Mjerenje sile na gredu pomoću elektrootpornih traka

Hadjar, Franjo

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:228878

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository

Sveučilište Sjever

Završni rad br. 475/EL/2020

Mjerenje sile na gredu pomoću elektrootpornih traka

Franjo Hadjar, 1959/601

Varaždin, Listopad 2020. godine

Sveučilište
Sjever

Odjel za Elektrotehniku

Završni rad br. 475/EL/2020

Mjerenje sile na gredu pomoću elektrootpornih traka

Student

Franjo Hadjar, 1959/601

Mentor

mr.sc.Ivan Šumiga,dipl.ing.el.

Varaždin, Listopad 2020. godine

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR–42000 Varaždin

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za elektrotehniku

STUDIJ preddiplomski stručni studij Elektrotehnika

PRISTUPNIK Franjo Hadjar | MATIČNI BROJ 1959/601

DATUM 14.09.2020 | KOLEGIJ Mjerenja u elektrotehnici

NASLOV RADA Mjerenje sile na gredu pomoću elektrootpornih traka

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Measurement of joist force using electrical resistance strips

MENTOR mr. sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.el. | ZVANJE viši predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc. dr. sc. Dunja Srpak, dipl.ing.el.
2. Miroslav Horvatić, dipl.ing.el., predavač
3. mr. sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.el., viši predavač
4. Josip Srpak, dipl.ing.el., predavač, - rezervni član
5.

Zadatak završnog rada

BROJ 475/EL/2020

OPIS

U metalnim konstrukcijama bitno je izmjeriti silu koja djeluje na kritične elemente. Najčešće su to grede različitih profila izrađene iz materijala prikladnog za određenu konstrukciju. Činjenica da greda pod opterećenjem mijenja dimenzije, koristi se za odabir senzora pomoću kojih se ta opterećenja detektiraju. Zbog jednostavnosti, pouzdanosti i niske cijene često se koriste elektrootporne mjerne trake zalijepljene na gredu. Mala promjena dimenzija grede uzrokuje promjenu u presjeku trake, a time i električnog otpora trake.

U radu je potrebno:

- opisati fizikalne veličine koje su bitne za ponašanje grede neke konstrukcije
- opisati posupak lijepljenja mjerne trake na mjerni element
- montirati gredu na didaktički uređaj i opteretiti je na sredini utezima
- za detekciju opterećenja grede mjerne trake spojiti u Wheatstoneov most
- koristeći karticu za akviziciju mjernih podataka i programa LabWiew, pojačanu promjenu napona Wheatstoneova mosta obraditi pomoću računala te grafički prikazati vezu sile i napona
- komentirati dobivene eksperimentalne rezultate.

ZADATAK URUČEN 21.09.2020. | POTPIS MENTORA

SVEUČILIŠTE SJEVER

Predgovor

Zahvaljujem se mentoru profesoru Ivanu Šumigi na pomoći, susretljivosti i strpljenju prilikom izrade završnog rada. Također zahvala i profesorici Katarini Pisačić te ostalim profesorima koji su sudjelovali kod izrade završnog rada, kao i mojim ukućanima na potpori i strpljenju tijekom izrade završnog rada kao i kod čitavog mojeg školovanja.

Sažetak

Ideja završnog rada bila je prikazati djelovanje sile na gredu Didaktičkog uređaja, koji ima svrhu edukativnog pomagala. Za tu namjenu su korištene elektrootporne trake koje su instalirane na mjerni element načinjen od aluminija. Mjerni element je montiran na mjerni oslonac, a mjerni oslonac na didaktički uređaj. U radu su komponente i alati koji su korišteni da bi se dobilo željeno mjerenje. Provela su se ispitivanja na nekoliko mjernih elemenata, tanjih, debljih, kao i na plastici te aluminiju. Opisane su metode za bolji odziv, odnosno detekciju napona koje mjere elektrootporne mjerne trake, kao i spajanje pojačala sa mjernim trakama. Pred kraj rada je obrađen programski alat koji se koristi za prikaz rezultata mjerenja. Opisane su vrijednosti funkcije sile o naponu, te su obrađeni načini spajanja kartice za akviziciju mjernih podataka na računalo.

Abstract

The idea of the final work was to show action of force on the joist on the didactic appliance, which has the purpose of an educational apparatus. For this purpose electrical resistance tapes were used which were installed on a measuring element made of aluminum. The measuring element is mounted on the measuring support, and the measuring support on the didactic device. In the paper are the components and tools that were used to obtain the desired measurement. Tests were performed on the several measuring elements, thinner, ticker, as well as on plastic and aluminum. Methods for better response are described, apropos detection of voltage which is measured with electrical resistance tapes, ass well connection of amplifiers with measuring tapes. Towards the end of the work the software tool used to display measurment results was processed. The values of the voltage depends of force function are described, and the ways of the connecting the card for acquisition measurment data to a computer are discussed.

Ključne riječi: Elektrootporne mjerne trake, mjerni element, mjerni oslonac, programski alat za prikazivanje mjerenja, kartica za akviziciju mjernih podataka na računalo.

Keywords: Electrical resistance measuring tapes, measuring element, meassuring support, software tool for displaying measurements, card for data acquisition to a computer.

Sadržaj

1. Uvod.....1
2. Mjerenje sile i elektrootporne mjerne trake.....3

2.1. Metoda mjerenja sile.....4
2.2. Odabir mjerne trake.....5
2.3. Sila i povezane fizikalne veličine.....9

2.4. Tenzometri.....9
2.5. Mjerni element.....10
2.6. Elektrootpornički tenzometri.....11
2.7. Osnovni dijelovi elektrootpornih mjernih traka.....13
2.8. Opće značajke elektrootpornih mjernih traka.....14

3. Elektrootporne mjerne trake i ljepila 15

3.1. Vrste ljepila za lijepljenje mjernih traka.....15
3.2. Korištenje ljepila kod postavljanja mjernih traka.....17
3.3. Montiranje mjernih elemenata na mjerni oslonac i didaktički uređaj.....18

4. Upotreba Wheatsteonovog mosta za mjerenje naprezanja.....20

4.1. Wheatsteonov most i spajanje mjernih traka.....20
4.2. Metoda uravnoteženja mosta.....21
4.3. Mjerna pojačala i spajanje s mjernim trakama.....22

5. Prikazivanje ovisnosti napona o promjeni otpora.....24

5.1. Metoda linearne interpolacije 24
5.2. Kartica za akviziciju podataka 26
5.3. Program za prikazivanje eksperimentalnog mjerenja 27
5.4. Programiranje u Labview programu.....28

6. Zaključak.....32

Popis korištenih kratica

SI prema francuskom nazivu Système International d'Unités (Međunarodni sustav mjernih jedinica).

1. Uvod

Tema završnog rada je izmjeriti djelovanje sile na aluminijski profil, gredu, pomoću elektrootpornih traka. Svrha završnog rada je prikazati upotrebu elektrootpornih traka, te programskog alata pomoću kojeg prikazuju vrijednosti izmjerene s trakama.
Za završni rad je bilo važno da se odabere i pravilna mjerna traka, pa su opisane vrste mjernih traka te za što se koristi pojedini tip trake. Uz to je opisan tip mjerne trake koji je korišten u radu.
U radu se opisuje i spajanje pojačala sa mjernim trakama radi što boljeg odziva prilikom opterećenja konstrukcije, tj. profila.
Za bolje shvaćanje ili podsjetnik, na početku su opisane fizikalne veličine koje su bitne za završni rad, a to su sila, masa i težina.
Opisana su ljepila pomoću kojih se lijepe mjerne trake na mjerni element, prvo na plastično ravnalo a zatim na aluminijski mjerni element. Mjerni element se montira na mjerni oslonac koji se zatim montira na didaktički uređaj na kojeg se stavlja aluminijska profil-greda.
Nakon montiranja mjernog elementa na mjerni oslonac te montiranja na didaktički uređaj, greda je opterećena s utezima određenih masa. Utezi su stavljani na sredinu grede.
Prilikom opterećenja s utezima mjerne trake uzrokuju promjenu napona. Dodavanjem utega stvara se sve veća sila koja djeluje na mjerne trake, te se promjena napona može očitavati.

U radu je opisana i kartica za akviziciju mjernih podataka na računalo. Za tu svrhu je korišten program Labview. U njemu je sastavljena shema za simulaciju mjerenja napona u ovisnosti o otporu, pošto se ne može prikazati silu kao električnu veličinu. Sila u ovisnosti o naponu je prikazana u programu Microsoft Excel kao primjer linearne interpolacije.
Kartica za akviziciju podataka na računalo ujedno služi kao napajanje. Za napajanje se koristi izvor od 5V, pošto mjerne trake kao i pojačalo za pojačavanje detektiranog napona radi na tom naponu.

U završnom radu mjerne trake mjere napon pod djelovanjem sile, odnosno kod deformacije grede. U mnogim kontrukcijama vrijednost naprezanja je vrlo mala, pa je i u ovom slučaju vrijednost naprezanja mala, odnosno vrijednost promjene napona je vrlo mala.
Glavni princip funkcioniranja mjerne trake je da se žica od koje je građena traka pod utjecajem opterečenja deformira. Zbog promjene presjeka žice dolazi do promjene otpora mjerne trake.
Deformacija se može odrediti iz mjerenja promjene otpora mjerne trake.

Kao vodić u mjernoj traci najčešće se koristi žica od konstantana. Zbog svoje velike duljine, žica je savijena vijugavo i zalijepljena između dva listića plastike, tj. folije. Takva vrsta mjernih traka naziva se folijski tenzometar.

U radu je vrlo bitno da se mjerne trake zalijepe odgovarajućim lijepilom te ispravnim postupkom lijepljenja. Korišteno je dvokomponentno ljepilo miješano omjerom 1:2.

Često je potrebno precizno izmjeriti male vrijednosti naprezanja, kao što je slučaj u ovom završnom radu. Zbog toga je potrebno uvesti način mjerenja otpora pomoću Wheatsteonovog mosta.

U radu je opisana metoda spajanja u Wheatstonov most, koja uvelike pomaže izmjeriti male vrijednosti napona.

Da bi se dobila promjena napona u radu je korištena metoda uravnoteženja mosta, tzv. nul metoda. Most se dovodi u ravnotežu promjenom otpora jednog od tri preostala otpornika.

Most je uravnotežen ako je pad napona na mjernoj dijagonali jednak nuli.

2. Mjerenje sile i elektrootporne mjerne trake

Da bi se odredila mehanička svojstva nekog materijala ili proizvoda treba izmjeriti silu. Ako se silu želi izmjeriti direktnom metodom onda se koristi dinamometar. Način rada dinamometra može se zasnivati na različitim principima. Danas se najčešće koriste mehanički, električni, hidraulički i pneumatski. Analogni mjerni uređaji sile, često su nepouzdani i ograničeni jer je prisutan faktor ljudske pogreške kod mjerenja. Često kod očitavanja rezultata dolazi do grešaka. U ovom radu sila se ne mjeri direktnom metodom već se izračunava iz mase utega koja je dodana na profil. U daljnoj obradi završnog rada glavni fokus je na digitalne pretvornike i mjerne uređaje. [1]

Elektrootporne mjerne trake su u biti senzori za mjerenje deformacija pomoću promjene električnog otpora. Mjerna traka je vodič definiranog otpora koji je pričvršćen za površinu mjernog objekta. Svaka deformacija mjernog objekta uslijed opterećenja izaziva odgovarajuću deformaciju mjerne trake. Te činjenice omogućuju mjerenje promjene otpora mjerne trake.



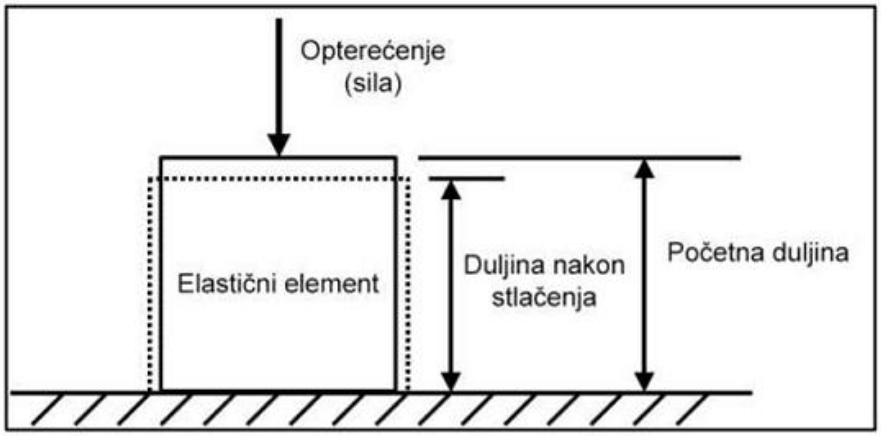
Slika 2.1 Elektrootporna mjerna traka B F 350-3AA 80 (23) M6-X

Slika 2.1 prikazuje elektrootpornu mjernu traku gdje se žica nalazi između dvije folije. Takva mjerna traka još se naziva folijski tenzometar.

2.1. Metoda mjerenja sile

Kod mjerenja sile razlikuju se različite vrste pretvornika uz uređaje različitih razina kompleksnosti.

Kod definiranja sustava za mjerenje sile s obzirom na njihovu namjenu, važno je odabrati pravilnu vrstu pretvornika. Većina pretvornika za mjerenje sile temelje se na određenoj vrsti elastičnog elementa ili na kombinaciji više elemenata. Elastični element se deformira pod utjecajem sile tj. vanjskog opterećenja a sekundarni pretvornik pretvara taj signal za daljnu obradu. Izlazni signal može biti digitalan, električni. To je slučaj u radu. A signal može biti i analogni, mehanički, gdje se sila mjeri pomoću fizikalne skale koja mjeri progib elastičnog elementa. [1]



Slika 2.2 osnovni način rada elastičnog elementa [1]

Mjerenje sile može se provesti pomoću dvije metode:

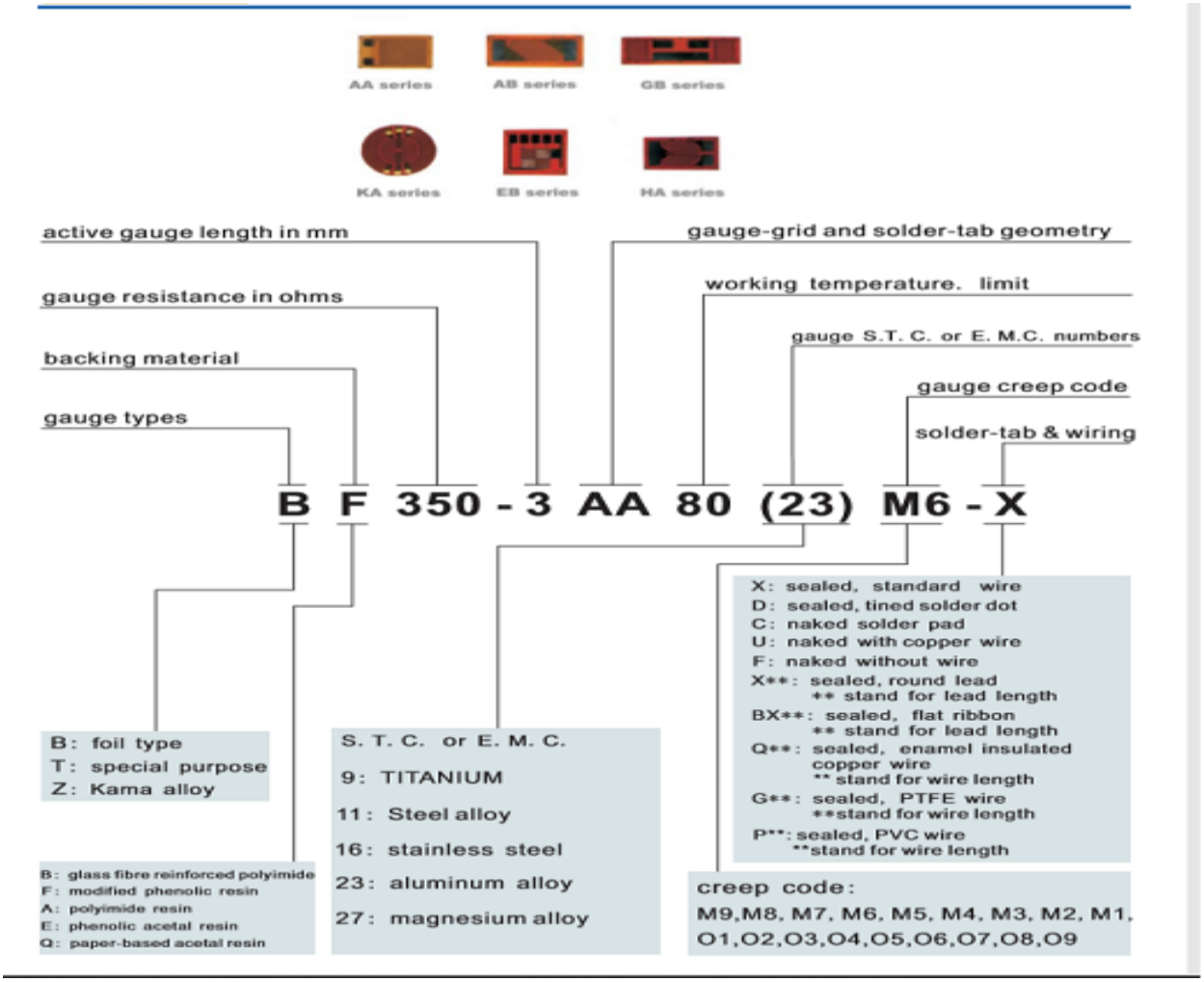
- Direktna metoda: obuhvaća izravnu usporedbu s gravitacijskom silom koja je poznata i standardne je mase. Vrijednost mase i gravitacije mora biti poznata.

- Indirektna metoda: obuhvaća mjerenje sile na neko tijelo, odnosno učinak koji stvara sila na neko tijelo. Primjer ove metode:
  - mjerenje akceleracije tijela s poznatom masom koje je izloženo djelovanju sile.
  - mjerenje deformacije kada se silom djeluje na elastične elemente.

Metoda s elastičnim elementima ima veću primjenu zbog: velikog raspona mjerenja, moguće je kontinuirano pratiti djelovanje sile, jednostavnija uporaba i njihova otpornost. [1]

2.2. Odabir mjerne trake

Postoje dvije glavne vrste elektrootpornih mjernih traka. Podjeljene su na skupine A i B. Skupina A se odnosi na mjerne trake koje su namjenjene za uporabu kod mjernih pretvornika, dok se kod skupine B koriste mjerne trake neposredno na opterećenim dijelovima za mjerenje naprezanja.
U radu se koristi mjerni oslonac sa elastičnim elementom kao pretvornikom. Zbog toga se odabire mjerna traka iz skupine A. [1]



Slika 2.3 Značenje oznake mjerne trake [11]

Na slici 2.2 prikazano je značenje oznake mjerne trake korištene u radu.

B - tip mjerne trake. (tip folije).

F - Modificirana fenolna smola. (podloga materijala).

350 - otpor mjerne trake u ohmima.

3 - aktivna duljina mjerne trake.

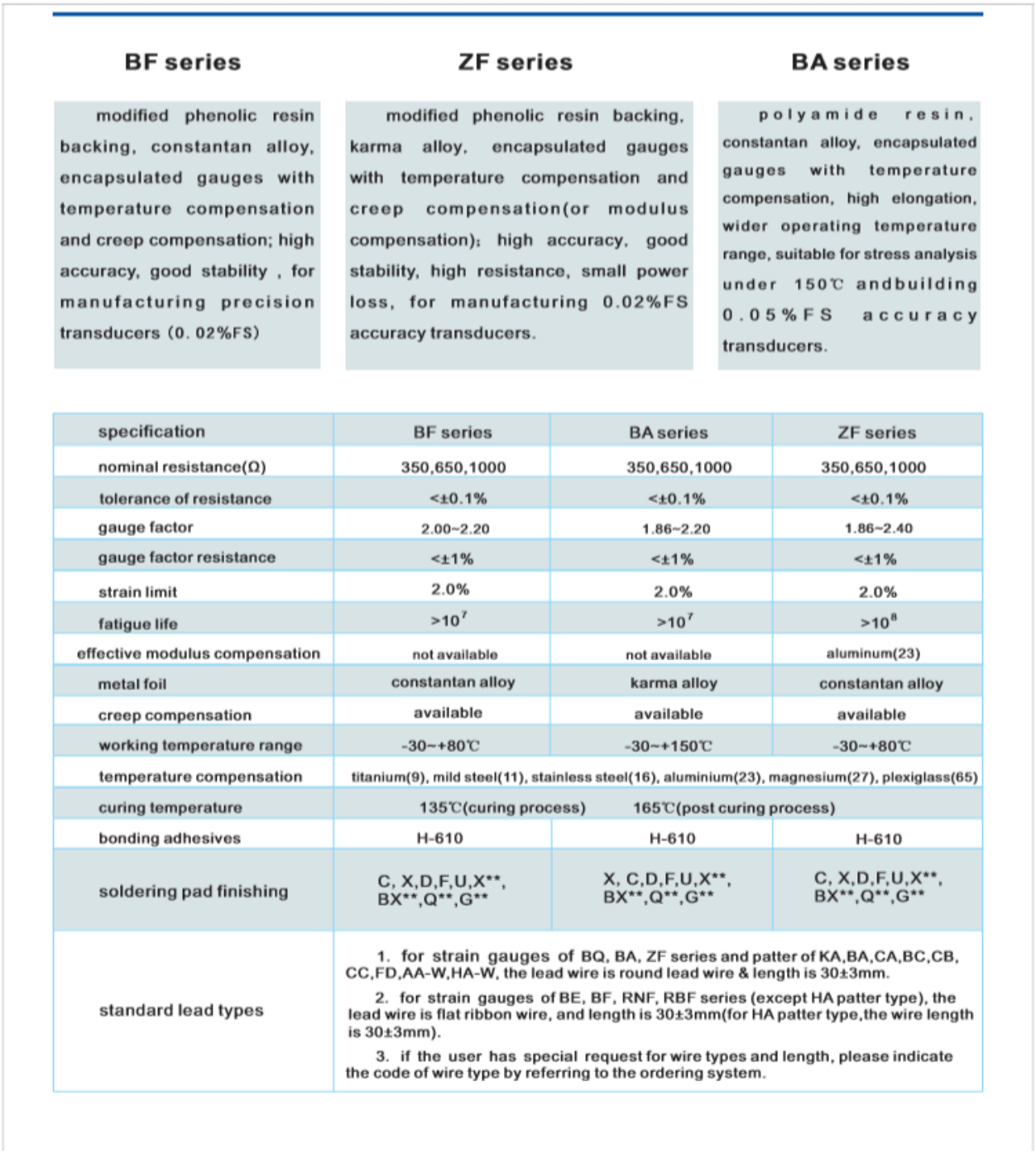
AA - geometrija mreže vodiča ili izvoda.

80 - limit radne temperature.

(23) - S.T.C. ili E.M.C. broj mjerne trake. (legura aluminija).

M6 - kod za kompenzaciju puzanja.

X – kratica za lemljenje i ožičenje. (zapečaćena standardna žica).



BF series

modified phenolic resin backing, constantan alloy, encapsulated gauges with temperature compensation and creep compensation; high accuracy, good stability , for manufacturing precision transducers (0. 02%FS)

ZF series

modified phenolic resin backing, karma alloy, encapsulated gauges with temperature compensation and creep compensation(or modulus compensation); high accuracy, good stability, high resistance, small power loss, for manufacturing 0.02%FS accuracy transducers.

BA series

polyamide resin, constantan alloy, encapsulated gauges with temperature compensation, high elongation, wider operating temperature range, suitable for stress analysis under 150℃ andbuilding 0.05%FS accuracy transducers.

specification	BF series	BA series	ZF series
nominal resistance(Ω)	350,650,1000	350,650,1000	350,650,1000
tolerance of resistance	<±0.1%	<±0.1%	<±0.1%
gauge factor	2.00~2.20	1.86~2.20	1.86~2.40
gauge factor resistance	<±1%	<±1%	<±1%
strain limit	2.0%	2.0%	2.0%
fatigue life	$>10^7$	$>10^7$	$>10^8$
effective modulus compensation	not available	not available	aluminum(23)
metal foil	constantan alloy	karma alloy	constantan alloy
creep compensation	available	available	available
working temperature range	-30~+80℃	-30~+150℃	-30~+80℃
temperature compensation	titanium(9), mild steel(11), stainless steel(16), aluminium(23), magnesium(27), plexiglass(65)		
curing temperature	135℃(curing process)	165℃(post curing process)	
bonding adhesives	H-610	H-610	H-610
soldering pad finishing	C, X,D,F,U,X**, BX**,Q**,G**	X, C,D,F,U,X**, BX**,Q**,G**	C, X,D,F,U,X**, BX**,Q**,G**
standard lead types	1. for strain gauges of BQ, BA, ZF series and patter of KA,BA,CA,BC,CB, CC,FD,AA-W,HA-W, the lead wire is round lead wire & length is 30±3mm. 2. for strain gauges of BE, BF, RNF, RBF series (except HA patter type), the lead wire is flat ribbon wire, and length is 30±3mm(for HA patter type,the wire length is 30±3mm). 3. if the user has special request for wire types and length, please indicate the code of wire type by referring to the ordering system.		

Slika 2.4 serije mjernih traka za naprezanje kod primjene pretvarača [11]

Na slici 2.4 prikazane su serije mjernih traka te njihove specifikacije: nominalni otpor, tolerancija otpora, faktor rastezanja, faktor otpora rastezanja, granica naprezanja, opseg radne temperature, kompenzacija temperature, ljepila za ljepljenje mjernih traka, dorada lemljenja podloge i standardni tipovi vodiča.

2.3. Sila i povezane fizikalne veličine

Sila je fizikalna veličina kojom se opisuje međudjelovanje tijela i njegove okoline gdje može nastati promjena brzine kretanja tijela ili promjena oblika tijela. Sila je vektorska veličina i ima zadani smjer i intezitet, a intezitet se prema SI sustavu označava sa jedinicom Newton (N). Pošto je sila u matematici vektorski predstavljena i djeluje u određenoj točki, mjerenje sile uključuje određivanje njene veličine i smjer djelovanja.

Također u radu je korištena još jedna bitna veličina a to je masa.

Masa je također fizikalna veličina, mjera tromosti tijela a direktno je ovisna o broju i vrsti atoma prisutnih unutar određenog tijela. Glavna jedinica mase je kilogram (kg).

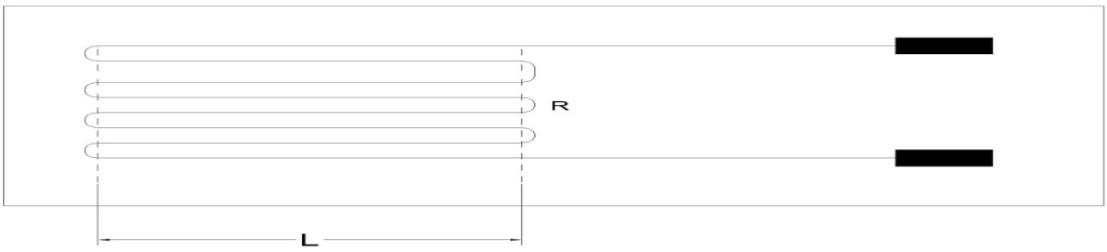
Težina je sila koja djeluje na određeno tijelo u gravitacijskom polju. Težina je definirana kao umnožak mase i ubrzanja uslijed djelovanja gravitacije i stoga ima jedinicu kao i sila a to je Newton (N). [1]

2.4. Tenzometri

Tenzometri su mjerni uređaji pomoću kojih se mjeri linijska deformacija konstrukcije, a posredno se određuju i naprezanja ili neke druge veličine. Mjerenja se zasnivaju na mehaničkim, električnim, optičkim ili nekim drugim učincima koji su posljedica promjene duljine osnovnog elementa koji mjeri deformaciju. Kod takvih promjena duljine elemenata se najčešće koriste elektrootpornički tenzometri, tj. mjerne elektrootporničke trake.

Prema principu koji se koristi razlikuje se više tipova tenzometara. To redom mogu biti : električni, mehanički, akustički i optički. U radu su korišteni električni tenzometri, i to elektrootpornički.

Električni tenzometri mogu biti : elektrootpornički, elektrokapacitivni i elektroinduktivni. [1]



Slika 2.5 elektrootporni tenzometar

2.5. Mjerni element

U radu, elektrootporne mjerne trake (tj. tenzometri) postavljale su se na mjerni element načinjen od aluminija. U prvom slučaju mjerne trake nisu bilježile nikakvu promjenu napona kod opterećenja, razlog je bio da je mjerni element imao preveliki promjer. Nakon toga je isproban mjerni element također načinjen od aluminija no ovaj puta je imao manji promjer. Mjerni element je na vrhovima imao povišenja na koja dolazi greda koja se zatim opteretila sa utezima određenih masa. Mjerni element se pričvrstio na mjerni oslonac pomoću vijaka.



Slika 2.6 mjerni element manjeg promjera načinjen od aluminija

2.6. Elektrootpornički tenzometri

Elektrootpornički tenzometri ili mjerne trake u elektrotehnici predstavljaju bilo koji vodič koji ima svoju duljinu i određeni otpor. Kao primjer mogu se navesti bakrene žice.[1] Elektrootporničkim mjernim trakama se mjeri deformacija temeljem koje se zatim određuje vrijednost narinute sile. Da bi to funkcioniralo, odnos tj. ovisnost sile i deformacije mora biti linearna.

Danas se najviše koriste elektrootpornički tenzometri, kraće tenzometarske trake ili mjerne trake. Sama metoda mjerenja pomoću elektrootporničkih tenzometara se naziva tenzometrija.

U današnjoj elektrotehnici tenzometri predstavljaju bilo kakvu vrstu vodiča koji ima svoju duljinu i određeni otpor, npr. bakrene žice. Promjenom duljine žice mjenja se električni otpor i poprečni presjek žice. $\Delta R \overset{\leftrightarrow}{} \Delta L$

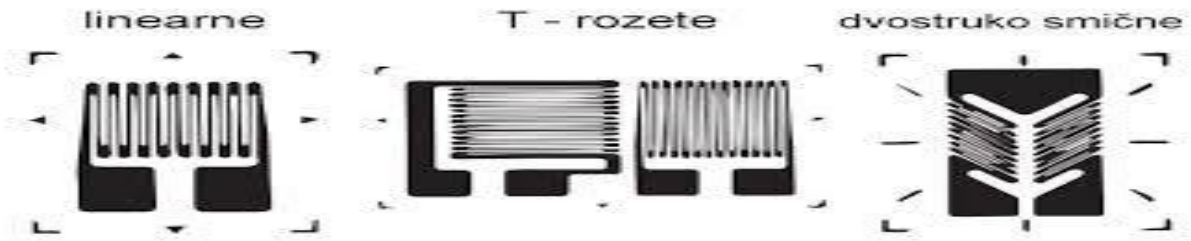
(2-1)

Što je štap duži, otpor je sve veći. Ako je poprečni presjek sve veći, otpor je sve manji. Ukoliko je vodič zaljepljen na elastični element tj.mjerni element, njegova duljina se povećava ili smanjuje s površinom elastičnog elementa na koju se vodič lijepi i na taj način je moguće izmjeriti promjenu otpora i zatim preračunati silu kalibracijom mjernog uređaja.

Najčešće za vodiče služe materijali legure bakra i nikla, nikla i kroma, nikla, kroma i molidbena i legure platine i volframa. Mjerne trake se mogu podijeliti na nekoliko vrsta s obzirom na njihovu primjenu. Trake se razlikuju po smjeru naprezanja kojemu su podvrgnute, na taj način da se smjer dužine vodiča poklapa sa smjerom polja naprezanja. [1]

U eksperimentu su korištene mjerne trake od tanke folije koje se koriste za mjerenje sile jer imaju prednost pred drugim vrstama traka.

Vodiči napravljeni iz različitih materijala pokazuju različite odnose između deformacije i promjene otpora. Promjene otpora vodiča koje nastaju zbog deformacija su male, ali se točno mogu izmjeriti pomoću Wheatsteonovog mosta.



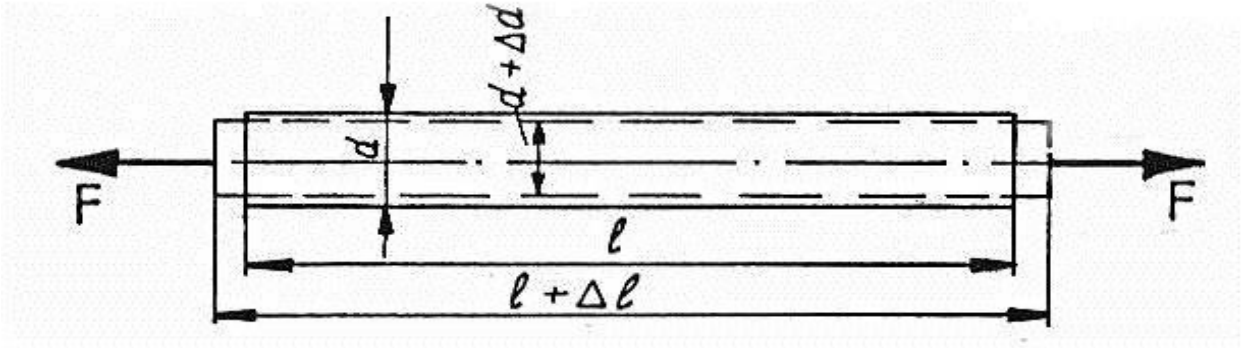
Slika 2.7. Tipovi elektrootpornih traka [1]

Mjerne trake od folije se najčešće koriste za mjerenje sile. Kod mjerenja elektrootporničkim trakama međuzavisnost deformacija i naprezanja smatra se linearnom, zbog toga jer se mjerenja na konstrukcijama provode u linearno-elastičnom području, tj. u području u kojem vrijedi Hookeov zakon. Hookeov zakon za jednoosno stanje naprezanja glasi : $\sigma = E \cdot \varepsilon$. [6]

(2-2)

Gdje je σ – normalno naprezanje na mjestu mjerenja na konstrukciji (N/mm$_2$).

ε – deformacija mjernog objekta na mjestu mjerne trake (μm/m).



Slika 2.8 deformacije kod rastezanja štapa kružnog presjeka (žica tenzometra) [5]

Na slici 2.2 je prikazana jedna od žica od koje je sastavljena mjerna traka odnosno tenzometar.

Kod žice mjerne trake (koja ima duljinu l i promjer d), postoji ovisnost između duljinske i poprečne deformacije, te prilikom opterećenja za rastezanje vrijede izrazi, slika 2.2. : [5]

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{\boldsymbol{\Delta l}}{\boldsymbol{l}}, \boldsymbol{\varepsilon_q} = -\boldsymbol{\nu} \cdot \boldsymbol{\varepsilon} = \frac{\boldsymbol{\Delta d}}{\boldsymbol{d}}, \rightarrow \frac{\boldsymbol{\Delta d}}{\boldsymbol{d}} = -\boldsymbol{\nu} \cdot \frac{\boldsymbol{\Delta l}}{\boldsymbol{l}}.$$

(2-3)

Gdje je: v – Poissonov faktor (Poissonov omjer) za izotropne materijale: $0 \leq \nu \leq 0{,}5$. Kod opterećenja uslijed promjene duljine žice mjerne trake mijenja se njen električni otpor, a mjenja se i poprečni presjek $\boldsymbol{A} = \pi \cdot \mathrm{d} \cdot \frac{\boldsymbol{2}}{\boldsymbol{4}}$ i struktura materijala žice trake. [6]

(2-4)

Otpor žice tenzometra jest: $\boldsymbol{R_0} = p \cdot \frac{\boldsymbol{l_0}}{\boldsymbol{A_0}}$, Ω

(2-5)

$A_0 = \frac{\boldsymbol{\pi\, d0^2}}{\boldsymbol{4}}$ površina presjeka žice

(2-6)

$$R = p \cdot \frac{l}{a} = p \cdot l \cdot \frac{4}{\pi \cdot d^2} \text{ , } \Omega$$

(2-7)

2.7. Osnovni dijelovi elektrootpornih mjernih traka

Mjerna traka sastoji od baze, mjerne mrežice i zaštite. Baza mora biti što tanja da bi bila bliže mjernom elementu na koji se lijepi. Materijal za izradu baze, ovisno o temperaturi primjene može biti papir (120°C), bakelit (do 250°C), epoksidna smola (do 200°C) ili metal (iznad 250°C).

Mjerne mrežice se najčešće danas izrađuju od tanke folije, fotokemijskim postupkom. Mjerne mrežice imaju standardizirane otpore od : 120Ω, 350Ω, 600Ω i 1000Ω. Duljine mrežica su obično od 0.3mm do 150mm. Razvoj mjernih traka se ubrzao posljednih godina pronalaskom novih slitina koje se koriste za izradu vodiča.

Materijali koji se koriste za izradu mrežica su : konstantan, nikrom, kromel C, izoelastik, platina, platina – iridij/volfram te razni poluvodići. [1]

2.8. Opće značajke elektrootpornih mjernih traka

Svi mjerni uređaji imaju svoje prednosti i nedostatke, pa tako i mjerne trake, unatoč tome što se često koriste u području tenzometarskih mjerenja.

Prednosti :

- Visoka preciznost mjerenja linijskih deformacija
- Mogućnost mjerenja u širokom rasponu temperatura i različitim uvjetima okoline
- Mogućnost mjerenja linijskih deformacija u više točaka s više traka istovremeno
- Mogućnost lijepljena na različite vrste površina i materijala
- Mogućnost mjerenja višeosnog stanja naprezanja u jednoj točki
- Visoka pouzdanost i osjetljivost, mala masa i niska cijena

Nedostaci:

- U većini slučajeva imaju jednokratnu uporabu
- Mjerenje linijskih deformacija u uskom području sa jednom trakom bez informacija o stanju naprezanja u okolini.
- Zahtijevaju pojačanje signala zbog niske razine izlaznog signala
- Uglavnom je moguće samo površinsko mjerenje deformacija
- Nemaju mogućnost pojedinačnog baždarenja [1]

3. Elektrootporne mjerne trake i lijepila

U prošlom poglavlju opisano je kako funkcioniraju i za što služe elektrootporne mjerne trake. Kako bi mjerne trake mogle pravilno i učinkovito mjeriti male deformacije prilikom deformiranja konstrukcije treba ih pravilno zalijepiti na površinu opterećene konstrukcije.
Mjerne trake se lijepe pomoću posebnih ljepila na aluminijski mjerni element. U radu je prvo isproban rad mjernih traka na plastičnom ravnalu pa se mjerne trake lijepe na plastični mjerni element. Ljepilo mora biti takvih svojstva da osigura dobro prianjanje mjernih traka, kako bi trake mogle nesmetano i pravilno izmjeriti promjenu deformacije, tj. promjenu napona prilikom promjene deformacije grede.

3.1 Vrste ljepila za lijepljenje mjernih traka

Za lijepljenje mjernih traka preporučuju se dvije osnovne vrste lijepila: RS cijanoakrilat i RS brzo prianjajući epoksi. Važno je da se odabere prava vrsta lijepila, pošto mjerne trake reagiraju na bilo kakvo opterećenje a razlike u koeficjentu toplinskog širenja između materijala mjernog elementa te materijala mjernih traka mogu izazvati fiktivna opterećenja.
U radu se koristi lijepilo tvrtke BCM SENSOR. Model lijepila je B610, a lijepilo je dvokomponentno. To znači da su grupa A i grupa B ljepila izmješane u pravilnom omjeru kako bi se dobilo idealno sredstvo za lijepljenje elektrootpornih mjernih traka. Ova vrsta ljepila spada u skupinu brzo prianjajućih epoksa.
B610- grupa A je neto mase 5g dok je grupa B neto mase 10g. Ove dvije komponente ljepila se mješaju u omjeru A:B = 1:2 .
Model ljepila B610 ima visoku otpornost na naprezanje, znači da se koristi za osjetljive senzore kao što su elektrootporne mjerne trake. Ako se pravilno ljepilo izmješa te nanese na mjesto gdje dolaze mjerne trake, morao bi se osigurati vrlo čvrsti spoj sa elementom na koji se lijepe, te bi spoj morao biti dugoročan.
Temperature na kojim se primjenjuje ljepilo dugoročno je: od -220°C do +220°C , a kratkotrajno od -220°C do +300°C .
Osim pravilnog umješavanja dvokomponentnog ljepila važno je i pravilno postaviti mjernu traku na mjerni element. Ljepilo se mora pritisnuti pritiskom otprilike od 1-3 bara kod temperature od 135°C i pritisak se mora držati 2 sata. Rok valjanosti ljepila je 6 mjeseci na sobnoj temperaturi ili 12 mjeseci na temperaturi od 4-8°C. Za uvid koja ljepila se koriste za određene mjerne elemente koristi se tablica u kojoj su prikazane sve bitne informacije za pojedine vrste ljepila.

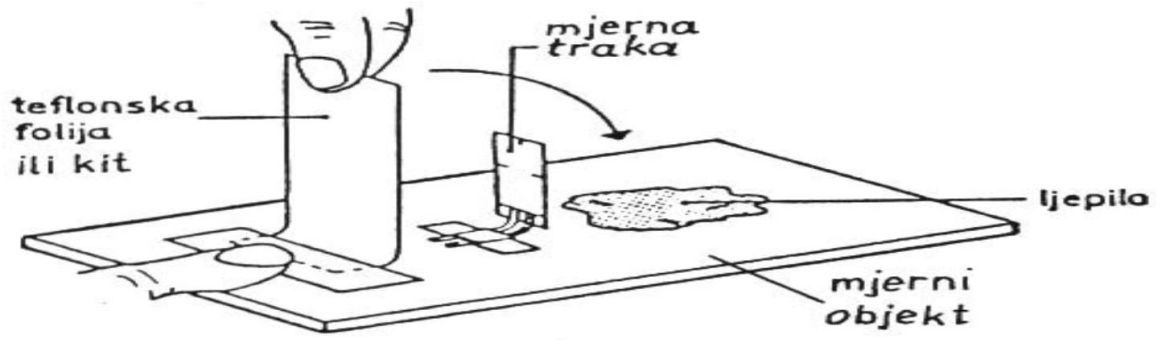
Model	Karakteristike	Operacijska temperatura	Primjena	Stanje postavljanja	Rok valjanosti
A60	Visoke performanse, dvokomponentno, brzo sušenje, niska viskoznost.	-270 ºC +370ºC	Izvrsno prianjanje svih vrsta BCM mjernih trakica, specijalna preporuka za proizvodnju preciznih pretvarača.	Trakice postaviti na lijepilo i držati ih 2h na 135ºC, pod pritiskom od 1-3 bara.	6 mjeseci na 24ºC 12 mjeseci na 2ºC za jednokomponentno.
A70	Lako za rukovanje, cijanoakrilat.	-196 ºC +120ºC	Za kratkotrajne analize.	1 minuta na sobnoj temp.pod pritiskom prsta.	6 mjeseci na sobnoj temp.,12mj.na temp.od 4~8°C.
A71	Visoka viskoznost,dobra stabilnost,široki temp.raspon.	-60 ºC +250ºC	Lijepljenje OKG i ECI serije mjerača naprezanja.	60 min.na 80ºC pod pritiskom od 1~3 bara.	8 mjeseci na 10ºC.
B610	**Dvokomponentno ljepilo,visoka otpornost na naprezanje,izvrsna ponovljivost,dugoročna stabilnost.**	**Dugoročno od -220º~+200ºC,kratkoročno od -230º~300ºC.**	**Izvrsno prianjanje svih vrsta BCM mjerača naprezanja,posebno se preporučuje za izradu preciznih senzora.**	**2h na 135º pod pritiskom od 1~3 bara.**	**6 mjeseci na sobnoj temp.12 mjeseci od 4~8°C.**
B710	Jednokomponentno,visoka radna temp;izvrsna dugoročna stabilnost.	Dugoročno od -60º~+250ºC kratkoročno od -70°~+300ºC.	Dobro za prianjanje svih vrsta mjerača naprezanja.	2h na 100ºC,nakon toga 2h na 150ºC od 1~3 bara.	8 mjeseci na 4ºC.
B611	Dvokomponentno,visoka sposobnost izolacije.	Dugoročno od -30°~+60°C kratkoročno -40º~+80°C.	Za kompenzacijske otpornike.	24h na sobnoj temperaturi od 1~3 bara.	10 mjeseci na sobnoj temperaturi.

Tablica 3.1 Vrste ljepila te njihove glavne značajke

Vezano za tablicu 3.1 , za dvokomponentna ljepila rok valjanosti se odnosi na svaku komponentu zasebno, ne odnosi se na promiješane komponente ljepila. Jednom kad se komponente promješaju rok valjanosti se znatno skraćuje. Ne preporučuje se izmješati dvije komponente lijepila te ih zatim uskladištiti.
Za sobnu temperaturu se podrazumjeva 25 °C.

3.2 Korištenje ljepila kod postavljanja mjernih traka

Glavni zadatak kod postavljanja mjerne trake na mjerni element je osigurati dobar omjer dvije komponte ljepila. Nakon što se ljepilo promješa u omjeru A:B = 1:2 , očisti se površina mjernog elementa na koji se žele mjerne trake zalijepiti. Površinu mjernog elementa se očisti razrjeđivačem te se dobro posuši. Nakon toga izmješano ljepilo nanese se s kistom na površinu mjernog elementa. Mjerna traka se pritisne s teflonskom folijom i drži kako bi se ostvarila što bolja veza sa mjernim elementom. Toplina pritiska prsta poboljšava i ostvaruje dobru vezu mjernih traka i mjernog elementa.



Slika 3.1 Postavljanje mjerne trake na mjerni element (mjerni objekt) [4]

Ako se mjeri na više mjesta konstrukcije, potrebno je sva ta mjerna mjesta spojiti pomoću preklopnika na zajednički most, gdje se jedna po jedna mjerna traka uključuje u krug mjernog mosta i pri tome se bilježi deformacija kod određenog opterećenja. Te vrijednosti se oduzimaju ili zbrajaju s vrijednostima koje su kod neopterećenog stanja i na taj način se određuje deformacija na svim mjestima, tj. mjernim točkama ispitivanog objekta.

Mjerenjem glavnih deformacija $\varepsilon 1$ i $\varepsilon 2$ pomoću Hookeov zakona mogu se izračunati glavna naprezanja $\sigma 1$ i $\sigma 2$ u ispitnoj točki konstrukcije temeljem izraza: [6]

$$\sigma 1 = \frac{E}{1-V_p 2} (\varepsilon 1 + V_p . \varepsilon 2) \tag{3-1}$$

$$\sigma 2 = \frac{E}{1-V_p 2} (\varepsilon 2 + V_p . \sigma 1) \tag{3-2}$$

gdje je : E – modul elastičnosti; υp – Poissonov koeficijent.

3.3 Montiranje mjernih elemenata na mjerni oslonac i didaktički uređaj

Mjerni element služi kao podloga za elektrootporne mjerne trake. Opisano je postavljanje mjernih traka na mjerni element, a sada se opisuje i postupak montiranja mjernog elementa na mjerni oslonac, kao i montiranje mjernog oslonca na didaktički uređaj.

Mjerni elementi se montiraju na mjerni oslonac koji je izrađen od plastike. Mjerni elementi pomoću vijaka se pričvrste na mjerne oslonce koji imaju utore gdje dolaze vijci.

Važno je znati da mjerni elementi kad se stegnu budu u zraku, kako bi mjerne trake koje leže na njima pravilno mjerile silu, odnosno napon. Mjerni elementi imaju istaknuti gornji dio na koji dolazi greda. Nakon toga mjerni oslonac se montira na didaktički uređaj za mjerenje sile, tj. deformacije grede.



Slika 3.2 Mjerni element i elektrootporne mjerne trake

Slika 3.2 prikazuje mjerne elektrootporne trake postavljene na mjerni element načinjen od aluminija. Na slici se vidi da su izvodi mjernih traka izolirani kako nebi dotakli mjerni element i izazvali kratki spoj.



Slika 3.3 Didaktički uređaj za mjerenje djelovanja sile

Slika 3.3 prikazuje didaktički uređaj koji služi kao edukativno pomagalo koje omogućuje praktičnu primjenu teorije. Didaktički uređaji moraju omogućiti sigurnu i praktičnu uporabu kod rukovanja i rada na eksperimentu.

4. Upotreba Wheatsteonovog mosta kod mjerenja naprezanja

4.1 Wheatsteonov most i spajanje mjernih traka

Za mjerenje promjene otpora tenzometra ΔR ponajviše se rabe potenciometri i mjerni most. Za spajanje traka u Wheatsteon-ov mjerni most koriste se mjerne trake koje su aktivne te nalijepljene na predmet ispitivanja ili dinamometar, kompenzirajuće trake i metalni (folijski) otpornici koji su velike točnosti i stabilnosti.

Wheatsteonov most omogućuje vrlo preciznu metodu određivanja vrijednosti nepoznatog otpora. Koristi se za mjerenje otpora tenzometara, tj. mjernih traka, koji su vrlo maleni, a temelji se na uravnoteženju mjernog mosta ili postizanju stanja u kojem kroz dijagonalu mosta ne teče struja.

Jednažba ravnoteže mosta $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3} \quad R1 = R2\frac{R4}{R3}$

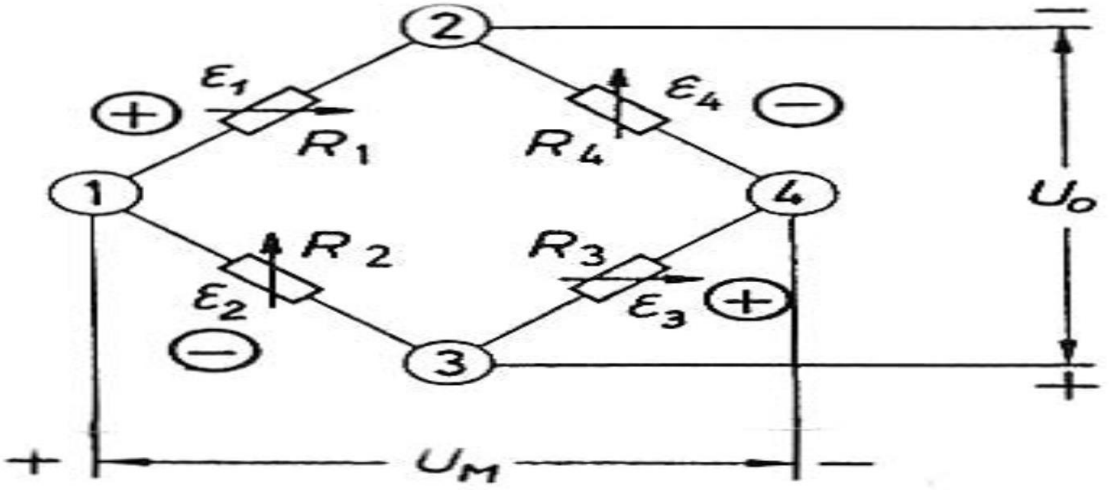
(4-1)

Ravnoteža se postiže promjenom otpora promjenjivog otpornika. Metoda uravnoteženja pobliže je opisana u sljedećem poglavlju.

U ovoj metodi se uspoređuju nepoznata vrijednost otpora sa poznatim vrijednostima otpora.

U mjernom uređaju sa Wheatsteonovim mostom sva četiri otpornika mogu biti aktivna. Tj. na mjestima otpornika nalaze se mjerne trake. Takva izvedba spajanja mjernih traka se zove puni most.

Sve četiri grane mosta na mjestima otpornika imaju mjerne trake (tenzometre), prethodno nalijepljene na mjernom elementu, objektu. Dvije i dvije grane mosta imaju iste deformacije ali suprotnog predznaka.



Slika 4.1 Wheatsteonov puni mjerni most [4]

Iz primjera slike 4.1 može se mjereni signal na izlazu odnosno mjerena deformacija odrediti iz izraza: $U_m = U_0 \cdot \frac{k}{4} \cdot 4\varepsilon = U_0 \cdot k \cdot \varepsilon \rightarrow \varepsilon = \frac{1}{k} \cdot \frac{U_m}{U_0}$

(4-2)

Napon je mjeren tako da se spoji voltmetar između točaka 1 i 4. Napajanje od 5V dovodi se između točaka 2 i 3.

Napon je 5V, zbog toga jer mjerne trake kao i pojačalo koje se spaja s njima, rade na tom naponu.

Za probnu verziju pokusa korišten je pretvarač napona 220/5.5V, dok je za konačnu verziju pokusa, za napajanje, korištena kartica za akviziciju podataka.

4.2 Metoda uravnoteženja mosta

Da bi se dobila promjena otpora korištena je metoda uravnoteženja mosta, tzv. nul metoda. Vrši se na taj način da se most dovede u ravnotežu promjenom poznatog otpora, jednog od tri preostala otpornika. Most je uravnotežen ako je pad napona na mjernoj dijagonali jednak nuli.

Uvjet za to je: $\frac{R1}{R2} = \frac{R3}{R4}$, promjenom otpora R1 most više nije u ravnoteži.

(4-3)

$$\frac{R1+\Delta R1}{R2} \neq \frac{R4}{R3} \quad (4\text{-}4)$$

Da bi se ponovno uspostavila ravnoteža u mostu treba promjeniti otpor jednom od otpornika, npr. R4 , i to se čini tako da se doda poznati otpor.

Nakon uravnoteženja mosta slijedi : $\frac{R1+\Delta R1}{R2} = \frac{R4+\Delta R_M}{R3}$

(4-5)

Iz čega se dobije : $\Delta R1 = \frac{R2}{R3}(\mathrm{R4} + \Delta R_m) - \mathrm{R1}$

(4-6)

Za slučaj R1=R2=R3=R4 slijedi : $\Delta R1 = \Delta R_M$

(4-7)

4.3 Mjerna pojačala i spajanje s mjernim trakama

Spajanjem mjernih traka u puni most dobije se bolja osjetljivost na deformacije koje se događaju prilikom opterečenja grede. Međutim ponekad ni takav spoj nije dovoljan za prikazivanje promjene deformacije pod utjecajem opterećenja, odnosno promjene napona pod utjecajem promjene otpora. Zato je u strujni krug spojeno i mjerno pojačalo kako bi dobili što veći raspon napona na izlazu kod promjene otpora.

Modul za mjerenje savijanja koristi senzor oznake BF350 za mjerenje mehaničkih savijanja u čvrstim materijalima. Modul uključuje podesivi krug pojačala koji ga čini pogodnim za spajanje izravno na ADC ulaz mikrokontrolera i zahtijeva samo jedno napajanje.

Mjerno pojačalo koje se koristi spaja se na napon 5V isto kao i mjerna traka. Na pojačalu je indikator napajanja sa plavom led diodom. Što je viši stupanj savijanja to je veći izlazni napon.

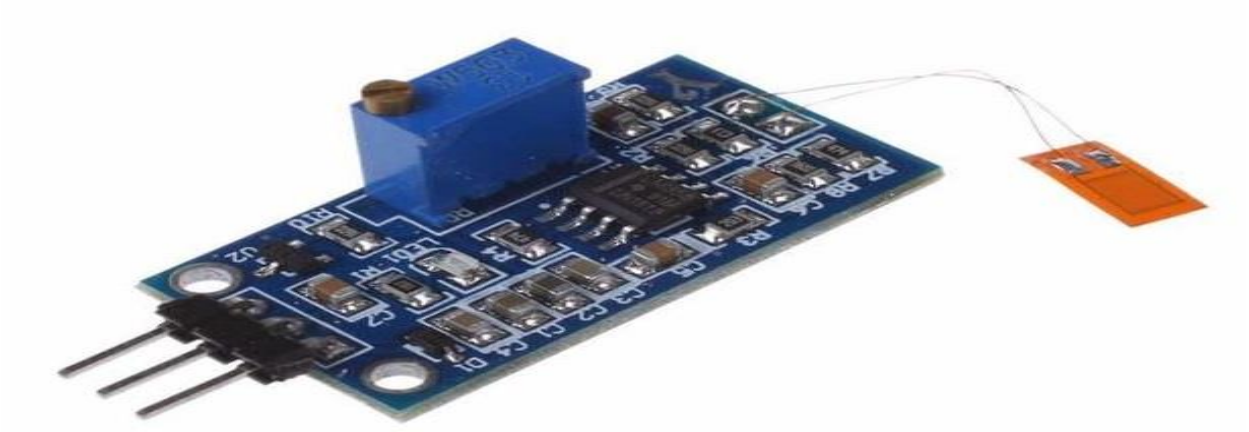
Glavni podaci za korišteno pojačalo su:

MODEL: BF350 – 3AA/1.5AA
KOEF. OSJETLJIVOSTI: 2.0
OGRANIČENJE NAPREZANJA: 2%
MATERIJAL ŽICE NA POJAČALU: Konstantan
OTPOR: 350 Ω
NAPON: 5V

Napajanje dolazi iz pretvarača napona 220V/5V i spaja se na oznaku VCC za polaritet plus, a na oznaku GND na mjernom pojačalu spaja se polaritet minus. Treča oznaka je OUT i na nju je

spojen Voltmetar. Plus polaritet se spaja na oznaku OUT a minus polaritet se spaja na minus napajanja.

Na ulaz pojačala direktno se spaja mjerna traka. Ovakav spoj se izveo u labaratoriju na plastičnom ravnalu. Savijanjem ravnala utvrdilo se mjenjanje otpora. Promjena otpora je bila dosta malena, oko 0.3 V.



Slika 4.2 Mjerno pojačalo model BF350 3AA/1.5AA

Na slici je prikazano mjerno pojačalo , tj. modul koji je korišten za pojačanje signala prilikom deformacije, tj .savijanja grede.

5. Prikazivanje ovisnosti napona o promjeni otpora

5.1 Metoda linearne interpolacije

Linearna interpolacija je metoda kojom se određuju vrijednosti funkcije između dvije zadane vrijednosti, a funkcija se aproksimira pravcem. U radu je korištena ova metoda kako bi se dobilo prikazivanje vrijednosti na pravcu. Stavljeni su eksperimentalni podaci koji su dobiveni za određena stanja i dani su u tablici.

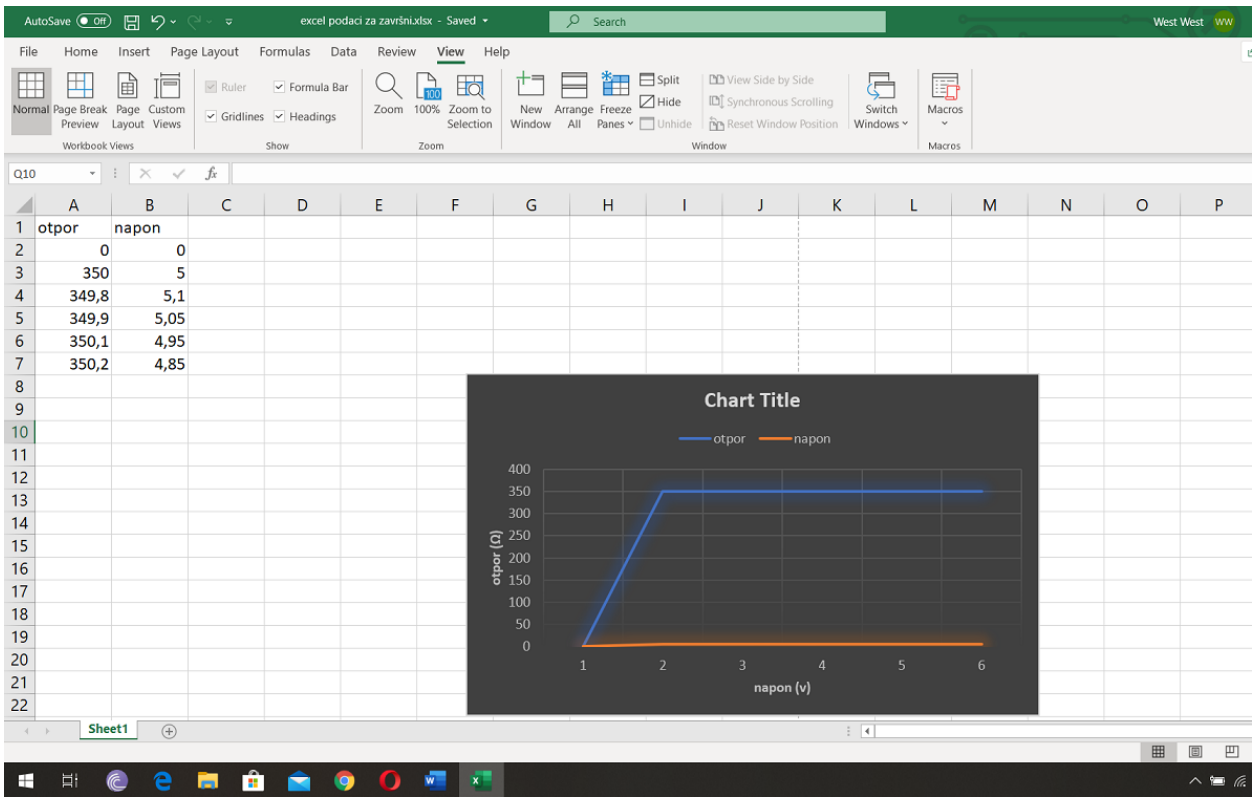
Linearna interpolacija zasniva se na pretpostavci da su dvije poznate točke povezane pravcem, tj. funkcija koja povezuje te dvije točke je linearizirana i zamjenjena je jednažbom pravca.

S obzirom da se eksperimentalni podaci ne mogu dobiti za sva moguća stanja, u tu svrhu se koristi interpolacija za procjenu vrijednosti fukcije za točke koje nisu dane u tablici.

U tablici su podaci napona mjernih traka, u ovisnosti o otporu prilikom deformacije mjernog elementa. [7]

OTPOR (Ω)	NAPON (V)
0	0
350	5
349,8	5,1
349,9	5,05
350,1	4,95
350,2	4,85

Tabela 5.1 Izmjerene vrijednosti kod savijanja mjernog elementa



Slika 5.1 Prikaz izmjerenih vrijednosti na grafu u Excelu

Na slici 5.1 prikazan je graf ovisnosti napona o otporu. Otpor predstavlja deformaciju mjerne trake kod savijanja plastičnog ravnala. Vidi se da nije dobivena prevelika promjena napona i otpora.

Excel za razliku od nekih drugih programa za analizu nema ugrađenu funkciju za linearnu interpolaciju, ali se tablični podaci mogu interpolirati pomoću Excela.

5.2 Kartica za akviziciju podataka

Korištena je višenamjenska kartica za akviziciju podataka, model 6210, proizvođača National Instruments. Služi za prikazivanje eksperimentalnog mjerenja u programskom paketu Labview. Osim toga služi za napajanje mjernih traka te pojačala. Uređaj je idealan za testiranje, kontrolu te dizajnerske aplikacije. USB 6210 ima lagano mehaničko kučište.

Za analogni ulaz glavne specifikacije su da kartica ima 8 diferencijalnih kanala te 16 pojedinačnih. Maksimum jednog kanala je 250 ks/s . Također maksimum svih kanala je 250 ks/s. Ulazni raspon napona je $\pm$ 0.2V, $\pm$ 1V, $\pm$ 5V, $\pm$ 10V. Maksimalni radni napon za analogne ulaze $\pm$ 10.4V. Kartica ima rezoluciju od 16 bitova što znači da analogno digitalni pretvornik amplitudu ulaznog signala može podijeliti na 65536 razina.

Digitalno ulazno izlazne linije koriste se za slanje digitalnih signala (stanje 1 ili stanje 0). Na izlazu se dobiva određena razina napona kako bi se odredila primljena vrijednost. [8]



Slika 5.2 Kartica za akviziciju podataka USB-6210

5.3 Program za prikazivanje eksperimentalnog mjerenja

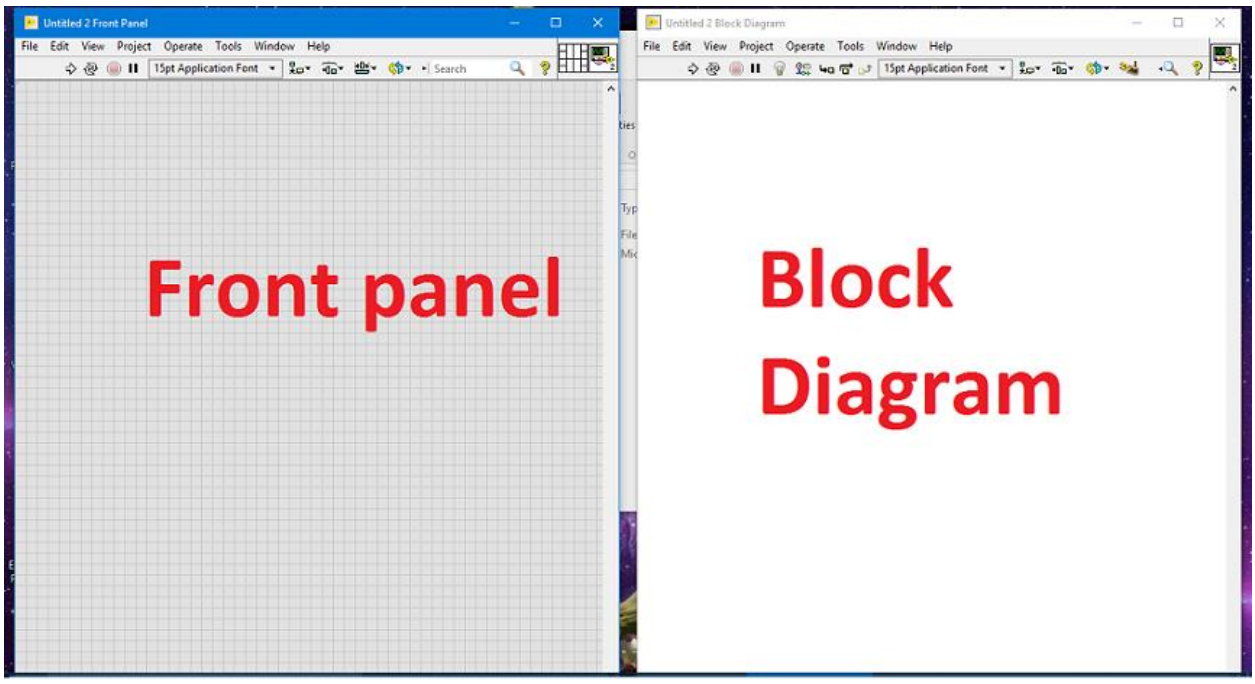
Labview je inženjerski program za aplikacije koje zahtjevaju ispitivanje, mjerenje i kontrolu sa brzim pristupom hardveru i podacima.

Labview nudi grafički pristup programiranju koji pomaže vizualizirati svaki aspekt aplikacije, uključujući konfiguraciju hardvera, podatke mjerenja i uklanjanje pogrešaka. Ovakva vizualizacija olakšava integraciju mjernog hardvera od bilo kojeg dobavljača te razvija algoritme za analizu podataka i razvijanje korisničkih sučelja za inženjering.

U radu mjerni hardver je bila NI kartica za akviziciju podataka USB 6210 koja je opisana u prethodnom poglavlju. Kartica se preko USB kabla spaja tj. priključuje na računalo. Pojavljuje se NI *Device Monitor* te se odabere *Configure and test this device* opcija.

Nakon detekcije priključenog hardvera, NI *Device Monitor* služi kao prečica do NI *Labviewa* te pokretanja NI *Max programa,* kao i otvaranje panela za testiranje NI DAQ uređaja.

Labview program se sastoji od dva prozora. Sivi prozor naziva Front Panel služi kao korisničko sučelje za Labview dok bijeli prozor naziva Block Diagram služi za prikazivanje funkcijskog grafičkog koda.

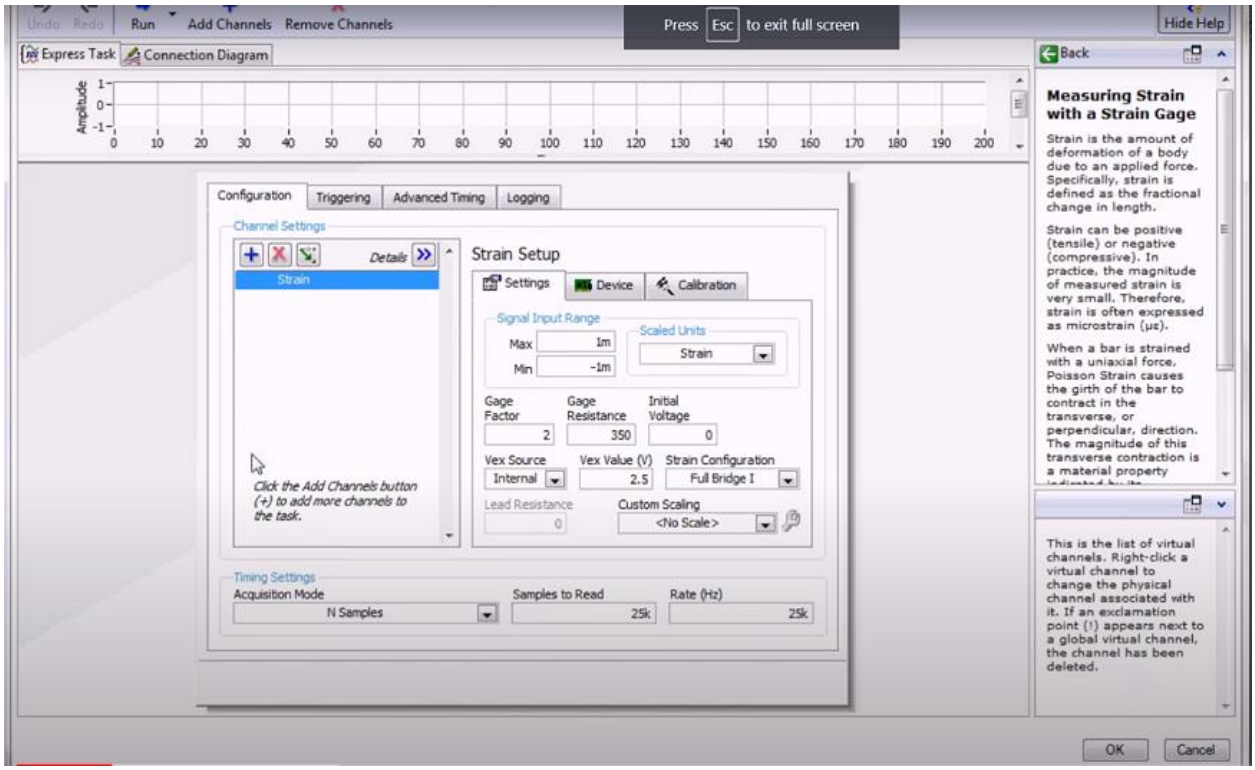


Slika 5.3 Izgled glavnog sučelja programa Labview

5.4 Programiranje u Labview programu

Programiranje je počelo s otvaranjem novog virtualnog instrumenta (VI) u block diagramu. U block diagram je postavljen DAQ Assistant. Konfiguracijski alat koji vodi do jednostavnih mjerenja u programu. Pomoću njega su povezane mjerne trake u program.

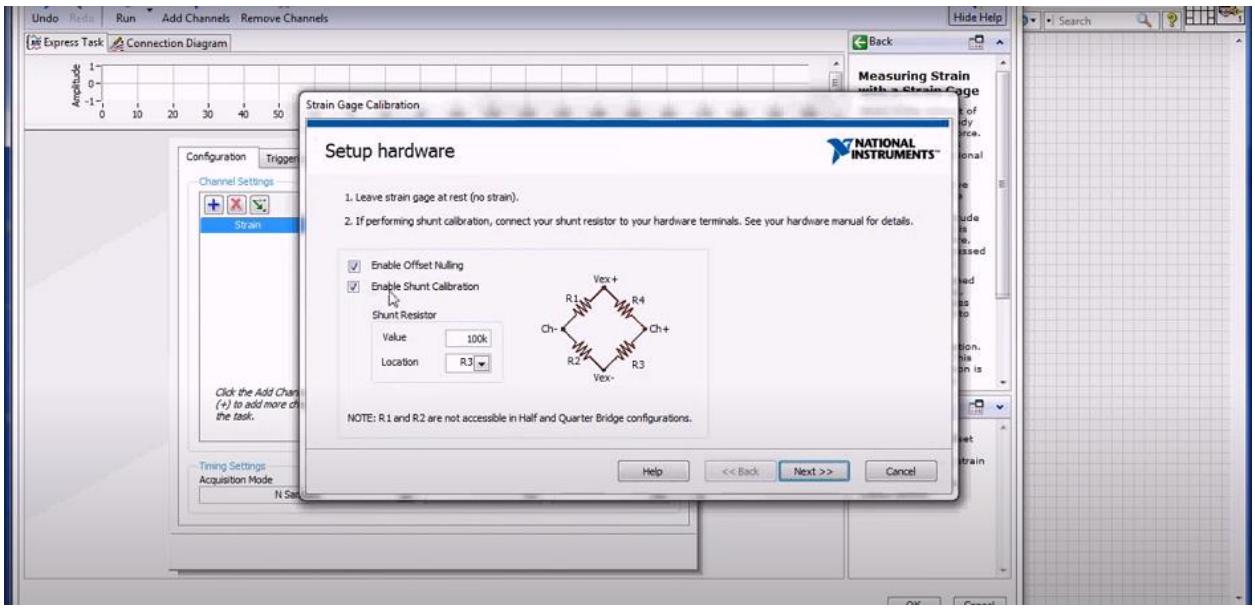
U opcijama DAQ assistant odabran je analogni signal, gdje je zatim ponuđen izbor mjernih traka. Kada su odabrane mjerne trake, pojavljuje se prozor sa postavkama.



Slika 5.4 Prikaz prozora za postavke mjernih traka

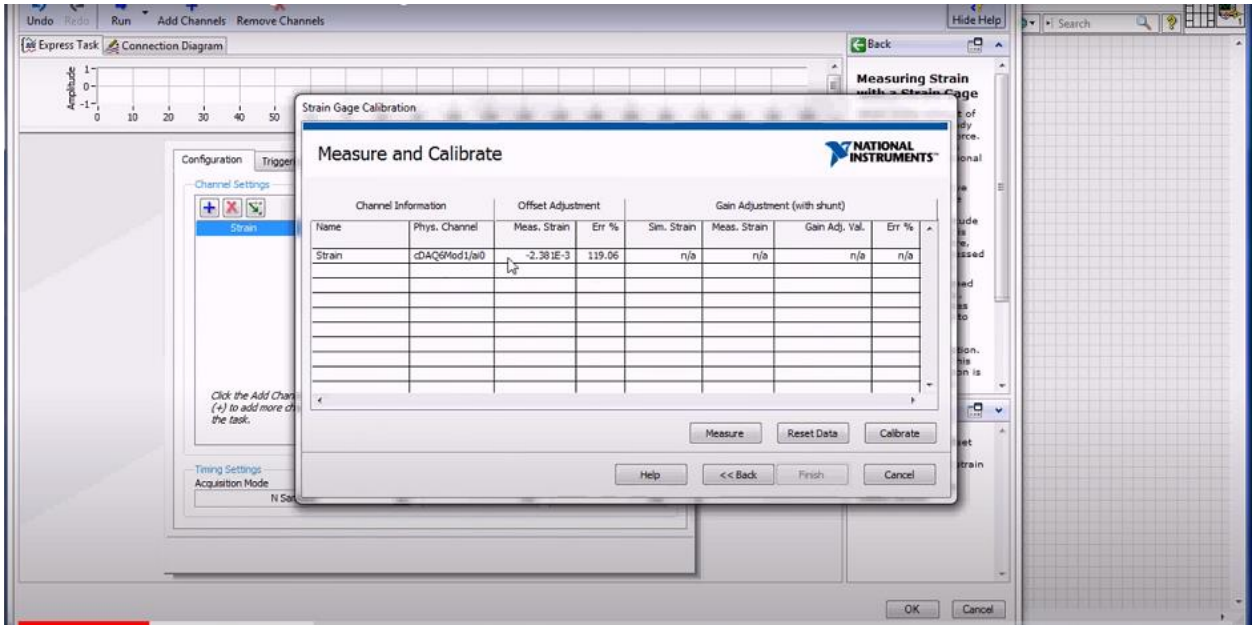
U postavkama su parametri za raspon ulaznog signala, koji je ostavljen na već odabranim vrijednostima 1 i -1. Zatim koeficijent osjetljivosti mjernih traka koji je postavljen na vrijednost 2, te otpor mjernih traka koji je postavljen na 350 Ω. Nakon toga odabran je izvor uzbude kao vanjski, odnosno eksterni. Napon mjernih traka stavljen je na 5V, te konfiguracija odnosno spoj mjernih traka postavljen je na puni most.

Zatim pod *Device* omogućena je kalibracija sporednog voda i omogućena je da naprezanje počinje od 00.0V.



Slika 5.5 Kalibracija sporednog voda te postavljanje mjerenja na nulu

Nakon upisivanja svih postavki za kalibraciju mjernih traka, izvršena je kalibracija. Pritisnuto je kalibriranje, te je sustav odradio posao kalibriranja mjernih traka.

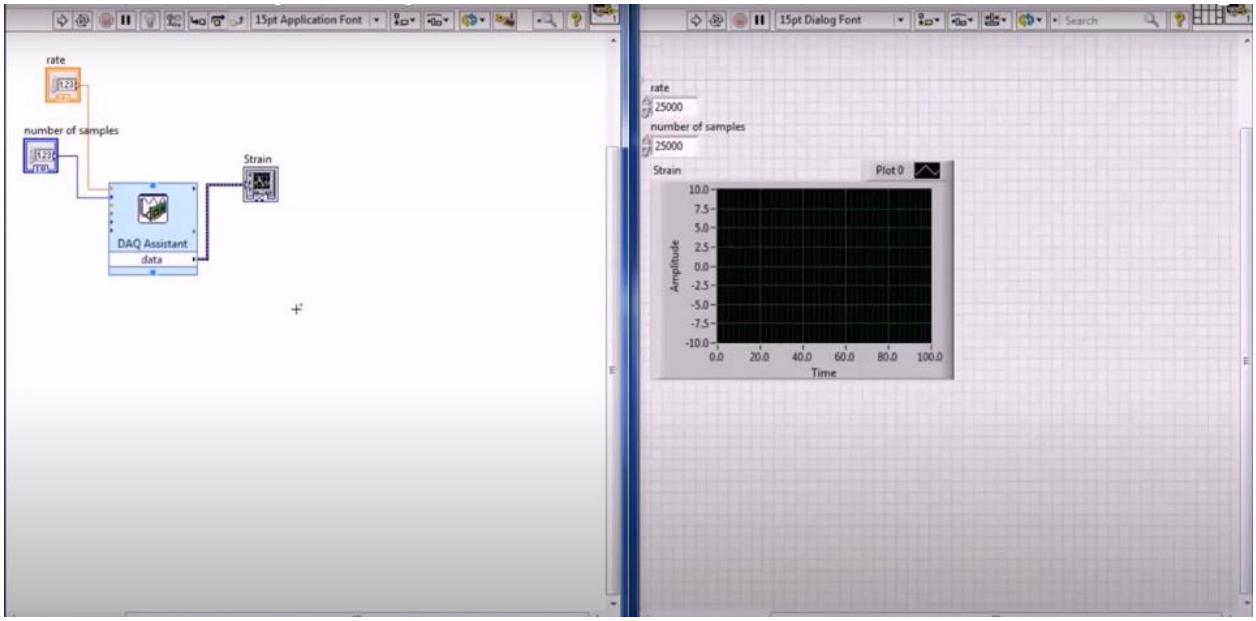


Slika 5.6 Mjerenje i kalibracija mjernih traka

Nakon izvršenog mjerenja i kalibracije mjernih traka vraća se u *Block Diagram* gdje je kreirana kontrola za broj mjerenja tj.uzorkovanja, *Create control.*

Broj mjerenja ovisi o utezima koji su stavljani na gredu kako bi ju opteretili. Svaki uteg ima svoju određenu masu te je određeno sa koliko utega se isprobavalo opteretiti gredu kako bi se dobila promjena napona. Počelo se stavljati utege od najmanjih masa do najvećih.

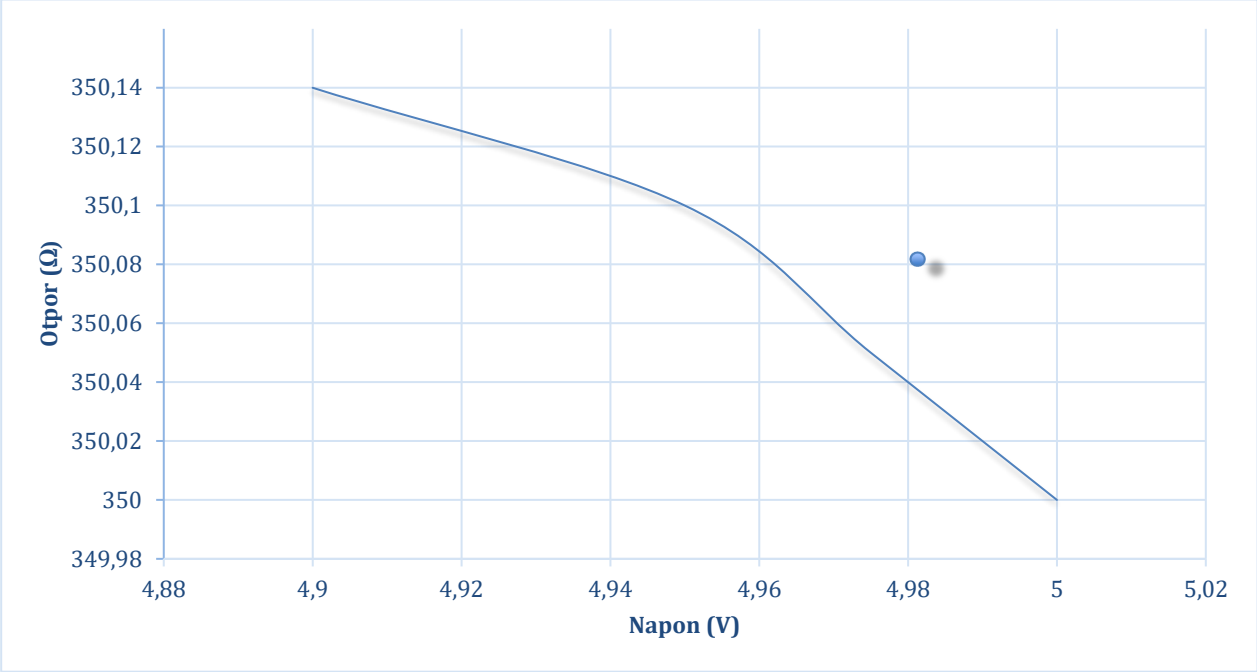
Također napravila se i jedna kontrola za stopu uzorkovanja, također određena prema masi utega. Nakon kreiranja dviju kontrola postavljen je graf za prikazivanje rada trake, *Create Graph Indicator*.



Slika 5.7 Kreiranje kontrola za broj i stopu mjerenja te graf za prikazivanje rada trake

Masa utega (kg)	Otpor (Ω)	Napon (V)
1	350	5
3	350,05	4,975
5	350,1	4,95
7	350,14	4,9

Tabela 5.1 Rezultati mjerenja opterećenja grede s utezima zadanih masa



Slika 5.8 Rezultati mjerenja opterečenja grede sa utezima zadanih masa

Na slici 5.8. grafički je prikazana ovisnost promjene napona o otporu dodavanjem utega zadanih masa. Iz grafa je vidljivo da promjena napona nije velika.

6. Zaključak

Mjerio se progib opterećene grede, aluminijskog profila, pomoću didaktičkog uređaja.

Elektrootporne mjerne trake detektiraju svaku promjenu napona prilikom djelovanja sile, tj. nekog otpora.

Vodići u mjernim trakicama mogu biti napravljeni iz različitih materijala, pa pokazuju različite odnose između deformacije i promjene otpora tj.naprezanja. Promjene otpora vodiča koje nastaju zbog deformacije su relativno male ali se točno mogu izmjeriti pomoću Wheatsteonovog mosta.

Neke od glavnih prednosti mjernih traka su da imaju dosta visoku preciznost mjerenja linijskih deformacija te visoku pouzdanost, zatim malu masu te nisku cijenu. Dok sa druge strane imaju i neke nedostatke npr. većinom koriste za jednokratnu uporabu te zahtjevaju pojačanje signala zbog niske razine izlaznog signala.

Da bi mjerne trake pravilno i točno bilježile promjenu deformacija tj. promjenu napona, moraju se dobro i pravilno postaviti, zalijepiti na mjerni element. Važno je i koristiti pravilno lijepilo.

Vrlo precizna metoda mjerenja vrijednosti nepoznatog otpora je Wheatsteonov most. Takva metoda se koristi za mjerenje otpora tenzometra, tj.mjerne trake koji su vrlo maleni, a temelji se na uravnoteženju mosta.

Za prikaz eksperimentalnog mjerenja naprezanja koristio se programski paket Labview.

U Varaždinu, 06.10.2020

_____

Hadjar Franjo

7. Literatura

Doktorski, magistarski i diplomski radovi:

[1] P. Crnčec : Kontrukcija i analiza mjernih oslonaca, završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin.

[2] Z. Domitran : Uređaji za umjeravanje momentnih ključeva, diplomski rad, Sveučilite u Zagrebu, Fakultet Strojarstva i brodogradnje, Zagreb.

[3] J. Trupković : Princip mjerenja tenziometarskim konzolnim čelijama, završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin.

[4] K. Meštrović : Ispitivanje simetričnosti opterećenja referentnog etalona sile, diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

[5] N. Stojko : Mjerenja u tehnološkim procesima, Tenzometri, seminarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Knjige:

[6] N. Zaimović – Uzinović; S. Lemeš, Proizvodna mjerenja, Univerzitet u Zenici, 2009.

[7] D. Levanić; K. Pisačić, Primjena informacijskih tehnologija, Sveučilište Sjever, 2016.

Internet izvori:

[8] Kartica za akviziciju podataka: https://www.ni.com/en-rs/support/model.usb-6210.html , dostupno dana 01.09.2020.

[9] Ljepila za mjerne trake: https://www.bcmsensor.com/product-category/strain-gauges/ , dostupno dana 01.09.2020.

[10] Labview programiranje: https://www.youtube.com/watch?v=5va-Tw-UTZE , dostupno dana 01.09.2020.

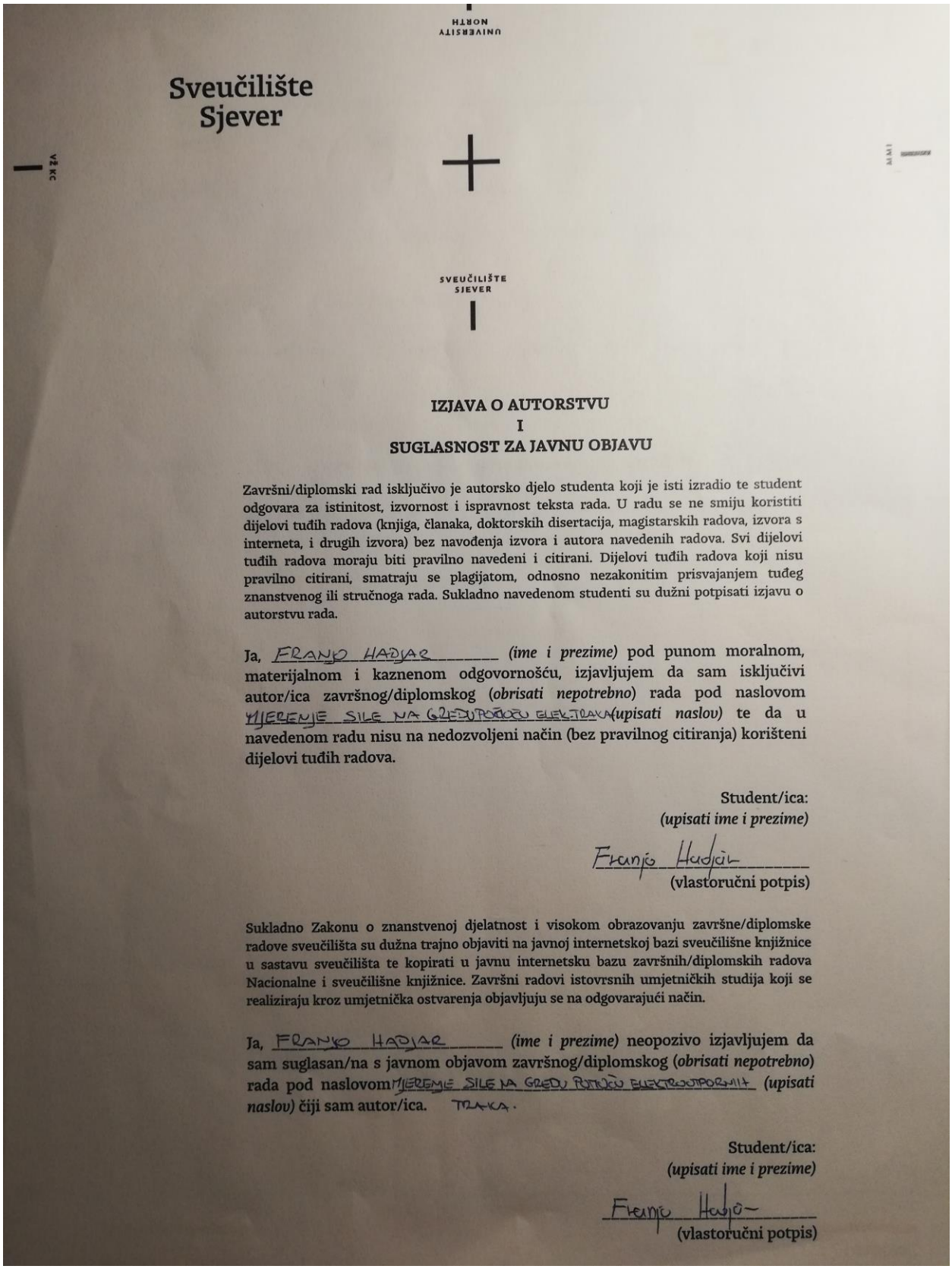
Časopisi:

[11] AGS-TECH : Coding System of strain gauges.

Popis slika

Slika 2.1 Elektrootporna mjerna traka B F 350 – 3AA 80 (23) M6-X 3
Slika 2.2 Osnovni način rada elastičnog elementa [1] 4
Slika 2.3 Značenje oznake mjerne trake [12].....6
Slika 2.4 Serije mjernih traka za naprezanje kod primjene pretvarača [12] 8
Slika 2.5 Elektrootporni tenzometar 9
Slika 2.6 Mjerni element manjeg promjera načinjen od aluminija 10
Slika 2.7 Tipovi elektrootpornih mjernih traka [1].....11
Slika 2.8 Deformacije kod rastezanja štapa kružnog presjeka (žica tenzometra) [6] 12
Slika 3.1 Postavljanje mjerne trake na mjerni element (mjerni objekt) [5] 17
Slika 3.2 Mjerni element i elektrootporne mjerne trake 19
Slika 3.3 Didaktički uređaj za mjerenje djelovanja sile 19
Slika 4.1 Wheatsteonov puni mjerni most [5] 21
Slika 4.2 Mjerno pojačalo model BF 350 3AA/1.5AA 23
Slika 5.1 Prikaz izmjerenih vrijednosti na grafu u Excelu 25
Slika 5.2 Kartica za akviziciju podataka USB 6210 26
Slika 5.3 Izgled glavnog sučelja programa Labview 27
Slika 5.4 Prikaz prozora za postavke mjernih traka 28
Slika 5.5 Kalibracija sporednog voda te postavljanje mjerenja na nulu 29
Slika 5.6 Mjerenje i kalibracija mjernih traka 29
Slika 5.7 Kreiranje kontrola za broj i stopu mjerenja te graf za prikazivanje rada trake 30
Slika 5.8 Rezultati mjerenja opterećenja grede sa utezima zadanih masa 31

c



Sveučilište Sjever

SVEUČILIŠTE SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, FRANJO HADJAR *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom MJERENJE SILE NA GREDU POMOĆU ELEKTRIČNA *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Franjo Hadjar
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, FRANJO HADJAR *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom MJERENJE SILE NA GREDU POMOĆU ELEKTROOTPORNIH TRAKA. *(upisati naslov)* čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Franjo Hadjar
(vlastoručni potpis)