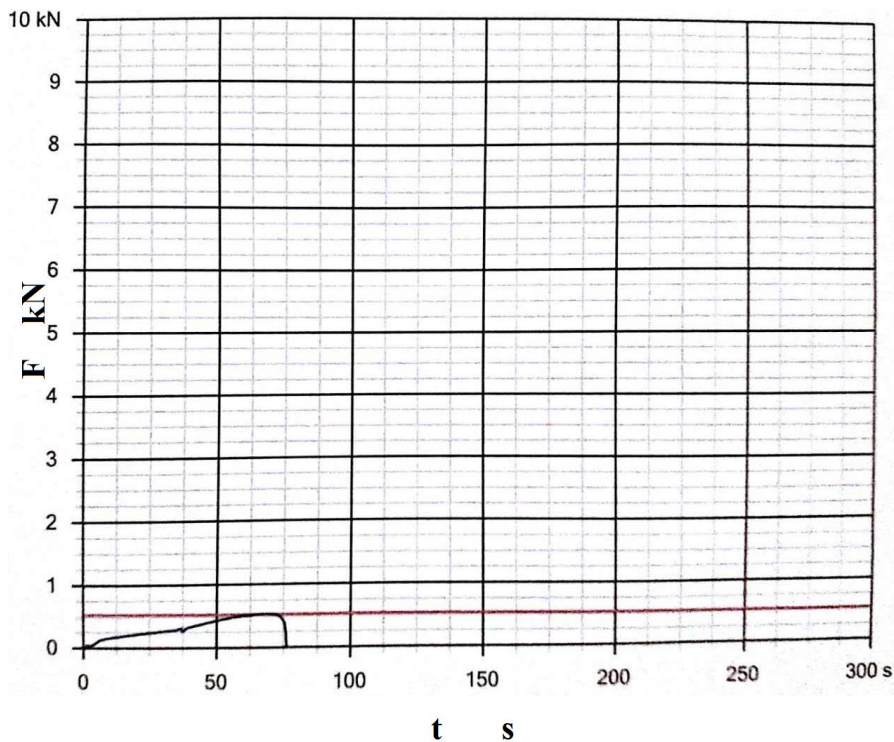
**Slika 9. Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) uzorak poslije ispitivanja**

Tijekom ispitivanja, vrijednost sile koja se postiže na ispitnom uređaju očitava se preko programa na računalu. Prije ispitivanja u programu je definirana garantirana vrijednost sile  $F$  (crvena linija u dijagramima) koju bi uzorci trebali izdržati. Na slikama od 10 do 15 prikazani su dijagrami sila – vrijeme ( $F - t$ ) svih 6 uzoraka iz unutarnjeg sloja.

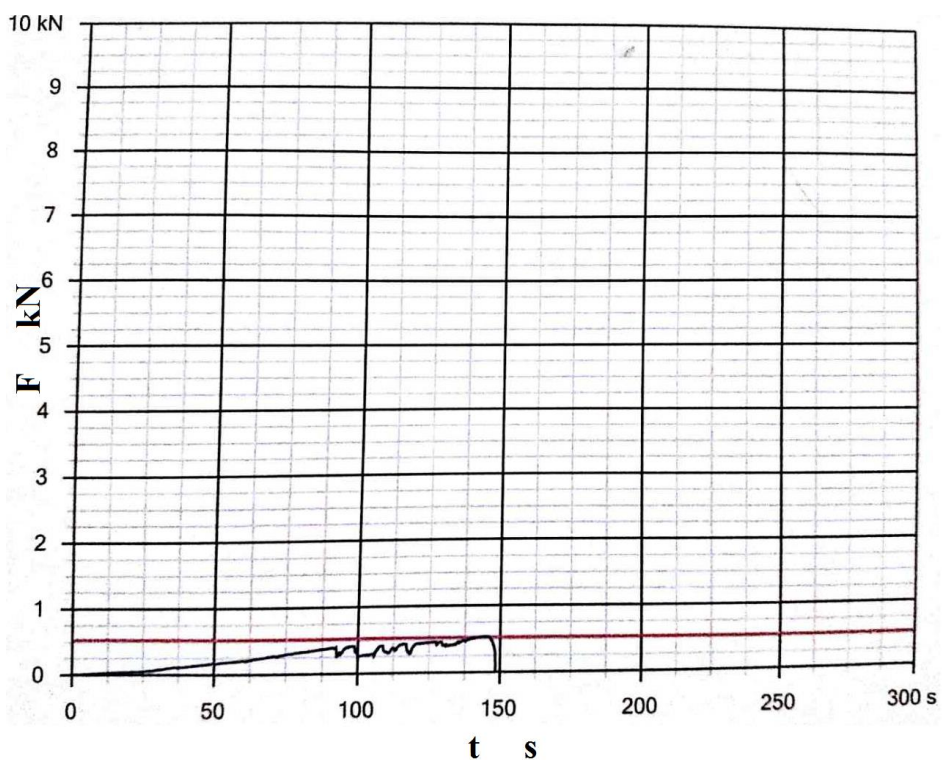
Ni jedan ispitaní uzorak ne zadovoljava uvjet prekidne sile jer su svi uzorci pucali pri silama manjim od 530 N.



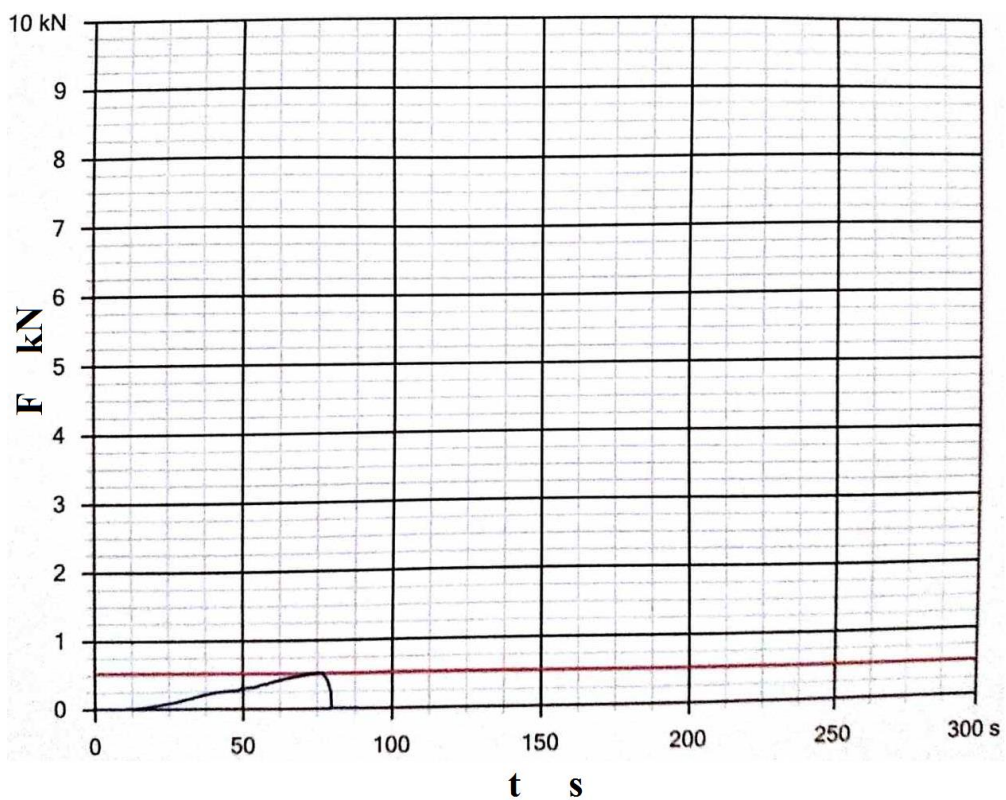
Slika 10. Dijagram  $F - t$  za uzorak 1.1 iz unutarnjeg sloja



Slika 11. Dijagram  $F - t$  za uzorak 1.2 iz unutarnjeg sloja

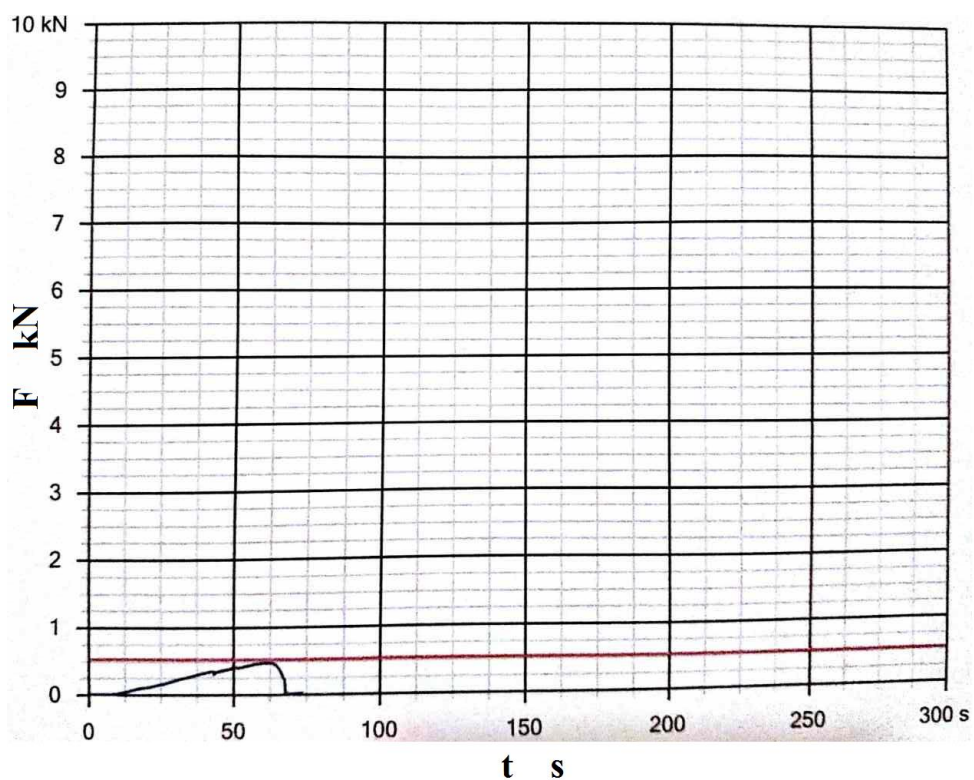


Slika 12. Dijagram  $F - t$  za uzorak 1.3 iz unutarnjeg sloja

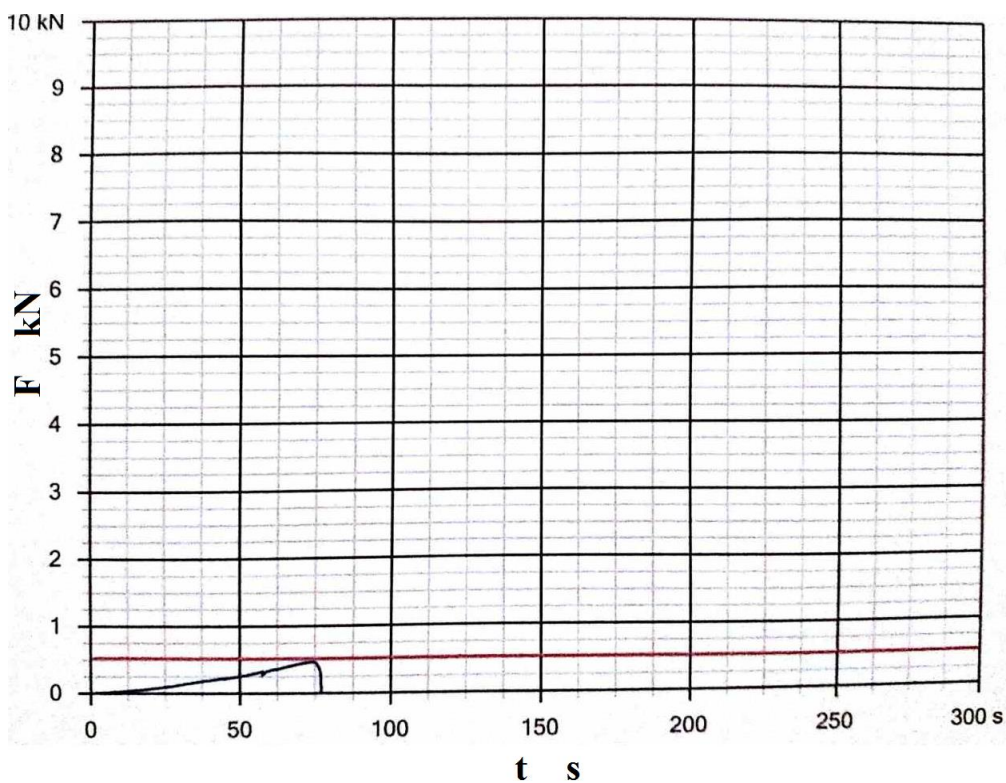


Slika 13. Dijagram  $F - t$  za uzorak 1.4 iz unutarnjeg sloja





Slika 14. Dijagram  $F - t$  za uzorak 1.5 iz unutarnjeg sloja



Slika 15. Dijagram  $F - t$  za uzorak 1.6 iz unutarnjeg sloja

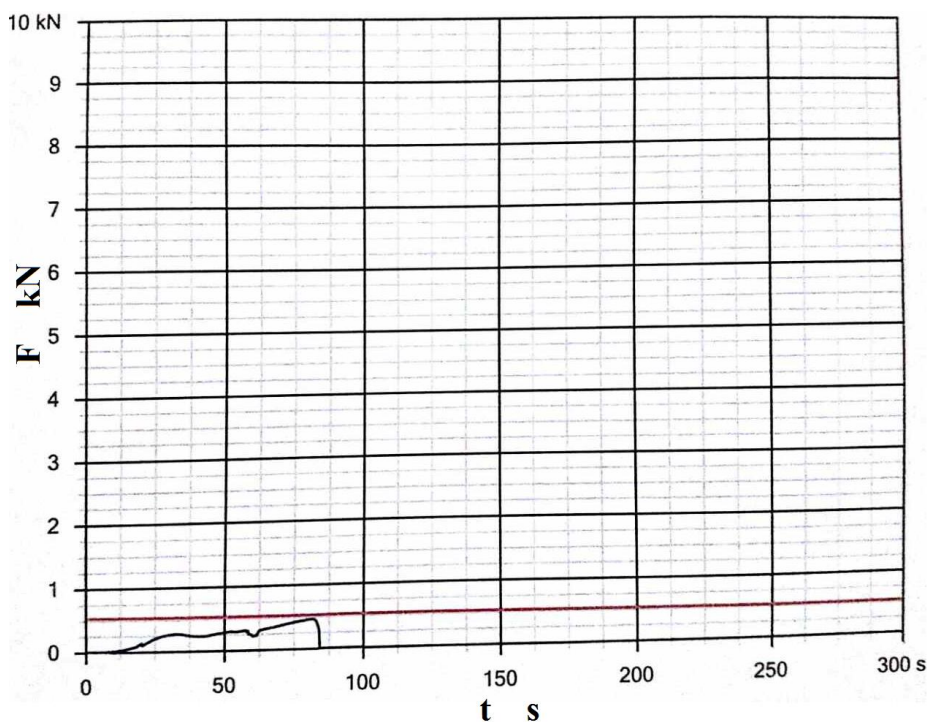
Rezultati ispitivanja za uzorke iz unutarnjeg sloja dani su u tablici 1.

**Tablica 1. Rezultati ispitivanja uzoraka žice unutarnjeg sloja**

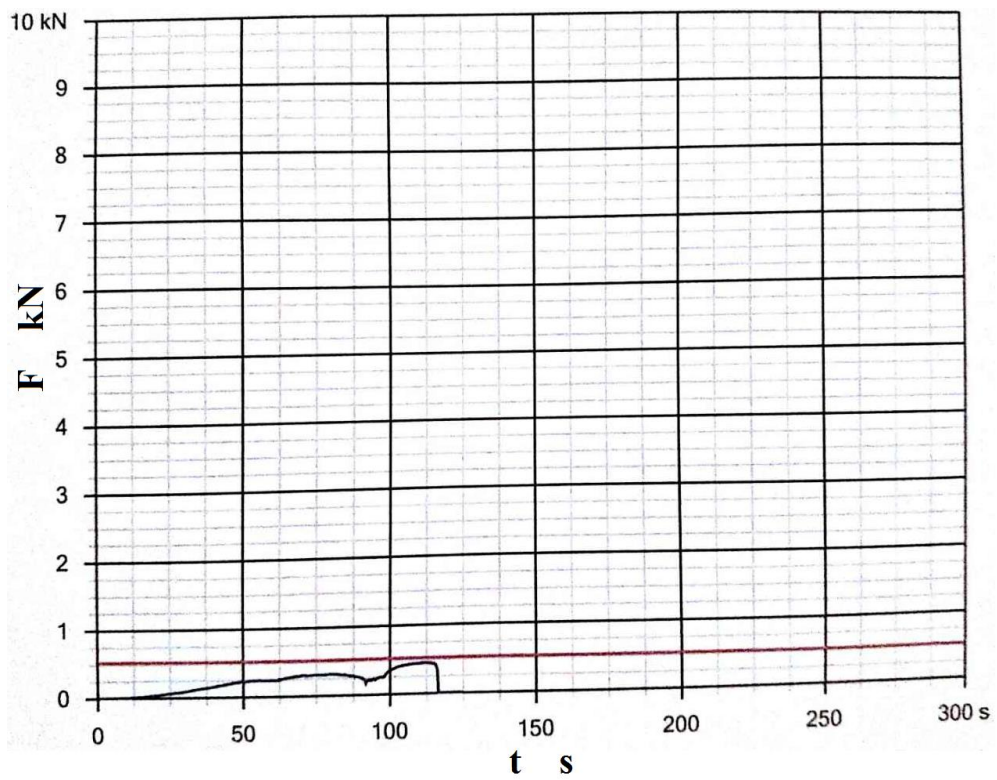
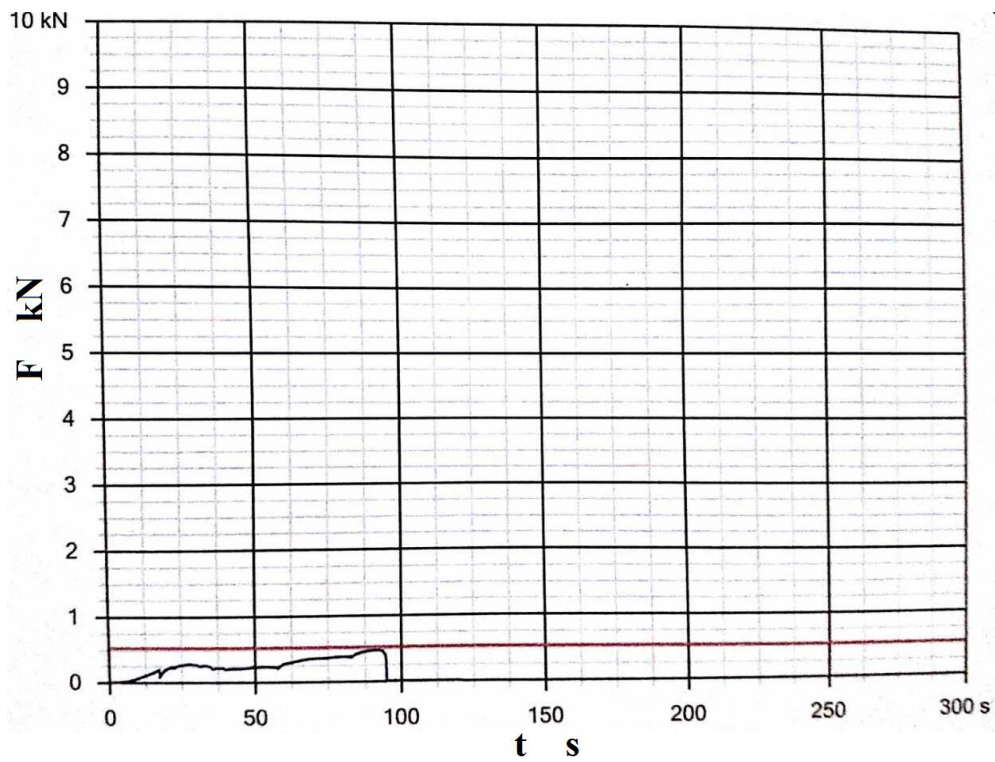
Redni broj uzorka	Promjer žice (mm)	Površina presjeka (mm <sup>2</sup> )	Prekidna sila (N)	Vlačna čvrstoća (MPa)	Zaključak
1.1	2,10	3,46	500	144,51	Ne zadovoljava uvjet prekidne sile i vlačne čvrstoće.
1.2	2,09	3,43	500	145,77	
1.3	2,08	3,40	500	147,06	
1.4	2,10	3,46	500	144,51	
1.5	2,11	3,49	500	143,27	
1.6	2,09	3,43	500	145,77	

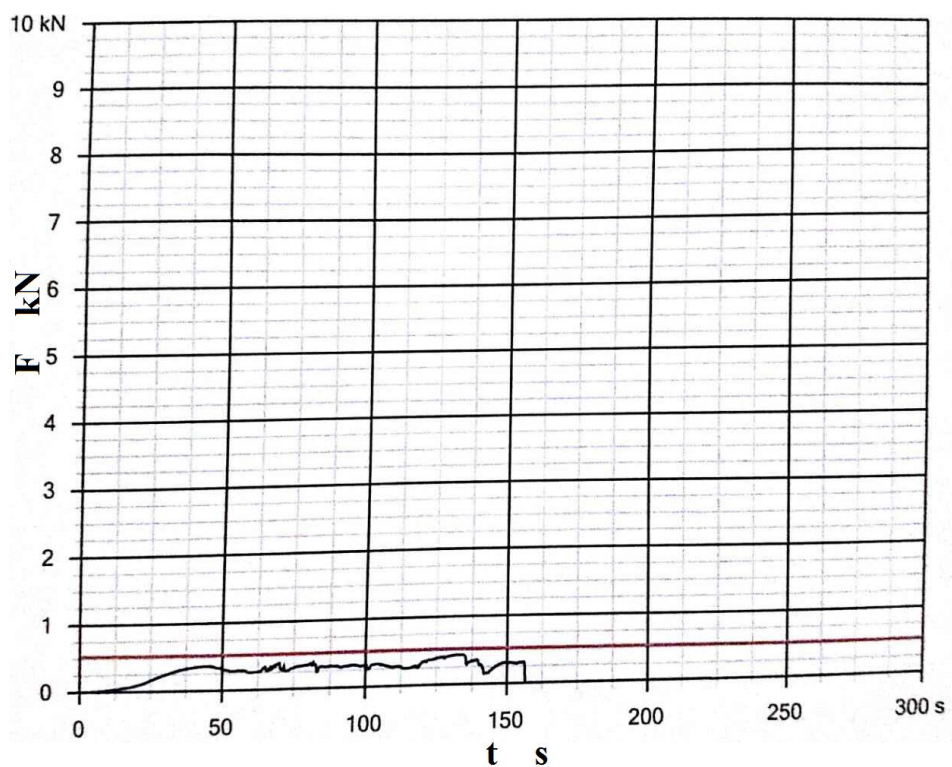
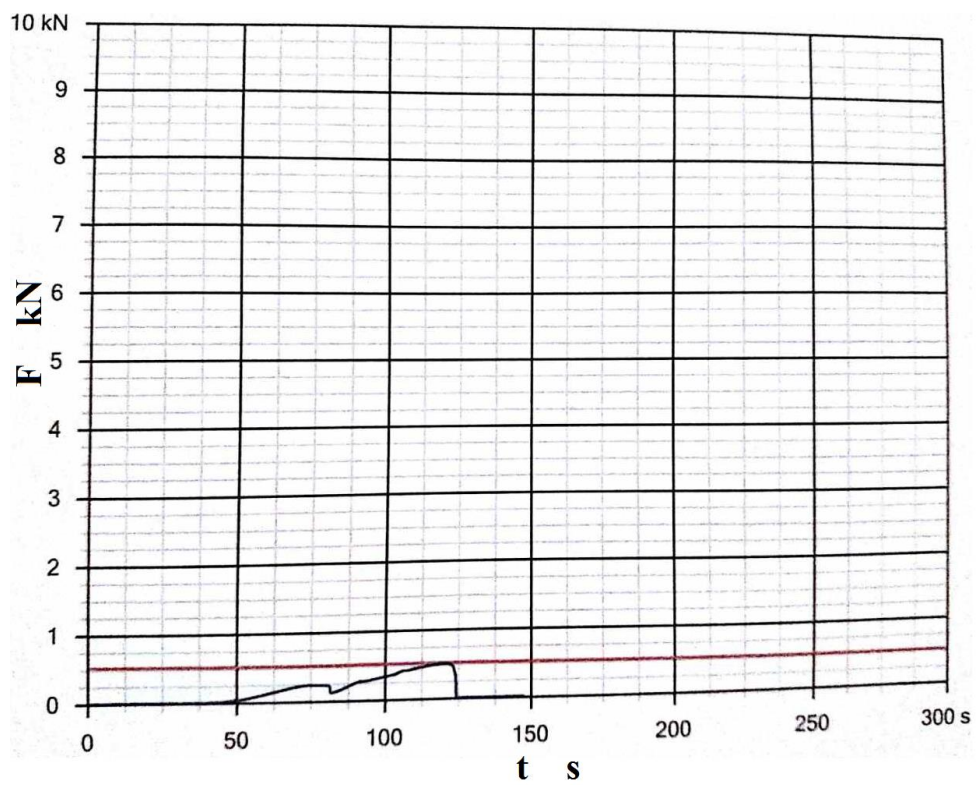
Isti postupak ispitivanja proveden je i s uzorcima vanjskog sloja vodiča.

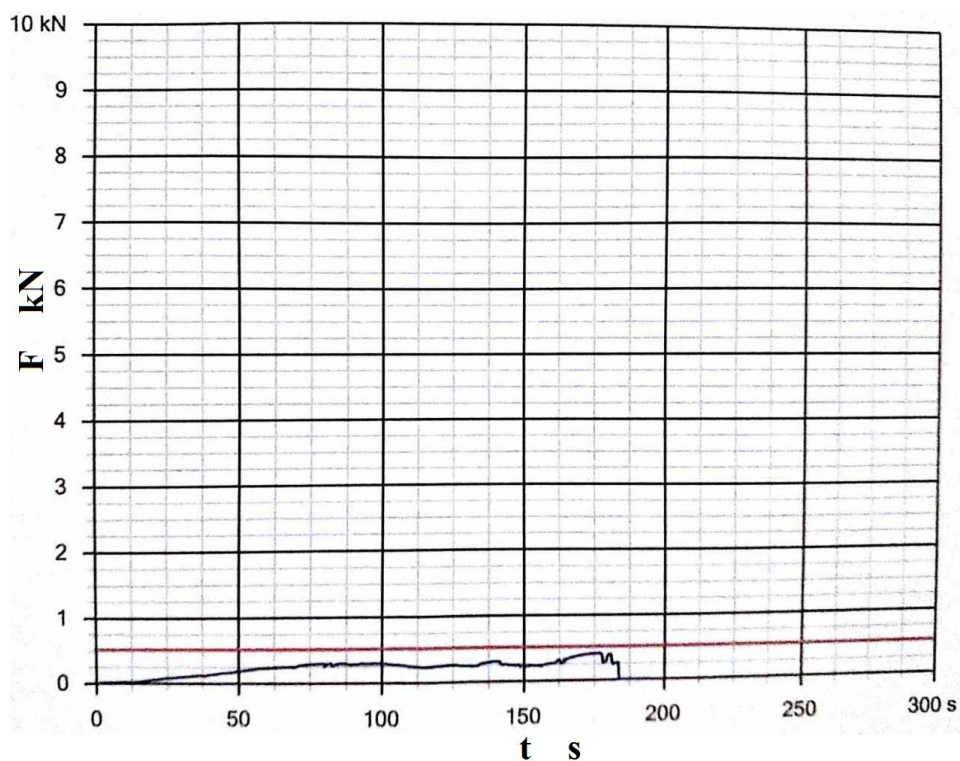
Na slikama od 16 do 21 prikazani su dijagrami ispitivanja sila – vrijeme uzorka žice iz vanjskog sloja.



**Slika 16. Dijagram F – t za uzorak 1.1 iz vanjskog sloja**

Slika 17. Dijagram  $F - t$  za uzorak 1.2 iz vanjskog slojaSlika 18. Dijagram  $F - t$  za uzorak 1.3 iz vanjskog sloja

Slika 19. Dijagram  $F - t$  za uzorak 1.4 iz vanjskog slojaSlika 20. Dijagram  $F - t$  za uzorak 1.5 iz vanjskog sloja



Slika 21. Dijagram F – t za uzorak 1.6 iz vanjskog sloja

Rezultati ispitivanja za uzorke iz vanjskog sloja vodiča dani su u tablici 2.

Tablica 2. Rezultati ispitivanja uzoraka žice vanjskog sloja

Redni broj uzorka	Promjer žice (mm)	Površina presjeka (mm <sup>2</sup> )	Prekidna sila (N)	Vlačna čvrstoća (MPa)	Zaključak
1.1	2,08	3,40	500	147,06	Ne zadovoljava uvjet prekidne sile i vlačne čvrstoće.
1.2	2,10	3,46	400	115,61	
1.3	2,09	3,43	500	145,77	
1.4	2,10	3,46	400	115,61	
1.5	2,09	3,43	500	145,77	
1.6	2,08	3,40	400	117,65	

Iz prikazanih rezultata je vidljivo da uzorci žice vanjskog sloja također ne zadovoljavaju uvjet prekidne sile i vlačne čvrstoće definiran normom.

### 3.3 Sila izvlačenja vodiča iz stezaljke pri 95 % vrijednosti prekidne sile

Ispitivanje izvlačenja vodiča iz stezaljke pri 95%-tnoj vrijednosti prekidne sile provedeno je za različite momente pritezanja vijaka pri različitim temperaturama okoline prema normi IEC 61284 [5]. Maksimalna garantirana prekidna sila za ispitivani vodič prema normi BS EN 50182 iznosi 11,25 kN [3]. Temperature na kojima su provedena ispitivanja iznosile su  $-5^{\circ}\text{C}$  i  $+35^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.3.1 Sila izvlačenja vodiča iz stezaljke pri temperaturi $-5^{\circ}\text{C}$

Mjerenje sile izvlačenja izvršeno je kod pritezanja U vijaka M10 s momentima pritezanja od 20 Nm, 25 Nm i 30 Nm [Slika 22.] na temperaturi od  $-5^{\circ}\text{C}$ . Ispitivanje je provedeno na 3 uzorka. Pod uzorkom se u ovom slučaju podrazumijeva vodič s pričvršćenim stezaljkama na krajevima [Slika 23.]. Temperatura od  $-5^{\circ}\text{C}$  postignuta je držanjem stezaljki i vodiča na vanjskoj temperaturi okoline. Za pritezanje je korišten moment ključ, a temperatura uzoraka je kontrolirana termometrom.



Slika 22. Pritezanje vijaka stezaljke s momentom 20 Nm



**Slika 23. Uzorak za ispitivanje sile izvlačenja vodiča**

Prihvat uzorka s momentom pritezanja vijaka od 20 Nm prikazan je na slici 24. a). Tijekom ispitivanja došlo je do izvlačenja vodiča Al 70 mm<sup>2</sup> iz stezaljke što je vidljivo na detaljima A i B slike 24. b).

a)

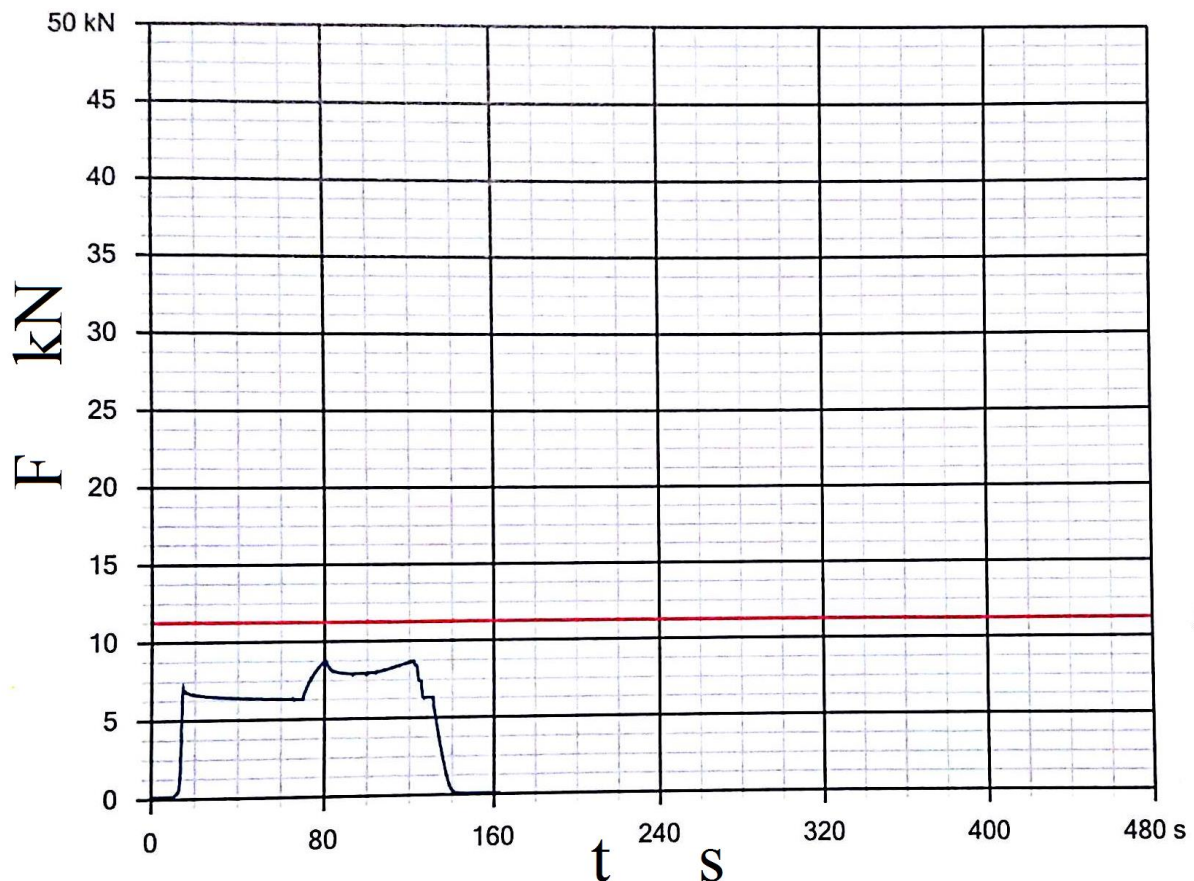


b)



**Slika 24. Ispitivanje na kidalici: a) prihvat uzorka na kidalici, b) izvlačenje vodiča iz stezaljke**

Sila izvlačenja kod uzorka s momentom pritezanja 20 Nm iznosila je 8,7 kN, a dijagram promjene sile tijekom vlačnog eksperimenta prikazan je na slici 25.



Slika 25. Dijagram F – t za uzorak s momentom pritezanja 20 Nm pri -5°C

Kao i za prethodni uzorak prvo je izvršeno pritezanje U vijaka s momentom 25 Nm pomoću moment ključa pri temperaturi -5°C.

Na slici 26. a) prikazan je ispitni uzorak prije ispitivanja, dok je uzorak nakon ispitivanja prikazan na slici 26. b). Iz detalja A na slici 26. b) je vidljivo da je pri momentu pritezanja vijaka s 25 Nm došlo do pucanja vodiča na izlazu iz stezaljke.

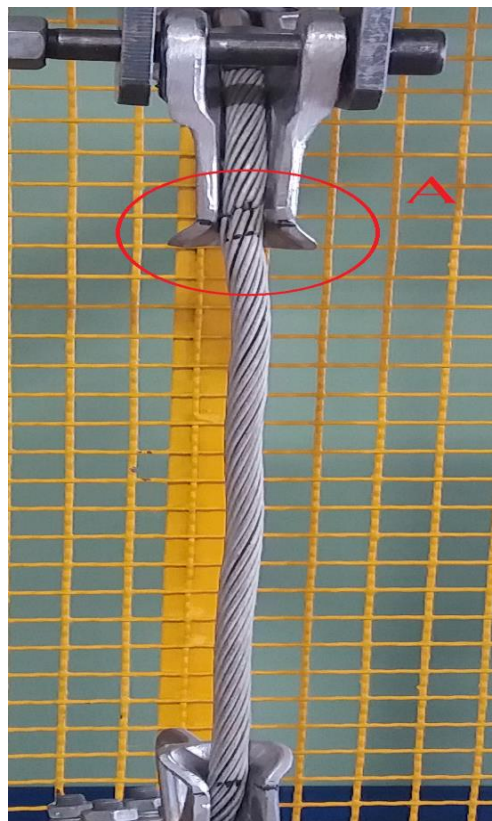
Maksimalna postignuta sila iznosila je 10 kN, a dijagram promjene sile tijekom opterećivanja dan je na slici 27.



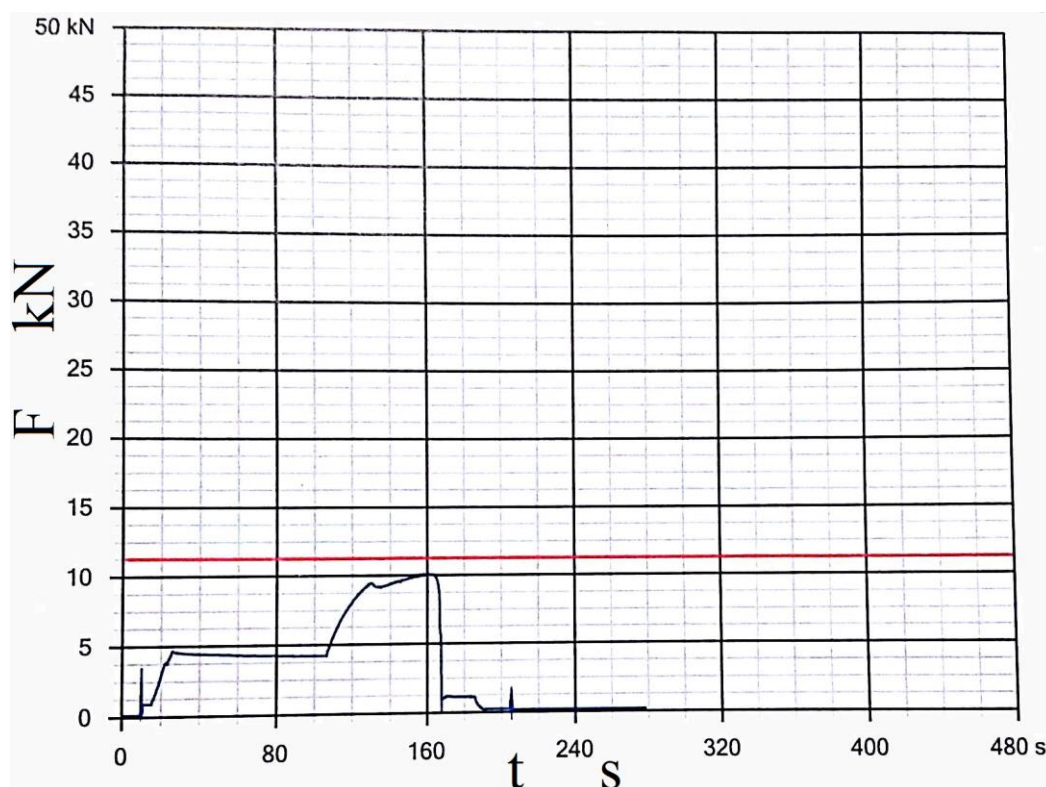
a)



b)

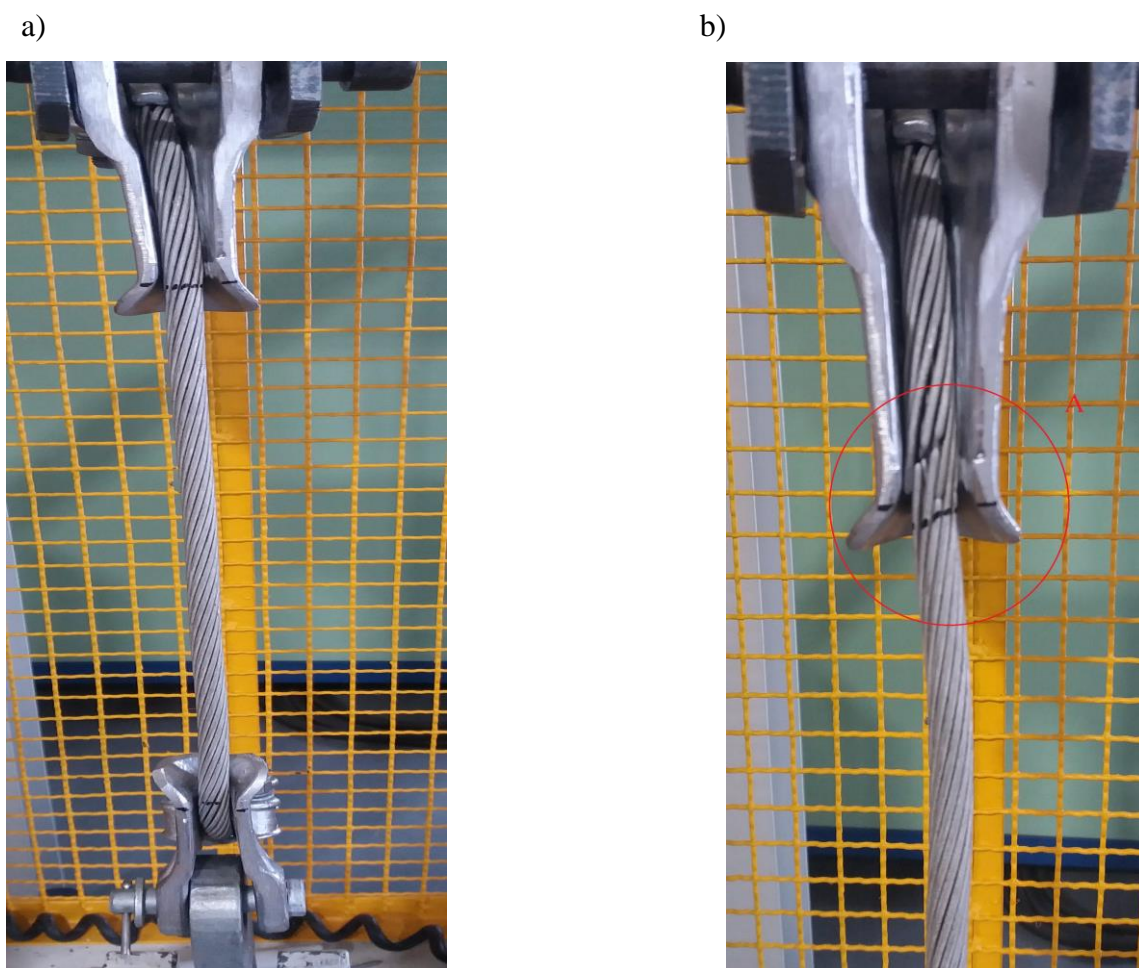


Slika 26. Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) pucanje vodiča nakon ispitivanja

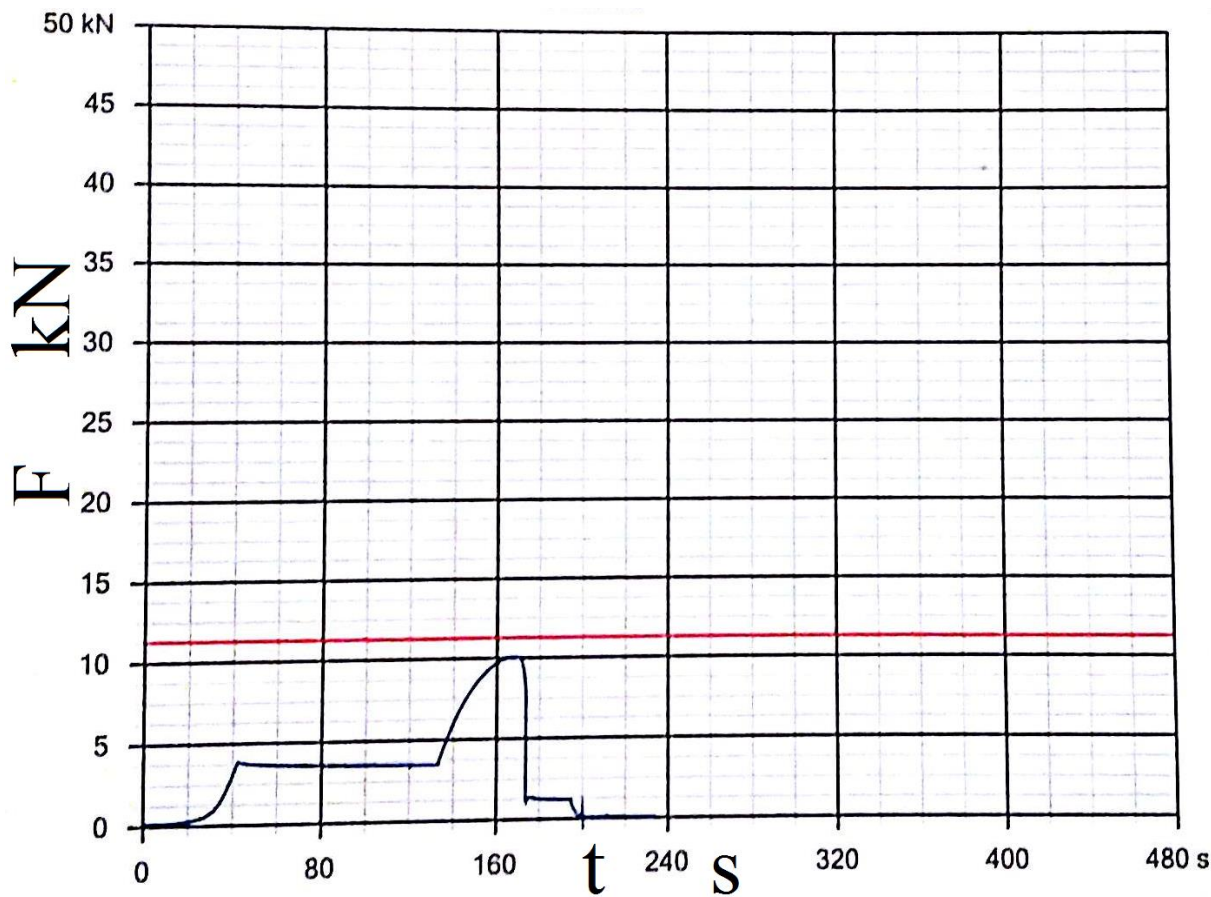


Slika 27. Dijagram  $F - t$  za uzorak s momentom pritezanja 25 Nm pri  $-5^{\circ}\text{C}$

Postupak ispitivanja uzorka s momentom pritezanja vijaka od 30 Nm je bio isti kao i kod prethodnih uzoraka. Pozicionirani uzorak na kidalici prije ispitivanja prikazan je na slici 28. a). Tijekom ispitivanja došlo je do pucanja vodiča na izlazu iz stezaljke što prikazuje detalj A na slici 28. b). Pucanje vodiča je nastupilo pri sili od 10 kN. Ovakav rezultat je bio očekivan budući da je do pucanja vodiča došlo već pri momentu pritezanja vijaka stezaljke s 25 Nm. Dijagram sila – vrijeme prikazan je na slici 29.



**Slika 28. Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) uzorak nakon vlačnog ispitivanja**



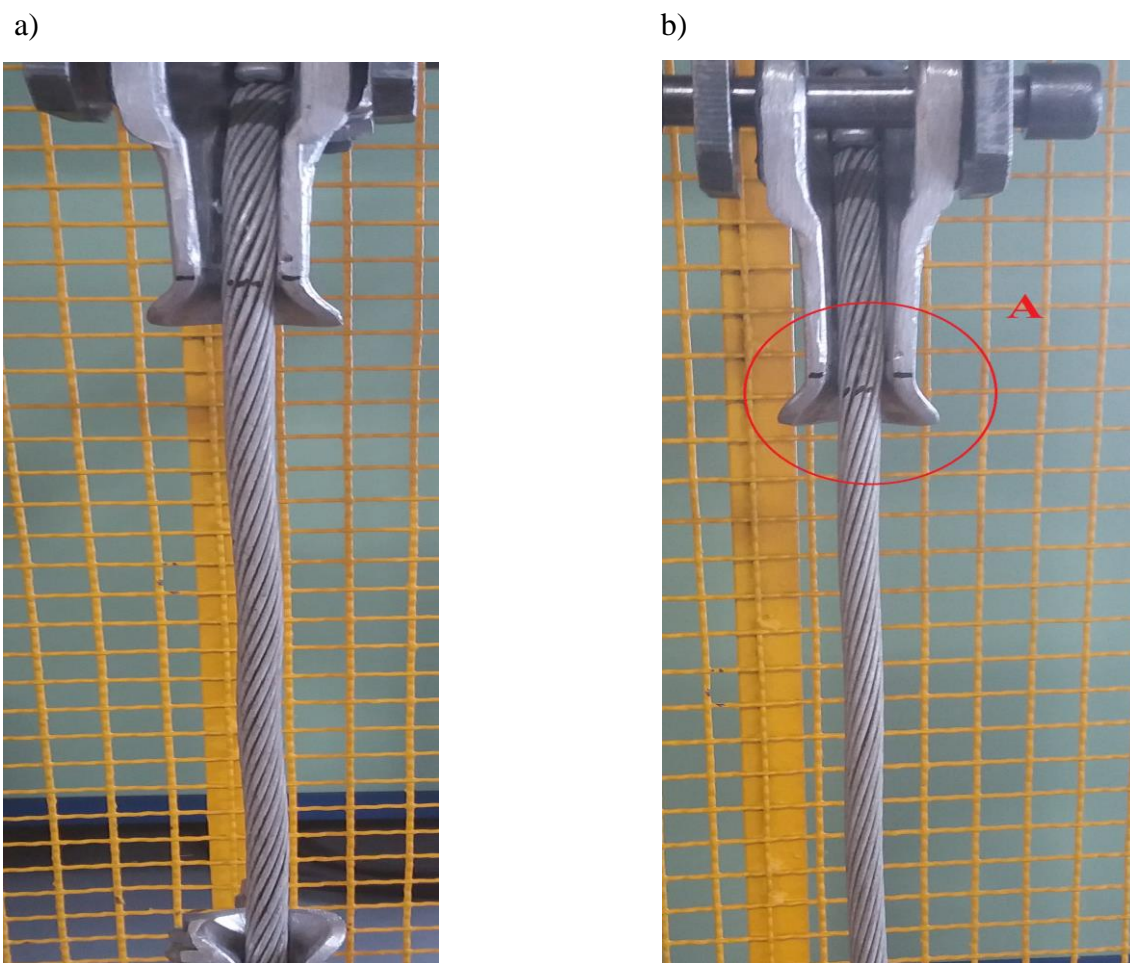
Slika 29. Dijagram F – t za uzorak s momentom pritezanja 30 Nm pri  $-5^{\circ}\text{C}$

### 3.3.2 Sila izvlačenja vodiča iz stezaljke pri temperaturi $+35^{\circ}\text{C}$

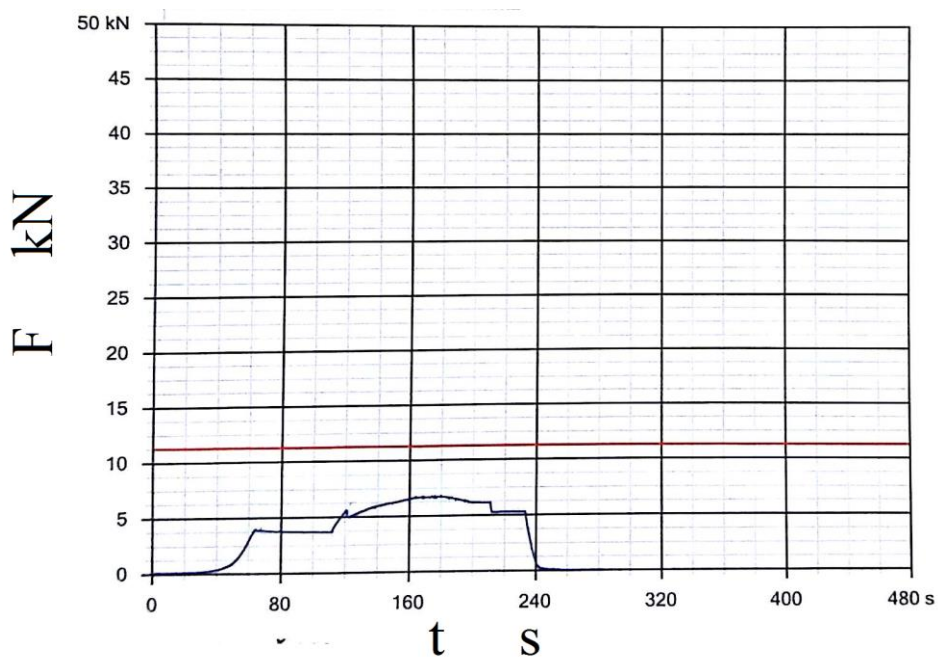
Ispitivanje uzoraka na  $+35^{\circ}\text{C}$  je provedeno pritezanjem U vijaka M10 s momentima od 15 Nm, 20 Nm, 25 Nm. Sila izvlačenja za svaki moment pritezanja ispitana je na tri uzorka. Temperatura od  $+35^{\circ}\text{C}$  postignuta je stavljanjem stezaljki i vodiča u komoru za zagrijavanje. Pritezanje vijaka stezaljke se vršilo s moment ključem, a temperatura u komori je kontrolirana pomoću termometra.

Na slici 30. a) prikazan je uzorak pozicioniran na kidalici nakon pritezanja vijaka stezaljke s momentom od 15 Nm. Tijekom vlačnog opterećenja vodič se izvukao iz stezaljke pri sili od 6,7 kN ( detalj A na slici 30. b) ).

Dijagram promjene sile tijekom eksperimenta prikazan je na slici 31.

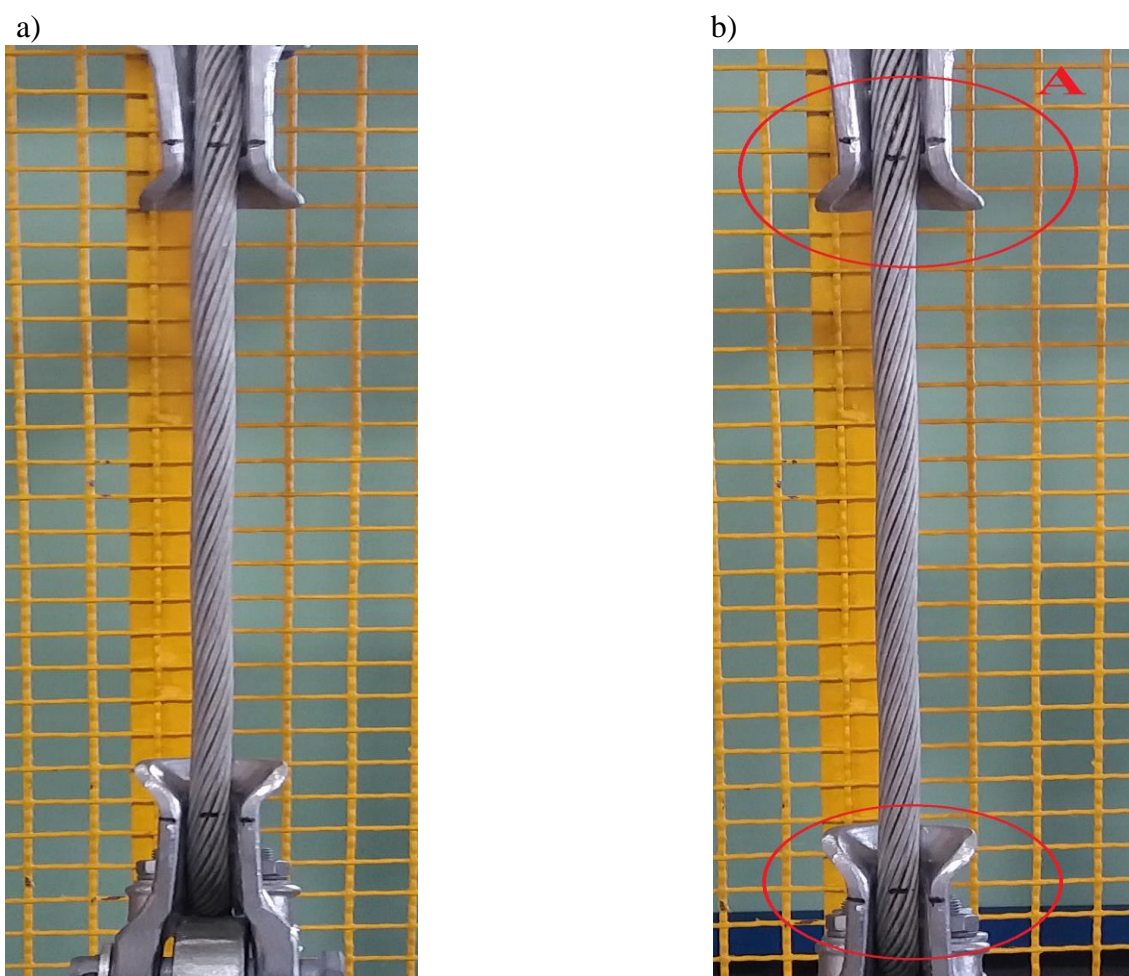


Slika 30. Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) izvlačenje vodiča iz stezaljke

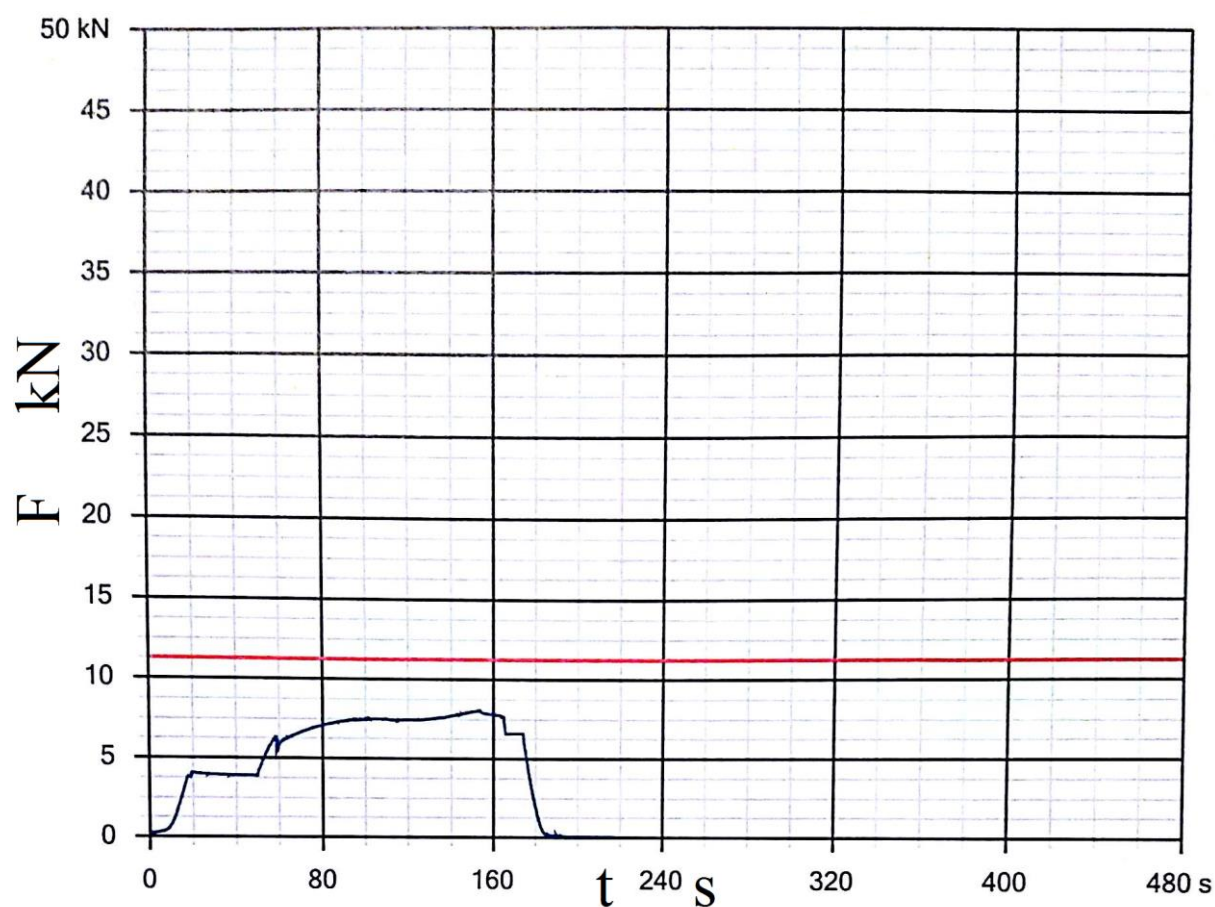


Slika 31. Dijagram  $F - t$  za uzorak s momentom pritezanja 15 Nm pri  $+35^{\circ}\text{C}$

Sila izvlačenja vodiča iz zatezne stezaljke kod uzorka s momentom pritezanja vijaka s 20 Nm pri +35°C ispitana je na isti način kao i kod prethodnog uzorka. Uzorak pozicioniran u kidalici prije ispitivanja prikazan je na slici 32. a), dok je uzorak nakon ispitivanja vidljiv na slici 32. b). Kod vlačnog opterećenja došlo je do izvlačenja vodiča iz stezaljke ( detalj A na slici 32. b)), a maksimalna postignuta sila je nešto veća nego kod uzorka s momentom od 15 Nm i iznosi 8 kN. Dijagram sila – vrijeme prikazan je na slici 33.



**Slika 32. Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) uzorak nakon ispitivanja**



Slika 33. Dijagram  $F - t$  za uzorak s momentom pritezanja 20 Nm pri  $+35^{\circ}\text{C}$

Najveći moment pritezanja vijaka stezaljke pri  $+35^{\circ}\text{C}$  iznosio je 25 Nm. Uzorak u prihvatu kidalice prije opterećivanja prikazan je na slici 34. a), a nakon ispitivanja na slici 34. b). Za razliku od prethodna 2 uzorka (uzorci s 15 Nm i 20 Nm) došlo je do pucanja vodiča na izlazu iz zatezne stezaljke (detalj A na slici 34. b)).

Maksimalna postignuta vlačna sila iznosila je 8,3 kN, a dijagram  $F - t$  prikazan je na slici 35.

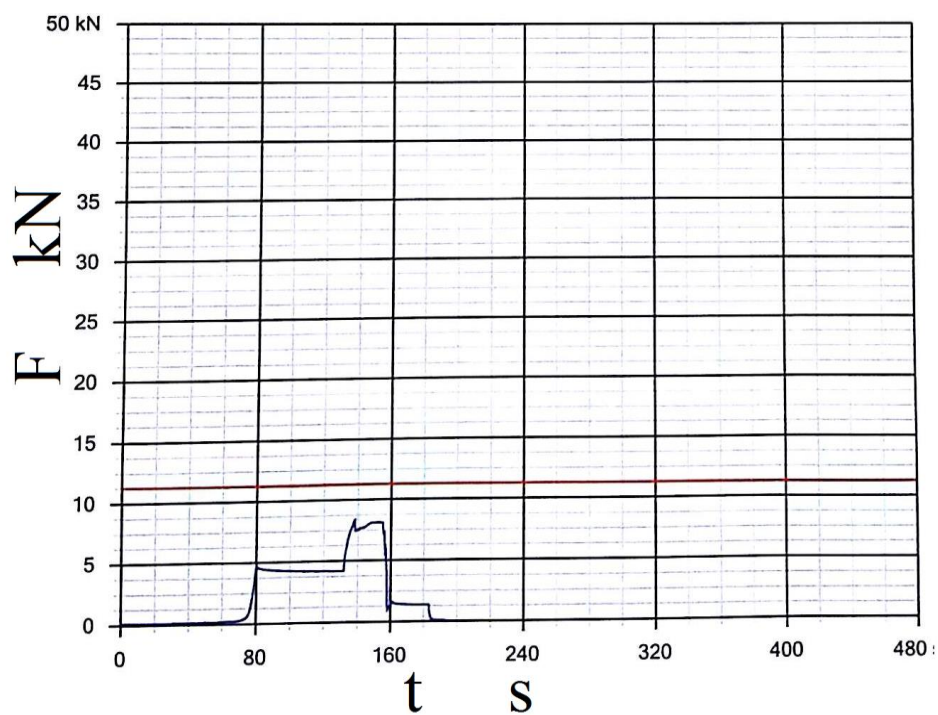
a)



b)



Slika 34. Ispitivanje na kidalici: a) uzorak prije ispitivanja, b) popuštanje vodiča na izlazu iz stezaljke



Slika 35. Dijagram  $F - t$  za uzorak s momentom pritezanja 25 Nm pri +35°C

Dobiveni rezultati su slični onima pri temperaturi ispitivanja od  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Pri svakoj temperaturi ispitivanja kod momenta od 20 Nm vodič se izvlači iz stezaljke, a kod momenta od 25 Nm dolazi do pucanja vodiča.

Što se maksimalnih sila izvlačenja i pucanja vodiča tiče, vidljivo je da su vrijednosti veće kod ispitivanja pri  $-5^{\circ}\text{C}$ .

### 3.4 Mehaničko ispitivanje stezaljke na vlak pri dozvoljenoj sili s odgovarajućim alatom bez vodiča

Kako bi se provjerila kvaliteta same stezaljke izvršeno je mehaničko ispitivanje na vlak s odgovarajućim alatom bez vodiča. Stezaljka, zajedno s odgovarajućim alatom vlačno je opterećena do loma. Vrijednost sile koju stezaljke trebaju zadovoljiti je 40 kN prema normi CEI IEC 61284 [5]. Ispitivanje je provedeno s tri uzorka pritezana momentom od 25 Nm na sobnoj temperaturi  $+20^{\circ}\text{C}$ .

Najprije je napravljen odgovarajući alat (vijak), koji je zamijenio mali klin, pomoću kojega je stezaljka opterećena [Slika 36.]. Nakon toga uzorak je postavljen na ispitni uređaj [Slika 37.].



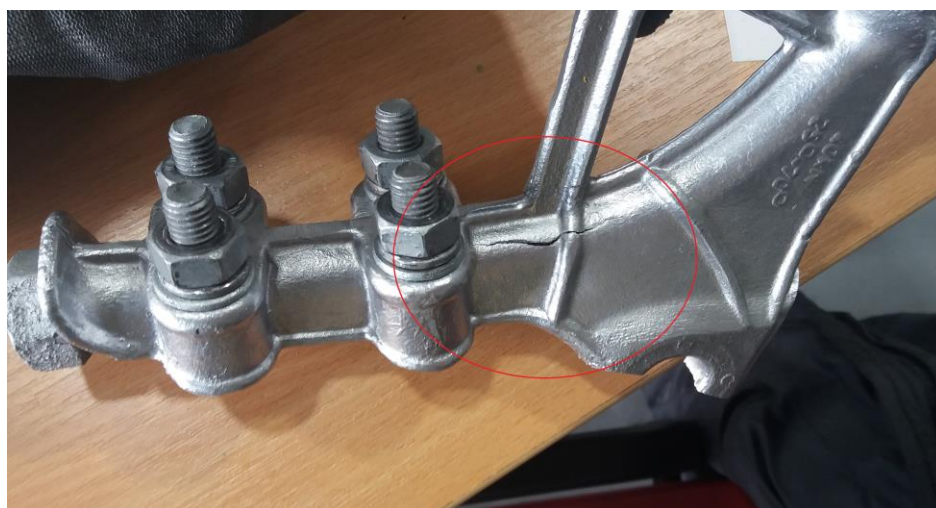
**Slika 36. Uzorak s odgovarajućim alatom pritegnut s 25 Nm**





**Slika 37. Ispitivanje uzorka na kidalici**

Svi uzorci su pucali na istim mjestima, na samom tijelu stezaljke [Slika 38.] i na mjestu svornjaka [Slika 39.].

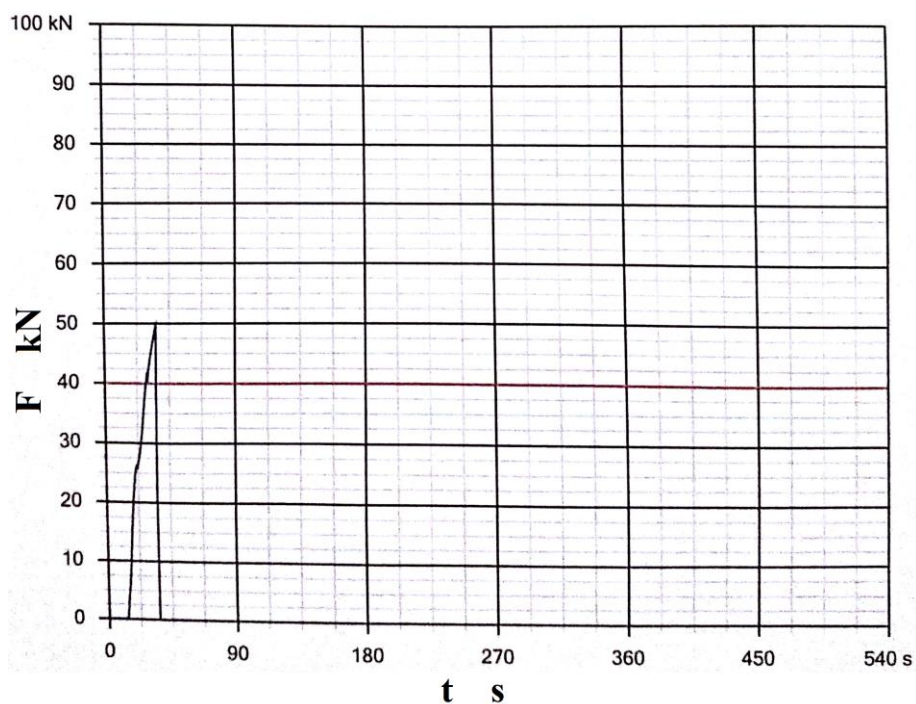


**Slika 38. Lom na tijelu stezaljke**

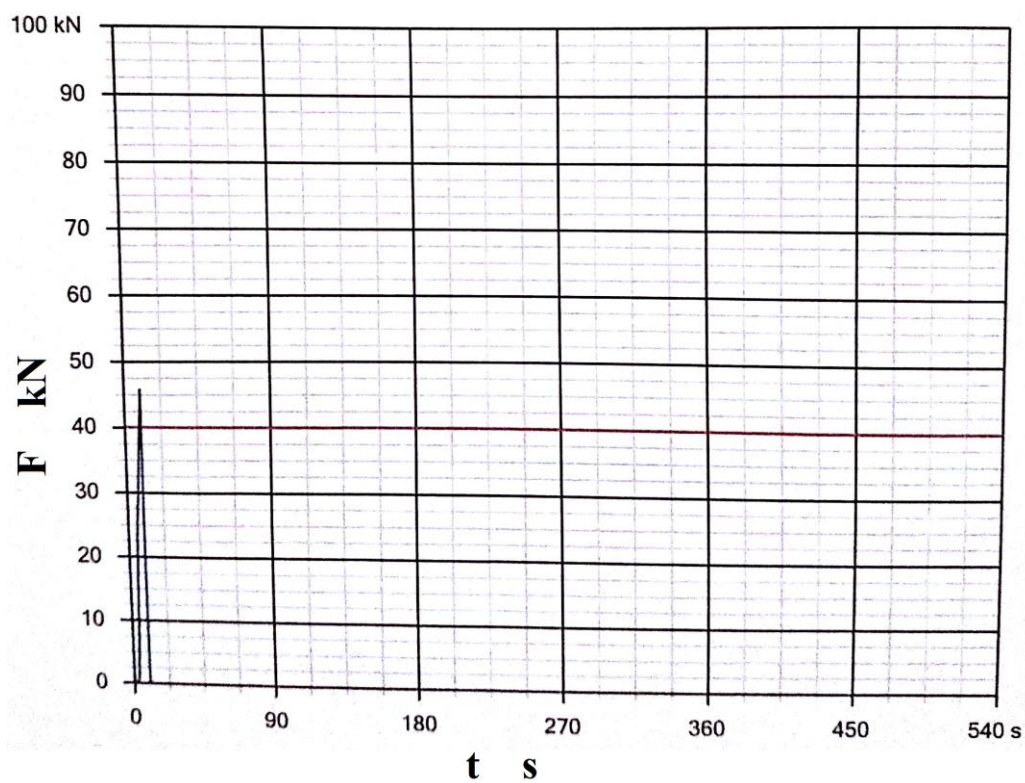


**Slika 39. Lom stezaljke na mjestu svornjaka**

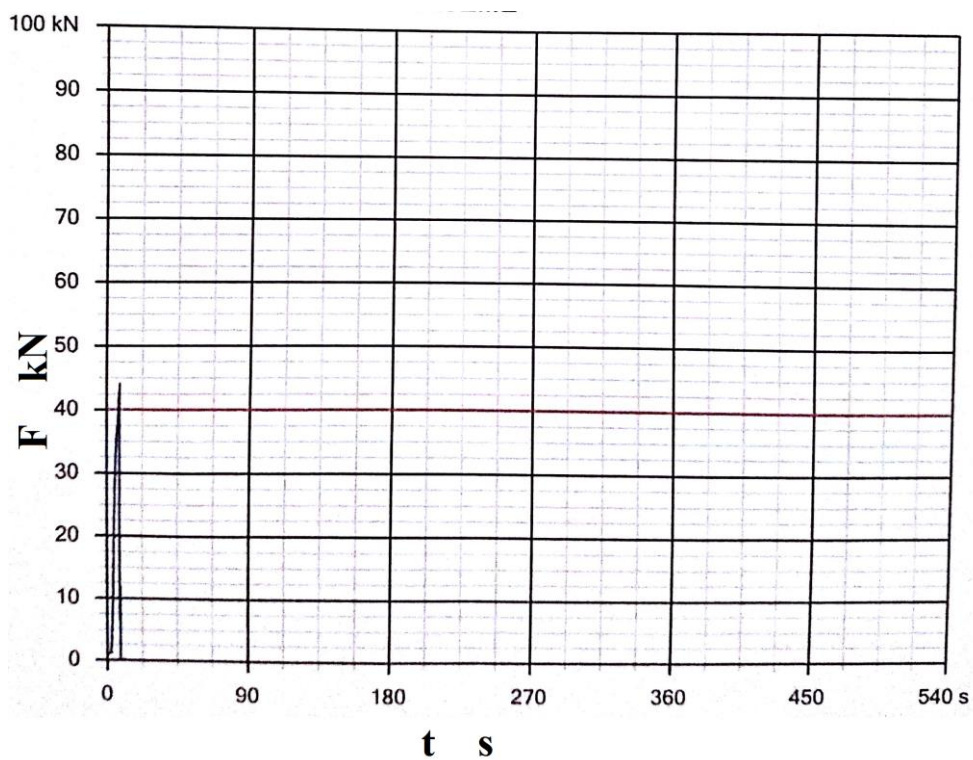
Uzorci koji su ispitani zadovoljili su uvjet prekidne sile čime je dokazana kvaliteta ovih zateznih stezaljki. Dijagrami ispitivanja za sva tri uzorka prikazani su na slikama 40, 41 i 42.



**Slika 40. Prvi uzorak – ostvarena sila od 49,6 kN**



Slika 41. Drugi uzorak – ostvarena sila od 44,1 kN



Slika 42. Treći uzorak – ostvarena sila od 42,4 kN

## 4 ZAKLJUČAK

Cilj ovog završnog rada bio je ispitati mehanička svojstva zatezne stezaljke i samog vodiča za srednje napone do 10 kV te odrediti silu izvlačenja vodiča iz stezaljke za različite momente pritezanja vijaka pri uobičajenim temperaturama okoline za potrebe tvrtke Metal Product d.o.o.

Na temelju rezultata ispitivanja mogu se navesti sljedeći zaključci:

1. Žice vanjskog i unutarnjeg sloja vodiča Al 70 mm<sup>2</sup> ispitani su prema normi EN 60889:1997 prema kojoj prekidna sila treba iznositi najmanje 0,53 kN. Niti jedan ispitani uzorak nije zadovoljio zahtjev norme jer je prekidna sila kod svih uzoraka bila manja od 0,5 kN.
2. Rezultati ispitivanja sile izvlačenja vodiča iz stezaljke su pokazali, da pri temperaturi od -5°C moment pritezanja vijaka treba iznositi do 25 Nm. Do te vrijednosti žica se izvlači iz stezaljke, dok kod većih momenata dolazi do trajnog oštećenja i loma vodiča.
3. Pri temperaturi ispitivanja +35°C maksimalni moment pritezanja vijaka stezaljke, kao i pri temperaturi od -5°C, može imati vrijednost do 25 Nm. Iznad te vrijednosti momenta vodič se oštećuje i dolazi do loma.  
Što se maksimalnih sila izvlačenja i sila pucanja vodiča tiče, iz dobivenih rezultata je vidljivo da su vrijednosti veće kod ispitivanja pri -5°C.
4. Vlačno ispitivanje stezaljke s odgovarajućim alatom bez vodiča provedeno je s tri uzorka na sobnoj temperaturi. Rezultati ispitivanja su pokazali da stezaljka zadovoljava uvjet norme, odnosno da je iznos prekidne sile veći od 40 kN. Uvjet su zadovoljila sva tri ispitana uzorka.

Rezultati ispitivanja koja su provedena u okviru ovog rada poslužit će za poboljšanja i razvoj sličnih proizvoda srednjeg napona tvrtke Metal Product d.o.o.

## **LITERATURA**

- [1] Goić, R., Jakus, D., Penović, I., Distribucija električne energije, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, 2008.
- [2] Metal Product d.o.o – Katalog: izolatorski lanci do 35 kV, 2007.
- [3] BS EN 50182, Conductors for overhead lines – Round wire concentric lay stranded conductors, 2001.
- [4] EN 60889, Hard – drawn aluminium wire for overhead line conductors, 1997
- [5] CEI IEC 61284, Overhead lines – Requirements and test for fittings, 1997

## **PRILOZI**

I. CD-R disc