Implementacija osjetnika momenta na eksperimentalni postav u Laboratoriju za motore i vozila

Mustać, Stipe

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:235:691397

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**

Repository / Repozitorij:

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

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Završni rad

Stipe Mustać

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Završni rad

Mentor:
doc. dr. sc. Darko Kozarac, dipl. ing.

Student:
Stipe Mustać

Zagreb, 2016.

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, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

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

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Stipe Mustać** Mat. br.: 0035190725

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Implementacija osjetnika momenta na eksperimentalni postav u Laboratoriju za motore i vozila**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Implementation of Torque Transducer on Experimental Setup in Laboratory of Engines and Vehicles**

Opis zadatka:

Laboratorij za motore i vozila je od tvrtke AVL donacijom dobio uređaj koji u svojem sklopu sadrži osjetnik momenta. Ovim radom potrebno je izraditi konstrukciju kojom će se taj osjetnik momenta implementirati na eksperimentalni postav. U radu je potrebno:

1. Odrediti tip i vrstu osjetnika te značajke rada istog.
2. Odrediti sheme spajanja osjetnika na laboratorijsku opremu.
3. Pomoću dostupne laboratorijske opreme spojiti osjetnik momenta na sustav za prikupljanje podataka (LabVIEW).
3. Analizirati mogućnosti spajanja osjetnika na vratilo eksperimentalnog postava.
4. Na temelju odabranog rješenja izraditi CAD model sklopa eksperimentalnog postava i osjetnika momenta.
5. Izraditi tehničku dokumentaciju svih elemenata spoja koje je potrebno izraditi.
6. Analizirati mogućnost umjeravanja osjetnika momenta na Fakultetu strojarstva i brodogradnje i ukoliko je moguće provesti umjeravanje.

Pri izradi se treba pridržavati pravila za izradu završnog rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

25. studenog 2015.

Rok predaje rada:
1. rok: 25. veljače 2016
2. rok (izvanredni): 20. lipnja 2016.
3. rok: 17. rujna 2016.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 29.2., 02. i 03.03. 2016.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2016.
3. rok: 19., 20. i 21. 09. 2016.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Darko Kozarac

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu te opremu iz Laboratorija za motore i vozila.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Darku Kozarcu na vođenju i pomoći u radu, asistentima mag.ing. Mladenu Božiću i dipl. ing. Anti Vučetiću na pomoći u radu u Laboratoriju te mag.ing. Ivanu Taritašu na pomoći kod izrade CAD modela i tehničke dokumentacije.

Stipe Mustać

Sadržaj

Popis slika ii

Popis tablica iii

Popis oznaka iv

Sažetak v

1 Uvod 1

2 Identifikacija prirubnice za mjerenje momenta 2
2.1 Moment-prirubnica T10FS . . . 3

3 Tip i vrsta osjetnika momenta te značajke rada istog 4
3.1 Metode mjerenja momenta . . . 4
3.1.1 Preračunavanje momenta iz električne snage . . . 4
3.1.2 Mjerenje momenta u obliku reakcije . . . 5
3.1.3 Mjerenje momenta in-line metodom . . . 5
3.2 Mjerno tijelo moment-prirubnica . . . 6
3.3 Tenzometarske trake *SGs* . . . 7
3.3.1 Princip rada tenzometarskih traka . . . 8
3.3.2 Faktor tenzometarske trake . . . 9
3.3.3 Wheatstone most . . . 9
3.3.4 Utjecaj temperature na mjerenje . . . 10

4 Shema spajanja osjetnika na laboratorijsku opremu 11
4.1 Funkcije konektora . . . 11
4.1.1 Konektor 1 . . . 12
4.1.2 Konektor 3 . . . 12
4.2 Prijenos signala . . . 13
4.2.1 Beskontakni prijenos signala u T10 izvedbama . . . 13
4.3 Izlazni signal mjerenja momenta . . . 14
4.4 Električno spajanje . . . 15
4.4.1 Mjerni kabeli . . . 15
4.4.2 Mjerna pojačala . . . 15
4.4.3 Metoda combined frequency count/cycle duration . . . 16
4.5 Shema spajanja . . . 17
4.6 Mjerenje momenta . . . 17
4.6.1 Spajanje na laboratorijsku opremu National Instruments . . . 19
4.7 Umjeravanje osjetnika momenta . . . 23
4.7.1 Umjeravanje osjetnika momenta u Laboratoriju za motore i vozila . 23
4.7.2 Planirano umjeravanje osjetnika momenta u Laboratoriju za elemente strojeva . . . 28
4.7.3 Prikaz CAD modela elemenata potrebnih za umjeravanje osjetnika momenta u Laboratoriju za elemente strojeva . . . 29

5 Analiza spajanja osjetnika na vratilo eksperimentalnog postava i prikaz CAD modela 31
5.1 Idejna rješenja 31
5.1.1 Prvo rješenje 31
5.1.2 Drugo rješenje 32
5.2 Prikaz CAD modela elemenata eksperimntnalnog postava 33

6 Zaključak 37

Literatura 38

Prilozi 39

Popis slika

1 Slika 1. Identifikacija prirubnice 2
2 Slika 2. T10FS moment-prirubnica 3
3 Slika 3. Struktura moment-prirubnice [1] 4
4 Slika 4. Mjerenje reakcijske poluge na poluzi [1] 5
5 Slika 5. Shema mjerenja momenta in-line metodom [1] 5
6 Slika 6. Vrste mjernih tijela moment-prirubnica [1] 6
7 Slika 7. Mjerno tijelo T10FS moment prirubnice [1] 7
8 Slika 8. Tenzometarske trake [9] 7
9 Slika 9. Shema duljinske deformacija [11] 8
10 Slika 10. Princip rada tenzometarskih traka 8
11 Slika 11. Shema Wheatstoneog mosta 9
12 Slika 12. Shema smanjenja utjecaja temperature na mjerenje s tenzometarskim trakama [11] 10
13 Slika 13. Pozicija konektora 1 i konektora 3 na statoru 11
14 Slika 14. Shema konektora 1 i konektora 3 11
15 Slika 15. Beskontakni prijenos signala u T10 izvedbama [1] 13
16 Slika 16. Izlazni signal u obliku frekvencije [4] 14
17 Slika 17. Pojednostavljena skica zaštitnog kabela Greenline dizajna [1] . . 15
18 Slika 18. Filter signala mjerenja [1] 16
19 Slika 19. Analiza frekvencije [1] 16
20 Slika 20. Shema idejnog rješenja spajanja 17
21 Slika 21. Iznos frevencije ovisno o smjeru vrtnje [1] 17
22 Slika 22. Konektor 3 - napon napajanja, konektor 1 - izlaz signala mjerenja 18
23 Slika 23. Spajanje prirubnice na osciloskop i izlazni signal 18
24 Slika 24. Shema spajanja na laboratorijsku opremu National Instruments . . 19
25 Slika 25. Napajanje moment-prirubnice i spoj na izlaz signala mjerenja . . 20
26 Slika 26. Uređaji NI-cRIO9074 i NI 9401 [13] i [14] 20
27 Slika 27. Grafičko sučelje HS01 Trigger koda 21
28 Slika 28. Shematski prikaz programa određivanja frekvencije ulaznog signala izrađenog u programu LabVIEW 21
29 Slika 29. Grafičko sučelje za promatranje rezultata 22
30 Slika 30. Kod za preračunavanje frekvencije u moment 22
31 Slika 31. Skica opterećivanja prirubnice polugom i utezima 23
32 Slika 32. Detalj šipke s provrtima za vezu na moment prirubnicu 23
33 Slika 33. Opterećivanje prirubnice 24
34 Slika 34. Linija trenda vrijednosti očitane frekvencije 25
35 Slika 35. Linearna karateristika ovisnosti prema tvornički određenoj karakteristici 26
36 Slika 36. Usporedba momenta po karakteristici proizvođača iz očitane frekvencije i momenta po liniji trenda s momentom ostvarenim preko poluge . . 27
37 Slika 37. TRX mjerne doze [15] 28
38 Slika 38. CAD model postava pri umjeravanju osjetnika momenta 29
39 Slika 39. CAD model prirubnice prema mjernoj dozi 29
40 Slika 40. UPE profil 30

41 Slika 41. Shema prvog rješenja kompenzacije razlike visine osi vrtnje . . . 31
42 Slika 42. Shema drugog rješenja kompenzacije razlike visine osi vrtnje . . . 32
43 Slika 43. CAD model eksperimentalnog postava bez MSUI 33
44 Slika 44. CAD model T10FS moment-prirubnice s potrebnim prirubnicama za spajanje 34
45 Slika 45. CAD model rješenja kompenzacije razlike visine osi vrtnje 34
46 Slika 46. CAD model prirubnice prema EM 35
47 Slika 47. CAD model prirubnice prema homokinetičkom sklopu 35
48 Slika 48. CAD model glavine steznog spoja 35
49 Slika 49. CAD model postolja 36
50 Slika 50. L profil 36

Popis tablica:

1 Tablica 1. Kod narudžbe 2
2 Tablica 2. Funkcije pinova konektora 1 12
3 Tablica 3. Funkcije pinova konektora 3 12
4 Tablica 4. Pinovi konektora 1 korišteni za spajanje na laboratorijsku opremu 19
5 Tablica 5. Mase utega za opterećivanje prirubnice 24
6 Tablica 6. Podaci o mjerenju 25
7 Tablica 7. Podaci o ovisnosti momenta iz očitane frekvencije prema tvornički određenoj karakteristici 26
8 Tablica 8. Usporedba momenta po karakteristici proizvođača iz očitane frekvencije i momenta po liniji trenda s momentom ostvarenim preko poluge . . 27

Popis oznaka

Oznaka	Jedinica	Značenje
ϵ	-	duljinska deformacija
a	[mm]	duljina kraka šipke za opterećivanje T10FS moment prirubnice
f	[kHz]	frekvencija
f_1	[kHz]	frekvencija prema proizvođaču za određeni moment (očekivana frekvencija)
f_2	[kHz]	frekvencija očitana nakon spajanja na laboratorijsku opremu
GF	-	faktor tenzometarske trake
g	[m/s^2]	gravitacijsko ubrzanje
G	[N]	težina
I	[A]	jakost struje
l	[m]	ukupna duljina šipke za opterećivanje T10FS moment prirubnice
L	[m]	početna duljina tenzometarske trake
ΔL	[m]	duljinska deformacija
m	[Nm]	moment
M_1	[Nm]	moment ostvaren preko poluge na T10FS moment prirubnicu
M_2	[Nm]	moment iz očitane frekvencije računat po karakteristici proizvođača
M_3	[Nm]	moment nakon umjeravanja osjetnika momenta u Laboratoriju za MiV (po liniji trenda)
n	-	broj opterećivanja T10FS moment prirubnice i broj očitavanja izlazne frekvencije
R_1	[Ω]	iznos otpora prvog otpornika u Wheatstone mostu
R_2	[Ω]	iznos otpora drugog otpornika u Wheatstone mostu
R_3	[Ω]	iznos otpora trećeg otpornika u Wheatstone mostu
R_x	[Ω]	iznos otpora promjenjivog otpornika u Wheatstone mostu
ΔR	[Ω]	promjena otpora promjenjivog otpornika u Wheatstone mostu uzrokovana deformacijom
R_G	[Ω]	otpor tenzometarske trake bez deformacije
U	[V]	napon izvora
U_V	[V]	napon na galvanometru Wheatstone mosta

Sažetak

Jedan od mnogobrojnih uređaja za mjerenje momenta je i prirubnica za mjerenje momenta koja u svom sklopu sadrži osjetnik momenta. Fakultet strojarstva i brodogradnje je u donaciji od tvrtke AVL dobio takvu prirubnicu iz serije T10FS, izrađenu u tvrtki HBM.
Ovaj rad će se započeti identifikacijom prirubnice za mjerenje momenta, određivanjem elemenata u sklopu prirubnice te određivanje značajki i karateristika rada istih. Cilj rada je odrediti elektroničku shemu spajanja osjetnika na ekperimentalni postav koji se nalazi u Laboratoriju za motore i vozila, Fakulteta strojarstva i brodogradnje, a potom analizirati i odabrati konstrukcijska rješenja prihvata prirubnice za mjerenje momenta na isti.
Bit će analizira i mogućnost umjeravanja osjetnika na Fakultetu strojarstva i brodogradnje te na kraju priložena tehnička dokumentacija svih elemenata koje je potrebno izraditi.

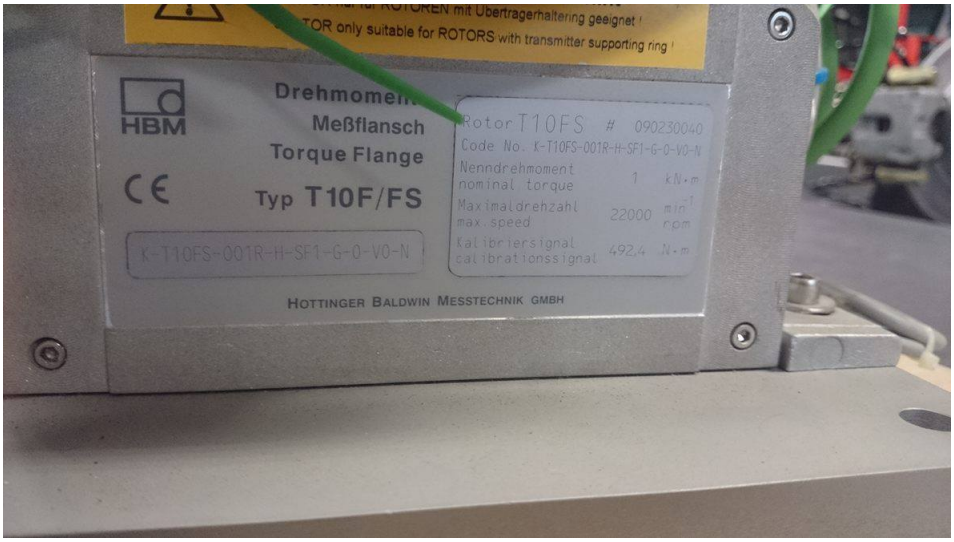
Ključne riječi: mjerenje momenta, moment-prirubnica, T10FS, tenzometarske trake, osjetnik momenta

1 Uvod

Laboratorij za motore i vozila je od tvrtke AVL donacijom dobio prirubnicu za mjerenje momenta (u daljnjem tekstu moment-prirubnica), serije T10FS izrađene u HBM-u. Prirubnica u svom sklopu sadrži osjetnik momenta. Katedra za motore i vozila planira implementaciju osjetnika momenta na vratilo eksperimentalnog postava u Laboratoriju, a to je i tema ovoga rada.
Pošto se o moment-prirubnici i njenim značajkama malo zna, rad započinje s identifikacijom iste, prikupljanjem potrebnih dokumenata te analizom elemenata u njenom sklopu. Elementima će se definirati značajke i principi rada. Odredit će se vrsta mjernog tijela i vrsta osjetnika momenta. Odredit će se vrste napajanja uređaja kao i vrste izlaznih signala mjerenja, parametri potrebni za spajanje osjetnika na laboratorijsku opremu.
U daljnjem radu postupno će se analizirati i razraditi spajanje osjetnika na laboratorijsku opremu, a konačno i izvršiti spajanje. Analizirat će se konstukcijsko spajanje na vratilo eksperimentalnog sastava, prikazati idejna rješenja i njihove CAD modele.
Analizirat će se mogućnost umjeravanja osjetnika na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Potom će se prikazati tehnička dokumntacija elemenata koje je potrebno izraditi/prepraviti, potrebnih za implementaciju osjetnika momenta na eksperimentalni postav i njegovo umjeravanje.

2 Identifikacija prirubnice za mjerenje momenta

Identifikacija moment-prirubnice je započeta analizom pločice na statoru moment-prirubnice prikazane na slici 1.



Slika 1. Identifikacija prirubnice

S pločice su očitani sljedeći podaci koji će se koristiti za određivanje značajki rada moment-prirubnice:
• TIP: T10F/FS
• Rotor: T10FS
• KOD: K-T10FS-001R-H-SF1-G-O-VO-N
Iz očitanih podataka o monent-prirubnici može se prema [4] odrediti značenje koda narudžbe što je prikazano u tablici 1.

Tablica 1. Kod narudžbe

Kod narudžbe	**Opcija**	**Izvedba**
001R	Mjerno područje	1 kNm
H	Nazivna brzina	Nazivna brzina ovisno o mjernom području 12000-22000 min^{-1}
SF1	Električna konfiguracija	Izlazni signal 10 kHz ± 5 kHz, Napon napajanja 18...30 V istosmjerne struje.
G	Preciznost	Veća preciznost, LIN. $\leq \pm 0,03$ % $TK_0 \leq \pm 0,03$ %
O	Sistem mjerenja brzine	Bez
VO	Kabel za spajanje	Bez
N	Dodaci	Bez

2.1 Moment-prirubnica T10FS

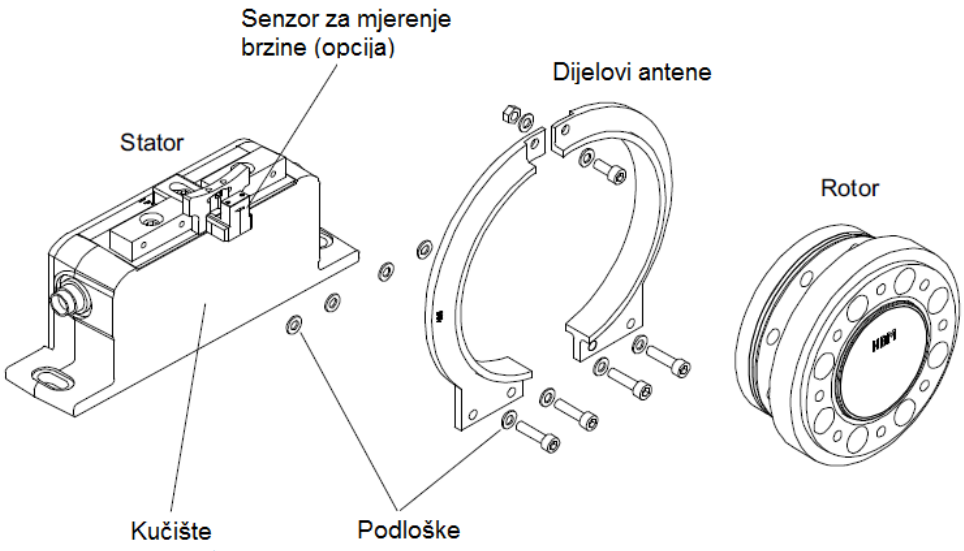
Nakon identifikacije moment-prirubnice mogu se opisati značajke iste.
T10FS moment-prirubnica može mjeriti statički i dinamički moment na učvršćenom vratilu ili vratilu koje se rotira. Na izlazu signala daje RS-422 signale s informacijama o smjeru rotacije za određivanje brzine.
T10FS prirubnica je nadogradnja izvedbe T10F, s povećanim područjem mjerenja visoke preciznosti, većih brzina i manjeg vanjskog promjera. Dizajn je temeljen na T10F prirubnici kao i princip mjerenja smičnim opterećenjem.
Patetintirana i kompaktna geometrija mjernog tijela povećava preciznost mjerenja i štedi novac. Mala težina smanjuje opterećenja testnog postolja i uležištenja. Mali momenti inercije rezultiraju s malim dinamičkim momentima pri ubrzavanju i kočenju. Pošto nema ležajeva ni slip-prstena, nema ni troškova održavanja sistema mjerenja momenta. Zahvaljujući modularnoj strukturi postoji velik broj mehatroničkih varijanti.
Dizajn bez ležajeva i beskontaktni prijenos napona uzbude i izmjerenih vrijednosti omogućuje rad bez trenja i zagrijavanja ležajeva.
T10FS prirubnica je zaštićena od elektromagnetnih smetnji.

• Nominalni momenti : 100 Nm, 200 Nm, 500 Nm, 1 kNm, 2 kNm, 3 kNm, 5 kNm i 10 kNm
• Nominalna brzina rotacije od 12000 min^{-1} do 24000 min^{-1}
• Male mase rotora
• Mala masa inercije
• Mali vanjski promjer
• Nema ležajeva ni slip-prstena
• Opcija: ugrađeni optički sistem za mjerenje brzine

Slika 2. T10FS moment-prirubnica

3 Tip i vrsta osjetnika momenta te značajke rada istog

Sklop moment-prirubnice sastoji se od dva dijela: rotora i statora kao što je prikazano na slici 3. Rotor u sebi sadrži mjerno tijelo i elemente za prijenos signala.
Kao osjetnik koriste se tenzometarske trake *SGs - Strain gauge sensors* koje su ugrađene na mjerno tijelo. Elektronika rotora za prijenos napona uzbude mosta i signala mjerenja nalazi se u središtu prirubnice. Odašiljač zavojnice za beskontaktni prijenos napona uzbude mosta i signala mjerenja nalazi se na vanjskom obodu mjernog tijela. Signali se odašilju i primaju preko odvojenog prstena, antene. Prsten antene je ugrađen na kućište u kojem se nalaze sistem za prilagodbu napona i pretvorbu signala.
Priključci za izlazni signal mjerenja momenta i napajanje smješteni su na statoru. Prsten antene je ugrađen koncentrično oko rotora.



Slika 3. Struktura moment-prirubnice [1]

3.1 Metode mjerenja momenta

Mjerenje momenta može se provoditi kroz više metoda:
• Preračunavanje momenta iz električne snage
• Mjerenje momenta u obliku reakcije
• Mjerenje momenta in-line metodom

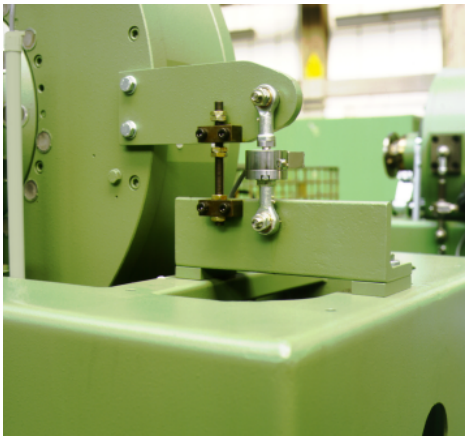
3.1.1 Preračunavanje momenta iz električne snage

Moment se može preračunati iz električne snage i brzine vrtnje. Moderna mjerna oprema lako definira iznose električne snage i brzine vrtnje električnih strojeva. Ipak, u preračunavanju momenta se mogu dogoditi veće greške uzrokovane disipacijom snage.

Značajna prednost ove metode je u tome što nije potreban nikakav oblik mehaničke intervencije u pogonski sklop.

3.1.2 Mjerenje momenta u obliku reakcije

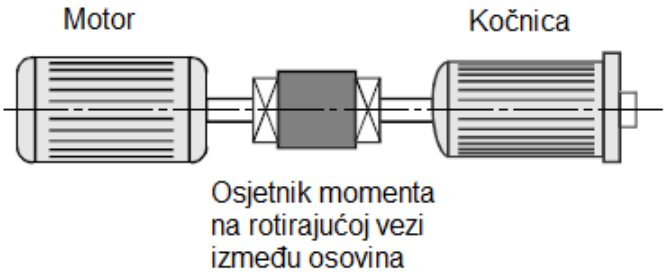
Mjerenje reakcijske sile na poluzi
Metoda mjerenja reakcijske sile temelji se na principu prema kojem je in-line moment pogonskog sklopa jednak reakcijskom momentu koji se ostvaruje na poluzi i ova metoda se često koristi u određivanju snage. Jedno od rješenja ove metoda je prikazano na slici 4.
Sila koja djeluje na kraj poluge je mjerena osjetnikom sile i ovakvo rješenje istiskuje kompliciranije mehaničke intervencije u pogonskom sklopu. Značajna je i inercija većih masa što otežava dinamička mjerenja, ali ova značajka može biti i prednost u mjerenjima gdje dinamički moment nema važnost.



Slika 4. Mjerenje reakcijske poluge na poluzi [1]

3.1.3 Mjerenje momenta in-line metodom

Mjerenje momenta in-line metodom se provodi na rotirajućoj vezi između osovina i shema mjerenja momenta metodom je prikazana na slici 5.
Elementi za mjerenje momenta (s osjetnikom momenta u svom sklopu) su podijeljeni u tri grupe: osovine za mjerenje momenta, glavine za mjerenje momenta i prirubnice za mjerenje momenta.

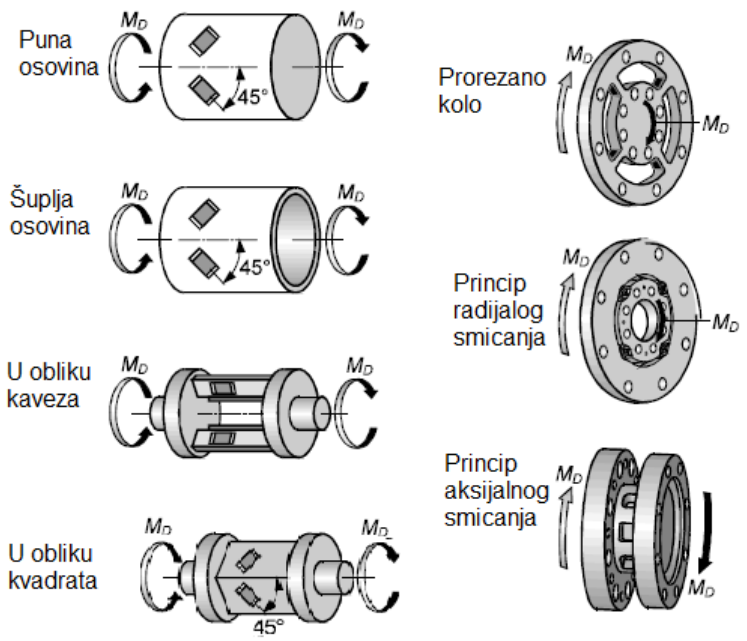


Slika 5. Shema mjerenja momenta in-line metodom [1]

Najčešće rješenje za određivanje iznosa momenta pomoću ove metode mjerenja je u obliku transformacije elastične deformacije u promjenu iznosa električnog otpora.
Transformacija elastične deformacije u promjenu iznosa električnog otpora izvodi se pomoću tenzometarskih traka (SGs), koje mijenjaju iznos svog električnog otpora s obzirom na defomaciju kojoj su podloženi.
HBM-ove moment-prirubnice serije T10FS koriste se u mjerenju momenta in-line metodom i u svom sklopu sadrže mjerno tijelo na kojem se nalaze osjetnici momenta u obliku tenzometarskih traka.

3.2 Mjerno tijelo moment-prirubnica

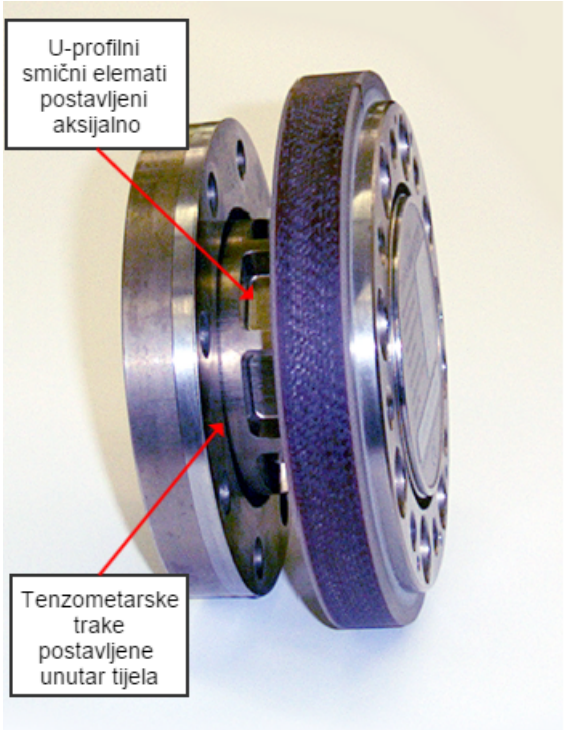
Mjerno tijelo se nalazi u sklopu rotacijskog sustava transmisije i moment koji ono mjeri ga ujedno i elastično deformira. Deformacija koja nastaje je očitana preko tenzometarskih traka. Mjerna tijela mogu biti raznih oblika, ali moraju biti glatkih površina na koje se lijepe tenzometarske trake. Najčešći oblici tijela su prikazani na slici 6.



Slika 6. Vrste mjernih tijela moment-prirubnica [1]

Mjerna tijela s punim, šupljim i kvadratnim presjekom (prva, druga i četvrta shema lijevo na slici 6.) koriste se samo kod torzijskog opterećenja.
Mjerna tijela u obliku kaveza i prorezanog kola (treća shema lijevo i prva shema desno na slici 6.) koriste se kod pojave lokalnog savijanja u mjernom tijelu.
HBM je sredinom 1990-ih godina prvi započeo proizvodnju mjernih tijela koja koriste princip smicanja u mjerenju momenta (druga i treća shema desno na slici 6.). Ova mjerna tijela se odlikuju odličnim omjerima lateralne krutosti u smjerovima okomitima na smjer mjerenja. Mjerno tijelo T10FS moment prirubnice dizajnirano je u obliku U-profilnih smičnih

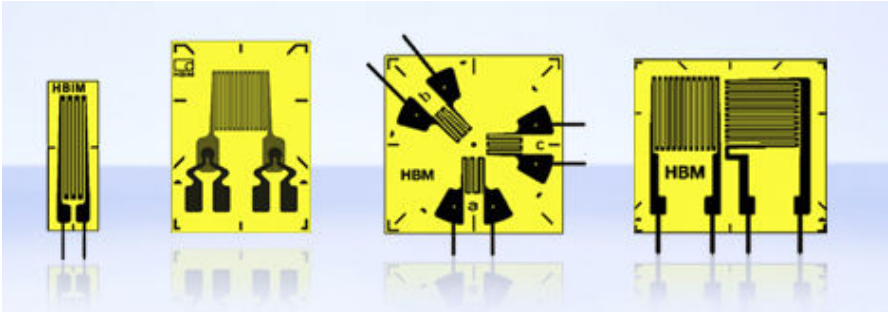
elemata postavljenih aksijalno i prikazano je na slici 7. Tenzometarske trake su postavljene s unutarnje strane mjernog tijela.



Slika 7. Mjerno tijelo T10FS moment prirubnice [1]

3.3 Tenzometarske trake *SGs*

Tenzometarska traka je uređaj koji se koristi za mjerenje deformacija nekog objekta, a neki oblici tenzometarskih traka su prikazani na slici 8.
Uređaj su izumili Edward E. Simmons i Arthur C. Ruge 1938. godine, a najčešći tip korištenih tenzometarskih traka sastoji se od izolacijskog fleksibilnog nosača koja podupire metalnu foliju s uzorkom. Tenzometarska traka je spojena na objekt s odgovarajućim prijanjalom, kao što je cijanoakrilat. Kako se objekt deformira, folija se deformira uzrokujući promjenu njenog električnog otpora. Ova promjena u otporu, obično mjerena pomoću metode Wheatstoneog mosta, povezana je s deformacijom preko faktora tenzometarske trake.



Slika 8. Tenzometarske trake [9]

3.3.1 Princip rada tenzometarskih traka

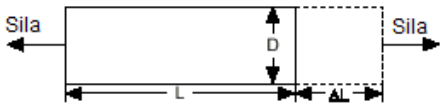
Duljinska deformacija je određena omjerom:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}, \tag{3.1}$$

gdje je:

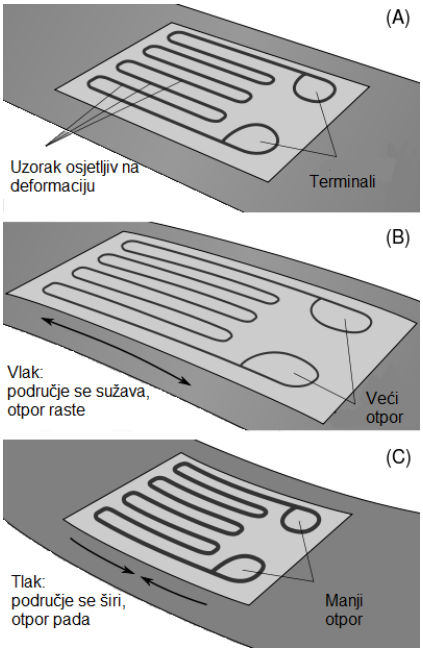
L - početna duljina elementa,

ΔL - promjena u duljini elementa.



Slika 9. Shema duljinske deformacija [11]

Tenzometarska traka koristi fizikalno svojstvo elektorične vodljivosti i njezine ovisnosti o geometriji vodiča, a princip rada je prikazan na slici 10. Kad je električni vodič rastegnut u granicama svoje elastičnosti tako da ne pukne ili se ne deformira trajno, postat će uži i duži, što su promjene koje povećavaju njegov električni otpor. Suprotno, kad se vodič stlači tako da se ne izvije, postat će širi i kraći, što su promjene koje smanjuju njegov električni otpor. Iz izmjerenog elektoričnog otpora tenzometarske trake može se odrediti inducirano naprezanje. Tipična tenzometarska traka sadrži dugu, tanku vodič-traku u obliku cik-cak uzorka paralelnih linija, tako da i malo naprezanje u smjeru paralelnih linija rezultira nekoliko puta većom izmjerenom deformacijom. To je posljedica efektivne duljine vodiča u polju linija vodiča i uzrok nekoliko puta većom promjenom u otporu nego što bi ona bila u slučaju jedne ravne vodiča-trake.



Slika 10. Princip rada tenzometarskih traka

3.3.2 Faktor tenzometarske trake

Faktor tenzomeatrske trake GF je definiran izrazom:

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R_G}}{\epsilon}, \tag{3.2}$$

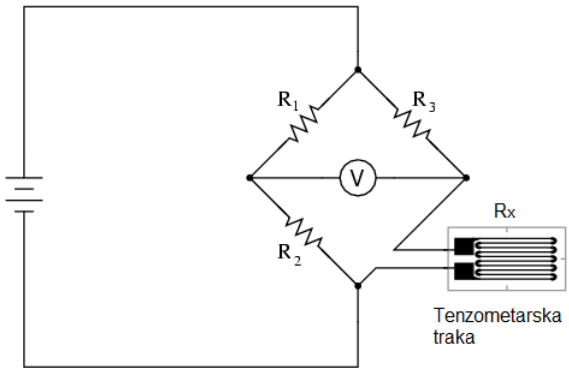
gdje je:

ΔR - promjena u otporu uzrokovana deformacijom,

R_G - otpor tenzometarske trake bez deformacije i

ϵ - deformacija.

3.3.3 Wheatstone most



Slika 11. Shema Wheatstoneog mosta

Wheatstone most je električni krug koji se koristi za mjerenje nepoznatog električnog otpora balansirajući dvije grane kruga mosta, od kojih jedna sadrži nepoznati otpor. Osnovna prednost ove metode je mogućnost provođenja vrlo točnih mjerenja. Rad Wheatstone mosta je sličan originalnom potenciometru. Izumio ga je Samuel H. Christie, a unaprijedio i popularizirao Charles Wheatstone sredinom 19. stoljeća. Jedna od primarnih funkcija ove metode bila je analiza i usporedba tla.

Princip rada Wheatstoneog mosta

Neka je R_x nepoznati otpor koji se treba izmjeriti, dok su R_1, R_2 i R_3 poznati otpori kao prema slici 11. Otpor R_2 ima mogućnost promjene iznosa otpora. Ako je omjer otpora jedne grane $\frac{R_2}{R_1}$ jednak omjeru druge grane $\frac{R_x}{R_3}$ struja neće prolazit kroz galvanometar između grana i on će očitavati vrijednost 0 V. Ako most nije u ravnoteži, smjer struje pokazuje je li R_2 prevelik ili premali, a iznos se regulira dok se ne uspostavi ravnoteža. Ravnoteža se može uspostaviti s velikom preciznošću, a iznos otpora R_x se može potom izračunati preko izraza:

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3. \tag{3.3}$$

Alternativno, ako su R_1, R_2 i R_3 poznati, a otpor R_2 nema mogućnost promjene iznosa, protok struje kroz galvanometar se može koristiti za određivanje iznosa otpora R_x koristeći Kirchhoff pravilo. Ovakva metoda se koristi kod tenzometarskih traka s obzirom da je lakše očitati iznos napona galvanometra nego uspostavljati ravnotežu mosta.

$$U_V = U \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_G}{R_G + R_3} \right) \text{ [V]}, \tag{3.4}$$

gdje je:

U_V - napon na galvanometru,

U - napon izvora,

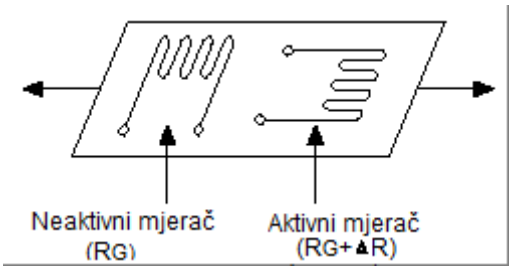
R_G - otpor tenzometarske trake bez deformacije.

Bilokakva promjena u otporu mjerača uzrokuje neravnotežu mosta. Ta promjena iznosi iz izraza (3.2):

$$\Delta R = R_G \cdot GF \cdot \epsilon. \tag{3.5}$$

3.3.4 Utjecaj temperature na mjerenje

U idealnom slučaju otpor tenzometarskih traka će se mijenjati samo uslijed deformacija uzrokovanih okretnim momentom. Ipak, u većini slučajeva otpor tenzometarskih traka se mijenja i zbog temperaturnih širenja/stezanja. Prvotna rješenja za sprječavanje promjene otpora tenzometarskih traka uslijed promjena temperature su bila u obliku traka od materijala sa smanjenim utjecajem temperature na deformaciju, ali konačni rezultati nisu davali željenu preciznost u mjerenju.
Rješenje koje je davalo najveću prezinost je izvedeno spajanjem u paru, u istoj grani Wheatstoneog mosta, dvije tenzometarske trake koje su zaokrenute za 90 stupnjeva jedna u odnosu na drugu. Shema rješenja je prikazana na slici 12.

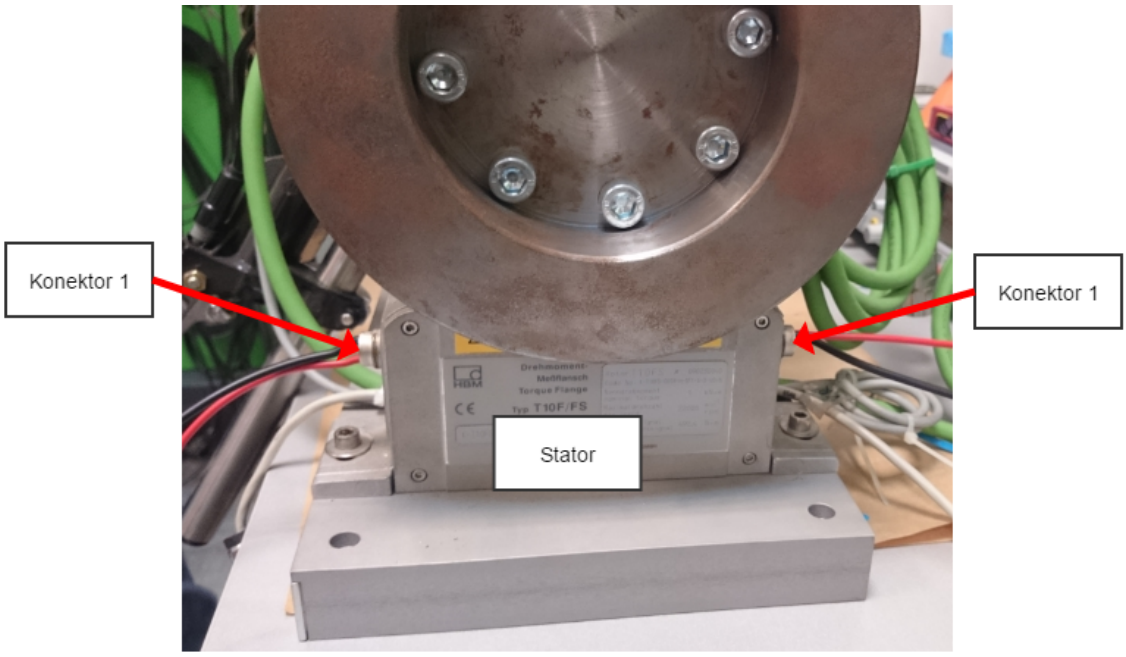


Slika 12. Shema smanjenja utjecaja temperature na mjerenje s tenzometarskim trakama [11]

Aktivna tenzometarska traka je postavljena paralelno smjeru deformacije, a druga okomito. Deformacija ima malog utjecaja na neaktivnu tenzometarsku traku, ali temperatura ima jednak utjecaj na obe trake pa omjer otpora ostaje nepromijenjen.
T10FS moment-prirubnica posjeduje značajku utjecaja temperature na nul-točku (0 Nm, 10 kHz) u iznosu $TK_0 \pm 0,03\%$.

4 Shema spajanja osjetnika na laboratorijsku opremu

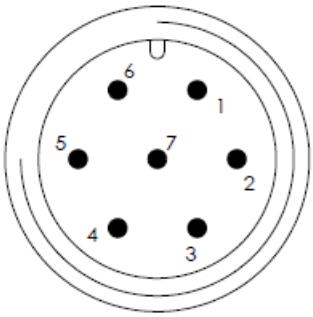
Na kućištu statora nalaze se dva priključka u obliku konektora (Binder 723) sa 7 pinova kako je prikazano na slici 13. Konektor 1 služi za napon napajanja i izlazni signal u obliku frenkvencije, a konektor 3 služi za napon napajanja i izlazni signal u obliku napona. Konektor 2 u nekim izvedbama prirubnice ima ulogu kod sistema mjerenja brzine, ali nije uključen u ovoj izvedbi. Napon napajanja i kalibracija signala konektora 1 i konektora 3 su direktno spojeni preko automatskih resetirajućih osigurača.



Slika 13. Pozicija konektora 1 i konektora 3 na statoru

4.1 Funkcije konektora

Konektor 1 i konektor 3 su identičnog oblika Binder 723 s po 7 pinova za spajanje što je prikazano na slici 14.



Slika 14. Shema konektora 1 i konektora 3

4.1.1 Konektor 1

Konektor 1 ima funkciju spajanja na napon napajanja i služi kao izlaz signala mjerenja u obliku frekvencije. Funkcije pinova za spajanje konektora 1 su prikazane u tablici 2.

Tablica 2. Funkcije pinova konektora 1

Pin	Funkcija
1	Signal mjerenja momenta (izlaz u obliku frekvencije; 5 V; 0 V)
2	Napon napajanja 0 V
3	Napon napajanja 18 V-30 V
4	Signal mjerenja momenta (izlaz u obliku frekvencije; 5 V/12 V); signal +
5	Signal mjerenja 0 V; simetrično; signal -
6	Okidač kalibracije signala 5 V-30 V
7	Kalibracija signala 0 V
	Zaštita spojena s uzemljenjem kučišta

4.1.2 Konektor 3

Konektor 3 ima funkciju spajanja na napon napajanja i služi kao izlaz signala mjerenja u obliku napona. Funkcije pinova za spajanje konektora 3 su prikazane u tablici 3.

Tablica 3. Funkcije pinova konektora 3

Pin	Funkcija
1	Signal mjerenja momenta (izlaz u obliku napona; 0 V)
2	Napon napajanja 0 V
3	Napon napajanja 18 V-30 V DC
4	Signal mjerenja momenta (izlaz frekvencije; ±10 V)
5	Nema funkcije
6	Okidač kalibracije signala 5 V-30 V
7	Kalibracija signala 0 V
	Zaštita spojena s uzemljenjem kućišta

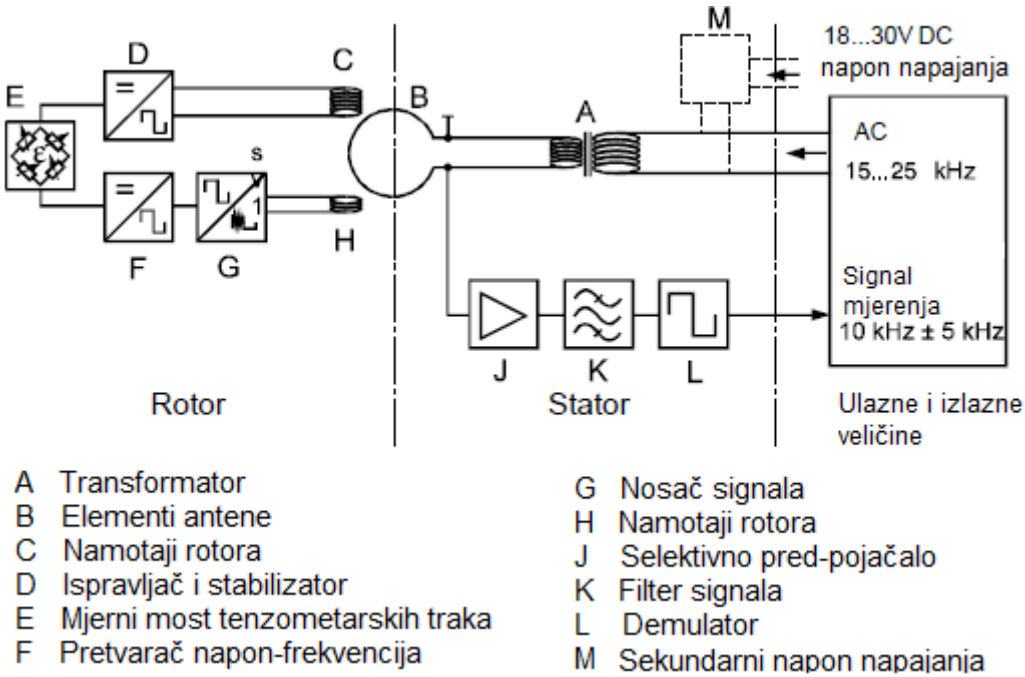
Pretvarač mora biti napajan vrlo malim naponom (18...30 V DC istosmjerne struje).

4.2 Prijenos signala

Postoje dva načina prijenosa signala mjerenja i napona napajanja između rotora i statora:
• Prijenos signala preko slip-prstenova
• Beskontaktni prijenos signala

4.2.1 Beskontakni prijenos signala u T10 izvedbama

Sustav beskontaknog prijenosa signala je ugrađen u moment-prirubnice koji imaju očekivano dugotrajno korištenje pri visokim brzinama vrtnje. Takvi tipovi prirubnica imaju specijalne elektroničke komponente prijenosa napona napajanja i signala mjerenja koje se mogu vidjeti na slici 15.



Slika 15. Beskontakni prijenos signala u T10 izvedbama [1]

Napajanje moment-prirubnice može biti izvedeno kao:
• Napajanje AC naponom izmjenične struje i korištenje mehanički odvojenih prijenosnih sklopova za prijenos energije do rotora i signala mjerenja
• Napajanje DC naponom istosmjerne struje i korištenje mehanički zajedničkih sklopova prijenosa.

Elementi antene (B) statora su napajani AC naponom izmjenične struje frekvencije 15-25 kHz. U isto vrijeme transformator (A) provodi adaptaciju napona. Energija je prenesena induktivitetom na rotor. Namotaji rotora (C) primaju napon napajanja koji se nakon ispravljanja i stabilizacije u (D) dostavlja elektronici rotora i tako se napaja mjerni most tenzometarskih traka.
Izlazni napon mosta kontrolira frekvenciju napona pretvarača (F). Ovaj napon pali i gasi

signal pripremljen za beskontaktni prijenos (G) koji se šalje u sekundarne namotaje rotora (H). Elementi antene (B) primaju signal (G) iz kojeg je izdvojen frekvencijko-modulacijski signal mjerenja uz pomoć selektivnog pred-pojačala (J), filtera (K) i demulatora (L). Signal mjerenja je tada dostupan na konektoru u formi frekvencije od 10 kHz ± 5 kHz.

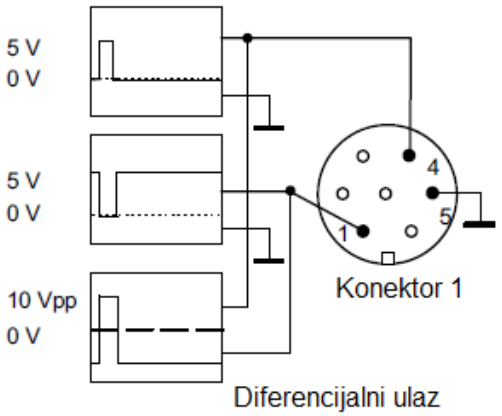
Kao dodatak AC naponu napajanja izmjenične struje, T10 izvedbe također nude i opciju asimetričnog 18...30 V DC napona napajanja istosmjerne struje. Pretvorba istosmjernog napona u izmjenični napon potreban za napajanje elemenata antene je izvedena prebacivanjem izvora energije u statoru prirubnice. Signal mjerenja je provođen kroz sustav kako je opisano iznad.

Za spajanje na T10FS moment-prirubnicu koda SF1 (iz tablice 1.) koristit će se napon od +24 V istosmjerne struje.

4.3 Izlazni signal mjerenja momenta

U moment-prirubnicama s beskontaktnim prijenosom energije i signala mjerenja standarni signal na izlazu ima frenkvenciju 10 kHz ± 5 kHz.
U T10FS moment-prirubnicama koda SF1 signali na izlazu u obliku frenkvencije su simetrični, komplementarni RS-422 signali, napona od 5 V.

Signal u obliku frenkvencije se prikuplja na pinu 4, a njemu suprotan signal se prikuplja na pinu 1 kako je prikazano na slici 16.



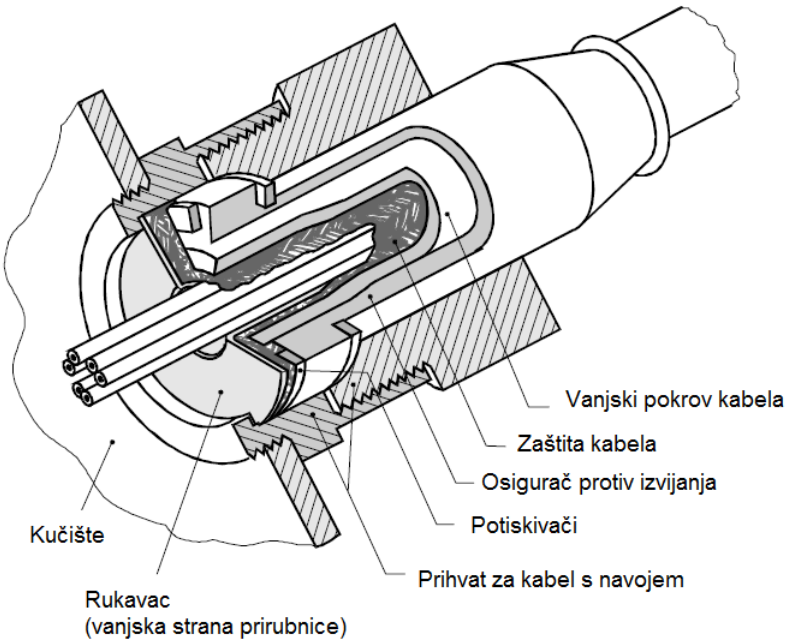
Slika 16. Izlazni signal u obliku frekvencije [4]

RS-422
RS-422 je tehnički standard osmišljen u EIA (*Electronic Industries Alliance*) koji definira električne karakteristike digitalnog signala. Takvi signali se nazivaju komplementarni ili diferencijalni i mogu se odašiljati brzinom 10 Mbit/s.

4.4 Električno spajanje

4.4.1 Mjerni kabeli

Zaštićeni, mjerni kabeli od HBM-a malog kapaciteta su preporučeni za električno spajanje osjetnika momenta i mjernog pojačala. Takvi kabeli povećavaju sigurnost u radu i osiguravaju zaštitu od elektromagnetskih smetnji. Struktura kabela je prikazana na slici 17.
Zaštita kabela je povezana tako da se pruža preko površine i moment-prirubnice i mjernog pojačala u obliku Greenline dizajna zaštite. Na taj način mjerni sustav je zatvoren u Faraday-ev kavez. Bitno je paziti da je zaštita na oba kraja kabela povezana tako da prelazi preko površine uzemljenja kućišta.



Slika 17. Pojednostavljena skica zaštitnog kabela Greenline dizajna [1]

4.4.2 Mjerna pojačala

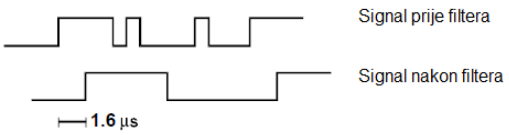
Mjerna pojačala su mjerni istrumenti koji mogu biti korišteni za obradu izlaznih signala mjerenja iz moment-prirubnica.
Moment-prirubnice koje koriste beskontaknti prijenos signala mjerenja zahtjevaju specijalnu elektroniku. HBM preporučava uređaje kao što su MGCplus, Spider i PME izvedbe.
Metoda pretvorbe frekvencije u analaogni napon ili u digitalni signal je posebno značajna. HBM uređaji koriste metodu combined frequency count/cycle duration koja je objašnjena u odlomku 4.4.3.
Potrebno je koristiti digitalni signal kao izlaz, gdje je to moguće, prije nego analogni jer je analogni signal osjetljiv na šumove i podložan zbrajanju grešaka uslijed pretvorbi signala.

4.4.3 Metoda combined frequency count/cycle duration

Pojačalo mjeri frekvenciju značajkama digitalne metode. Ova metoda ostvaruje odličnu temperaturnu stabilnost i jako je pogodna za mjerenje niskih frenkvencija.

Ulazni signali
Pojačalo radi s 1 ili 2 ulazna signala u obliku frekvencije (F_1 - signal mjerenja momenta, F_2 - signal mjerenja brzine). Samo su pozitivni (uzlazni) rubovi ulaznog signala frekvencije F_1 analizirani u mjerenju momenta. Oba signala se koriste kod određivanja brzine vrtnje ili kuta zakreta. Drugi signal F_2 je korišten za određivanje smjera rotacije analizirajući poziciju faze dva signala u relativnom odnosu.

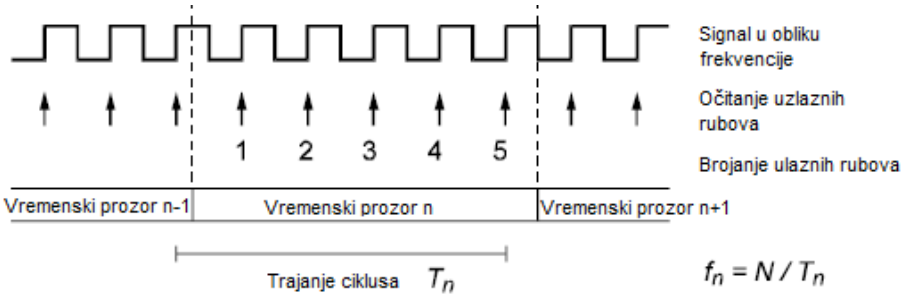
Ako rubovi signala nisu jasni (npr. pojava šuma), postoji filter koji osigurava razmatranje samo onih djelova signala koji su konstantne vrijednosti bar 1,6 μs. Na slici 18. se vidi kako je očitan šum u signalu te je filter signala pomakao signal za 1,6 μs kako bi se kompenziralo uklanjanje šuma.



Slika 18. Filter signala mjerenja [1]

Evaluacija frekvencije
Metoda combined frequency count/cycle duration (slika 19.) koristi kombinaciju brojača događaja (pojave ruba signala) u jednakom fiksiranom vremenskom razdoblju i brojača trajanja ciklusa. Analiza se obavlja u vremenskom razdoblju od 1/9600 sekundi. U tom razdoblju su izbrojani rubovi signala frekvencije i dodijeljeni su varijabli N, a izmjereno je i vrijeme između zadnjeg ruba signala u prošlom razdoblju i zadnjeg ruba signala u razdoblju koje upravo prolazi (vrijeme ciklusa T_n).
Ovo omogućava određivanje frekvencije preko odnosa:

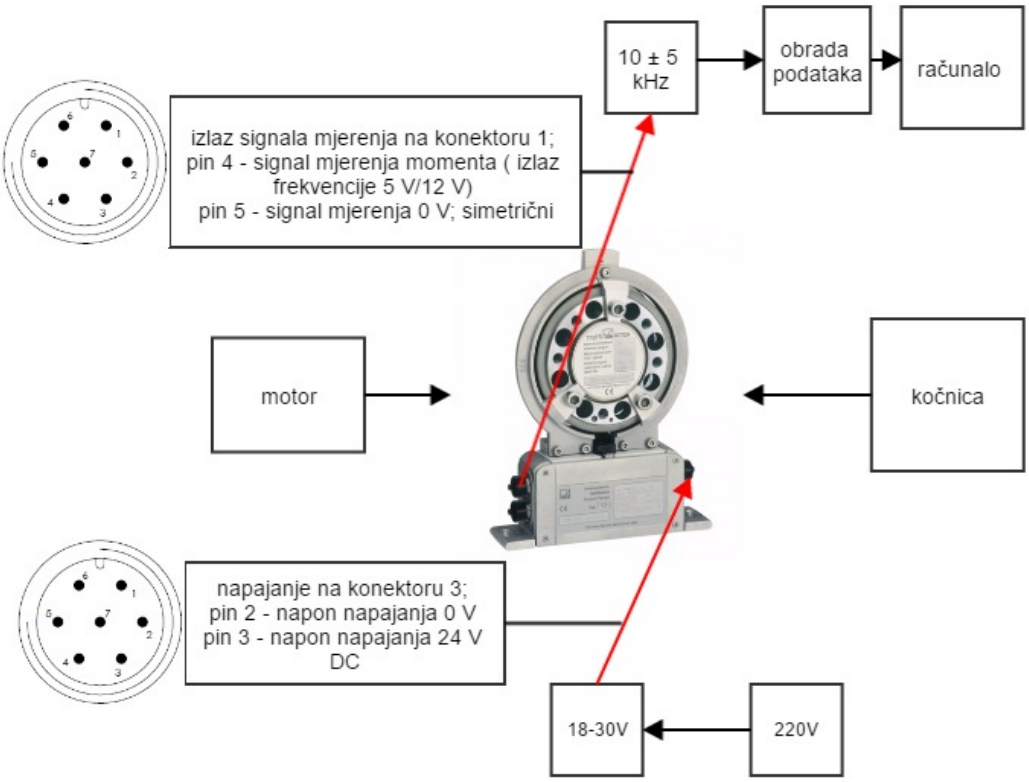
$$f_n = \frac{N}{T_n} \text{ [Hz]}. \tag{4.1}$$



Slika 19. Analiza frekvencije [1]

4.5 Shema spajanja

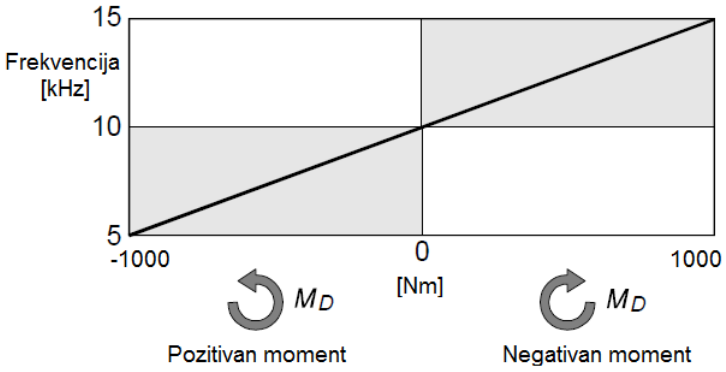
Shema idejnog rješenja spajanja na T10FS moment-prirubnicu je prikazana na slici 20.



Slika 20. Shema idejnog rješenja spajanja

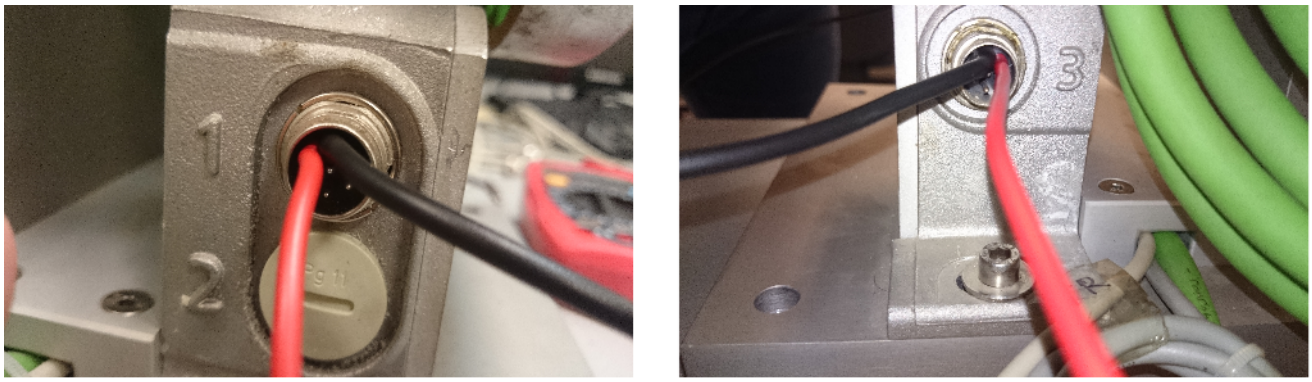
4.6 Mjerenje momenta

Iznos izlaznog signala mjerenja u obliku frekvencije ovisi o smjeru vrtnje rotora i mjeri se u rasponu od 10 ± 5 kHz.

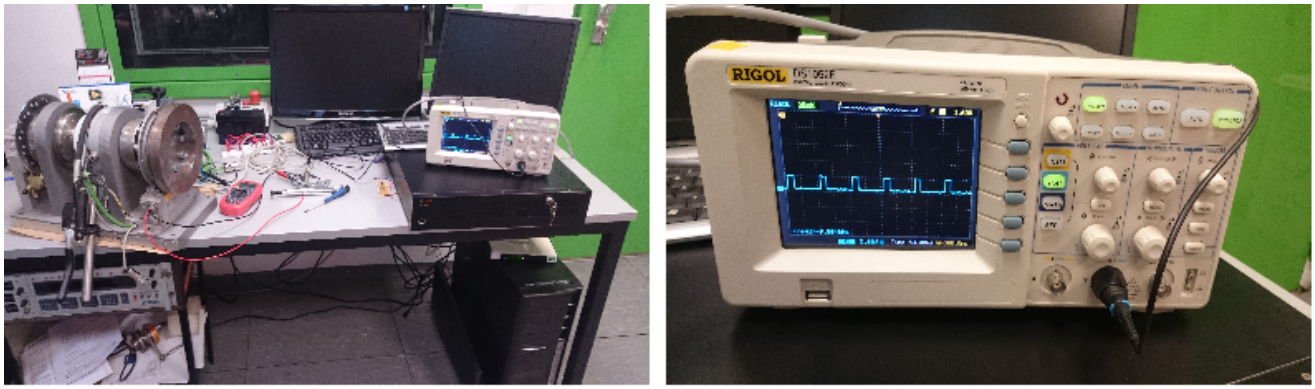


Slika 21. Iznos frevencije ovisno o smjeru vrtnje [1]

Radi utvrđivanje oblika signala mjerenja i ispravnosti moment-prirubnice, ista je spojena na osciloskop. Ulazni parametri su struja I=0,12 A napona U=24 V.
Pinovi 2 i 3 konektora 3 su korišteni za napon napajanja, a pinovi 4 i 5 konektora 1 za izlaz signala mjerenja. Funkcije pinova se mogu pronaći u tablicama 2. i 3.



Slika 22. Konektor 3 - napon napajanja, konektor 1 - izlaz signala mjerenja

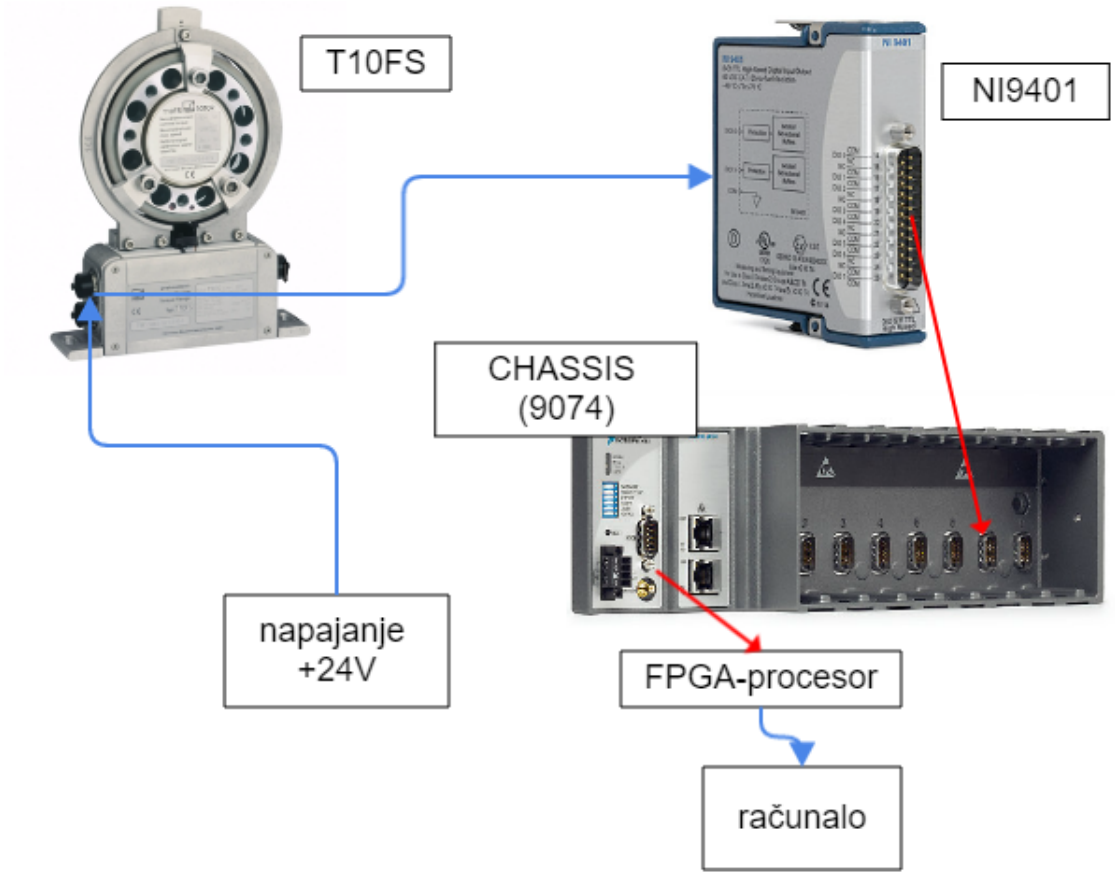


Slika 23. Spajanje prirubnice na osciloskop i izlazni signal

Spajanjem je utvrđen izlazni signal u obliku frekvencije koja, u neopterećenom stanju iznosi 10 kHz.
Kako bi se odredila karakteristična krivulja ovisnosti momenta o izlaznoj frekvenciji potrebno je odrediti vrijednosti u najmanje još jednoj radnoj točki s obzirom da se očekuje linearna ovisnost.

4.6.1 Spajanje na laboratorijsku opremu National Instruments

Spajanje na prirubnicu je izvedeno preko konektora 1 koji ujedno služi kao ulaz napajanja ali i kao izlaz za mjerni signal. Shema spajanje se može vidjeti na slici 24., a korišteni pinovi za spajanje konektora 1 na tablici 4.
Za analizu podataka mjerenja i prikaz rezultata koristit će se oprema National Instruments iz Laboratorija motori i vozila te programski paket LabVIEW. Nakon provedenog spajanja planirano je umjeravanje osjetnika momenta u Laboratoriju o čemu se može više pogledati u poglavlju 4.7.1.

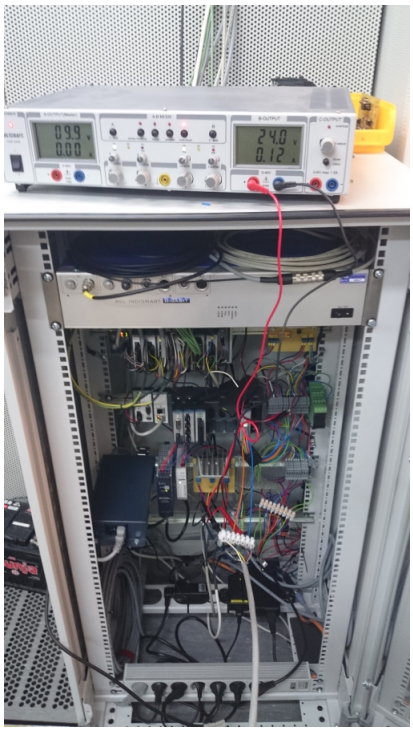


Slika 24. Shema spajanja na laboratorijsku opremu National Instruments

Tablica 4. Pinovi konektora 1 korišteni za spajanje na laboratorijsku opremu

Pin	Funkcija
2	Napon napajanja 0 V
3	Napon napajanja 18 V-30 V (+24 V)
4	Signal mjerenja momenta (izlaz u obliku frekvencije; 5 V/12 V); signal +
5	Signal mjerenja 0 V; simetrično; signal -

Slika 25. prikazuje spajanje moment-prirubnice na napajanje i na izlaz signala mjerenja. Napon napajanja je iznosa 24 V struje jakosti 0,12 A. Korišten je isti kabel za provođenje napajanja i signala mjerenja pošto se spaja na jedan konektor.



Slika 25. Napajanje moment-prirubnice i spoj na izlaz signala mjerenja

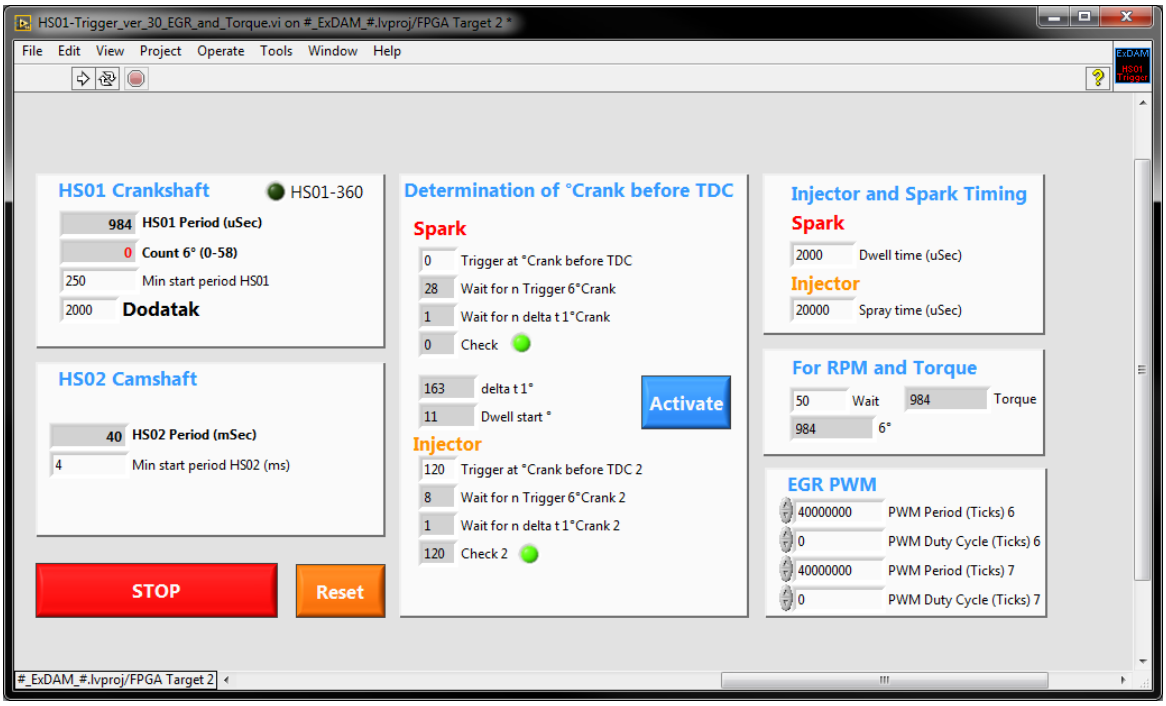
Kabel koji provodi mjerni signal se spaja na uređaj NI-cRIO9074 (Chassis cRIO9074), na modul MOD7 (NI9401) preko kanala 2 kako je prikazano na slici 24.

NI-cRIO9074 je podesiv sustav upravljanja i prikupljanja podataka. Sustav uključuje ulazno-izlazne module, podsiv FPGA (*Field programmable gate array*) i upravljački sklop.

NI 9401 je TTL (*Transistor-Transistor logic*) modul s kombinacijom digitalnih ulaza i izlaza - DIO (*Digital input output*), preko kojih je moguće upravljati nekim sustavom i prikupljati podatke.

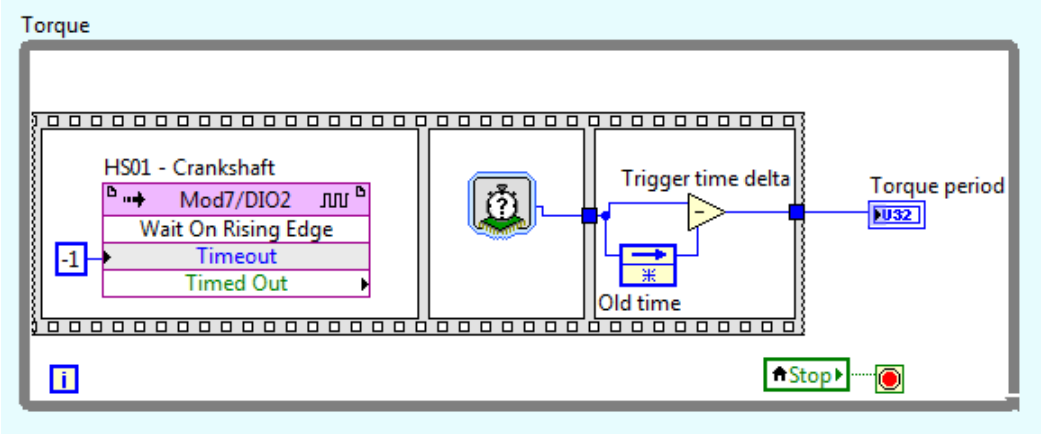
Slika 26. Uređaji NI-cRIO9074 i NI 9401 [13] i [14]

Signal je obrađen u FPGA procesoru preko HS01-Trigger koda napisanog u programu LabVIEW čije je grafičko sučelje prikazano na slici 27.



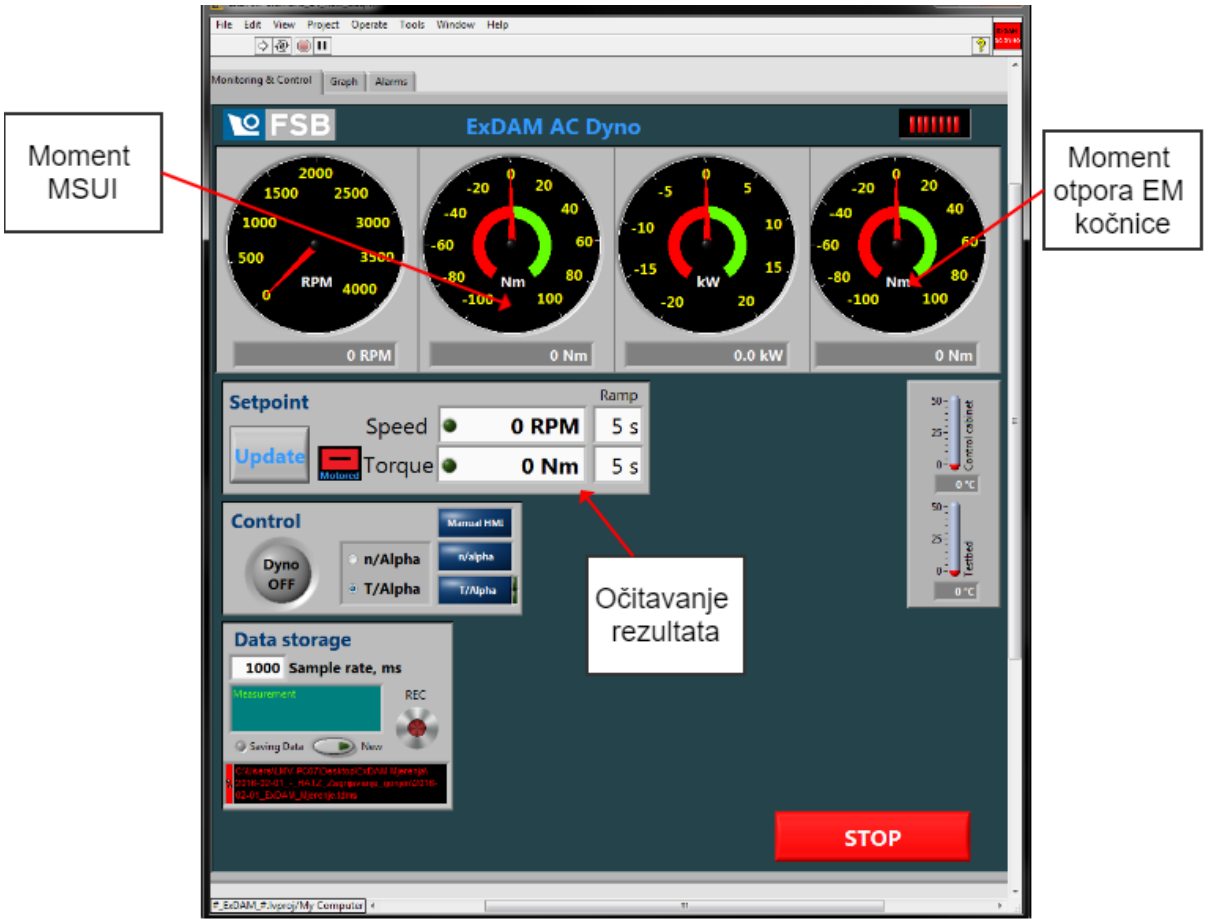
Slika 27. Grafičko sučelje HS01 Trigger koda

U jednom ciklusu (period 984 μ s - odabrano) mjeri se vrijeme od pojave *rising edge*-a i oduzima se od vremena mjerenog od pojave prethodnog kako je prikazano na slici 28.
U nul-točki, gdje je opterećenje tj. moment jednako 0, razmak između 2 *rising edge*-a iznosi 100 μs iz čega slijedi frekvencija od $f = \dfrac{1}{100 \cdot 10^{-6}} = 10000$ Hz= 10 kHz.



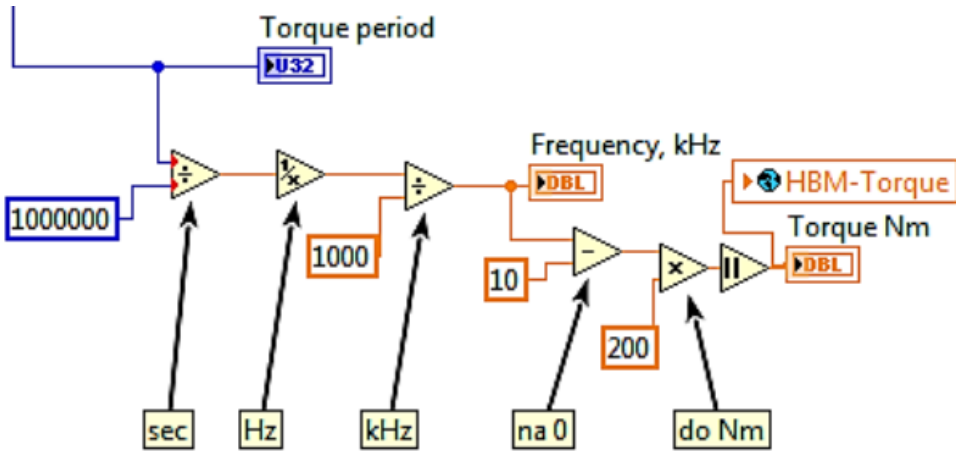
Slika 28. Shematski prikaz programa određivanja frekvencije ulaznog signala izrađenog u programu LabVIEW

Rezultati se mogu očitavati preko grafičkog sučelja izrađenog u programu LabVIEW.



Slika 29. Grafičko sučelje za promatranje rezultata

Slika 30. prikazuje dio koda u kojem se signal mjerenja u obliku frekvencije preračunava u iznos momenta. O ovisnosti momenta o frekvenciji bit će više govora u poglavlju 4.7.



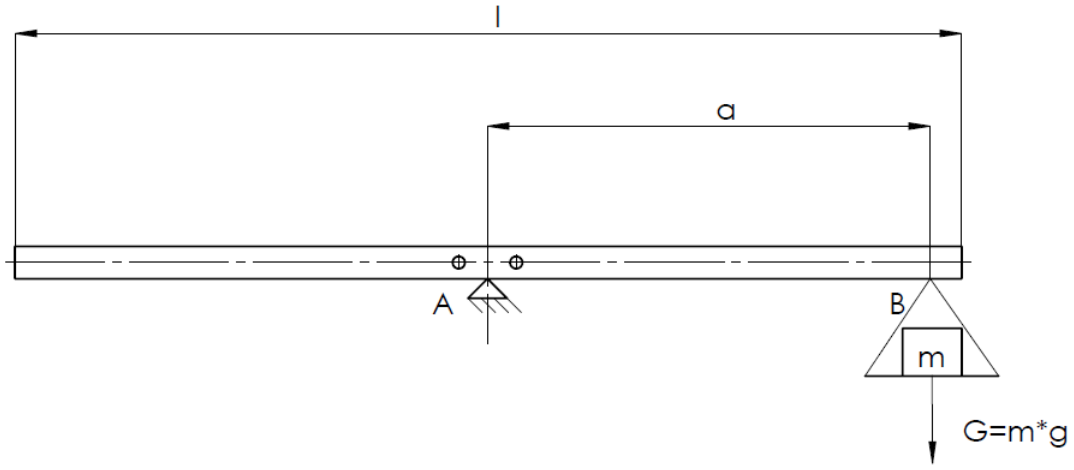
Slika 30. Kod za preračunavanje frekvencije u moment

4.7 Umjeravanje osjetnika momenta

Kako bi se u budućim mjerenjima na eksperimentalnom postavu, u kojega će biti implementirana T10FS moment-prirubnica s osjetnikom-momenta, dobijali što precizniji rezultati potrebno je umjeriti osjetnik momenta. Za očekivati je da ovisnost momenta o frekvenciji odstupa od one zadane prema proivođaču, a umjeravanjem se takvo odstupanje registrira. Određuje se nova ovisnost koja se uzima kao mjerodavna.
U ulomku 4.7.1 je prikazano približno umjeravanje osjetnika momenta u Laboratoriju za motore i vozila, dok je u ulomku 4.7.2 opisano planirano umjeravanje u Laboratoriju za elemente strojeva.

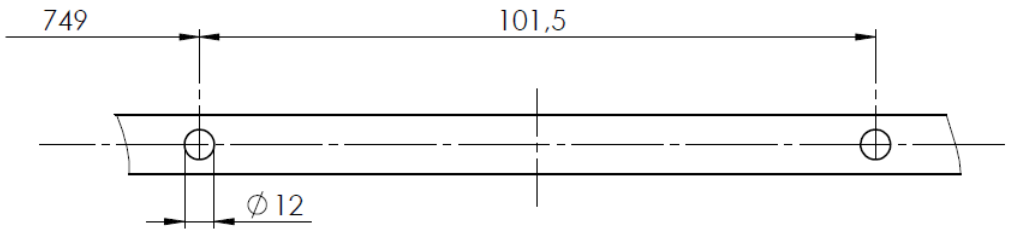
4.7.1 Umjeravanje osjetnika momenta u Laboratoriju za motore i vozila

Na moment-prirubnicu spojit će se čelična poluga kutijastog profila preko koje će se utezima ostvariti moment i tako opteretiti prirubnicu.
Skica opterećivanja prirubnice je prikazana na slici 31.

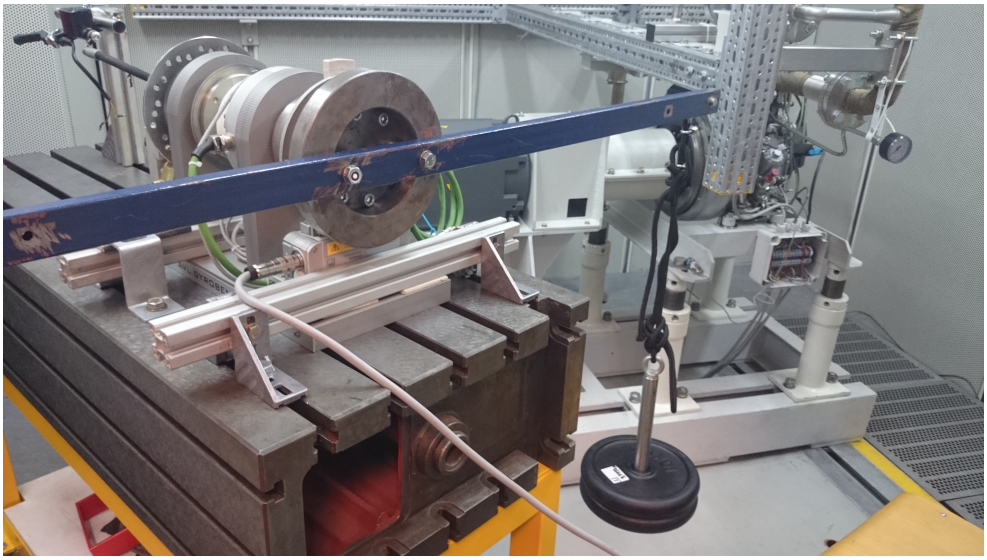


Slika 31. Skica opterećivanja prirubnice polugom i utezima

Odabrana duljina kraka *a* iznosi 0,7 m, dok je na ukupna duljina poluge *l* odabrana 1,6 m.
Točka A na slici 32. predstavlja spoj poluge i rotora prirubnice. Spoj će se izvesti preko vijčane veze. Potrebno je izbušiti 2 prolazna provrta $\Phi D = 12$ mm za vijke M10 kako je prikazano na slici 32.



Slika 32. Detalj šipke s provrtima za vezu na moment prirubnicu



Slika 33. Opterećivanje prirubnice

Prirubnica je preko kraka poluge *a* opterećena utezima od 10 kg koji se nalaze u Laboratoriju za motore i vozila.
Utezi su radi veće preciznosti mjerenja izvagani vagom Ohaus Explorer EX24001 iz Laboratorija. Vaga je kapaciteta 24000 g i važe s preciznošću od 0,1 g. Rezultati vaganja se mogu vidjeti u tablici 5.

Tablica 5. Mase utega za opterećivanje prirubnice

Element		Masa
Oslonac za utege	[g]	1823.3
Uže	[g]	267.4
Uteg 1	[g]	9938.3
Uteg 2	[g]	9798.7
Uteg 3	[g]	9919.1
Uteg 4	[g]	9770.7
Uteg 5	[g]	9987.2
Uteg 6	[g]	10092.3

Na polugu je postavljen uteg 1 i očitana je vrijednost frekvencije na grafičkom sučelju. Isto je ponovljeno dadavanjem preostalih 5 utega. Izračunate (moment zadan preko kraka poluge M_1) i očitane (frekvencija očitana na grafičkom sučelju f_2) vrijednosti su prikazane u tablici 6.
Promjena kraka sile uslijed nagiba šipke je zanemarena.

Tvornički određena ovisnost frekvencije o momentu se može izračunati iz podataka iz tehničke dokumentacije:

$$f(m) = \frac{m}{200} + 10 \text{ [kHz]}, \tag{4.2}$$

gdje je:

m–moment,

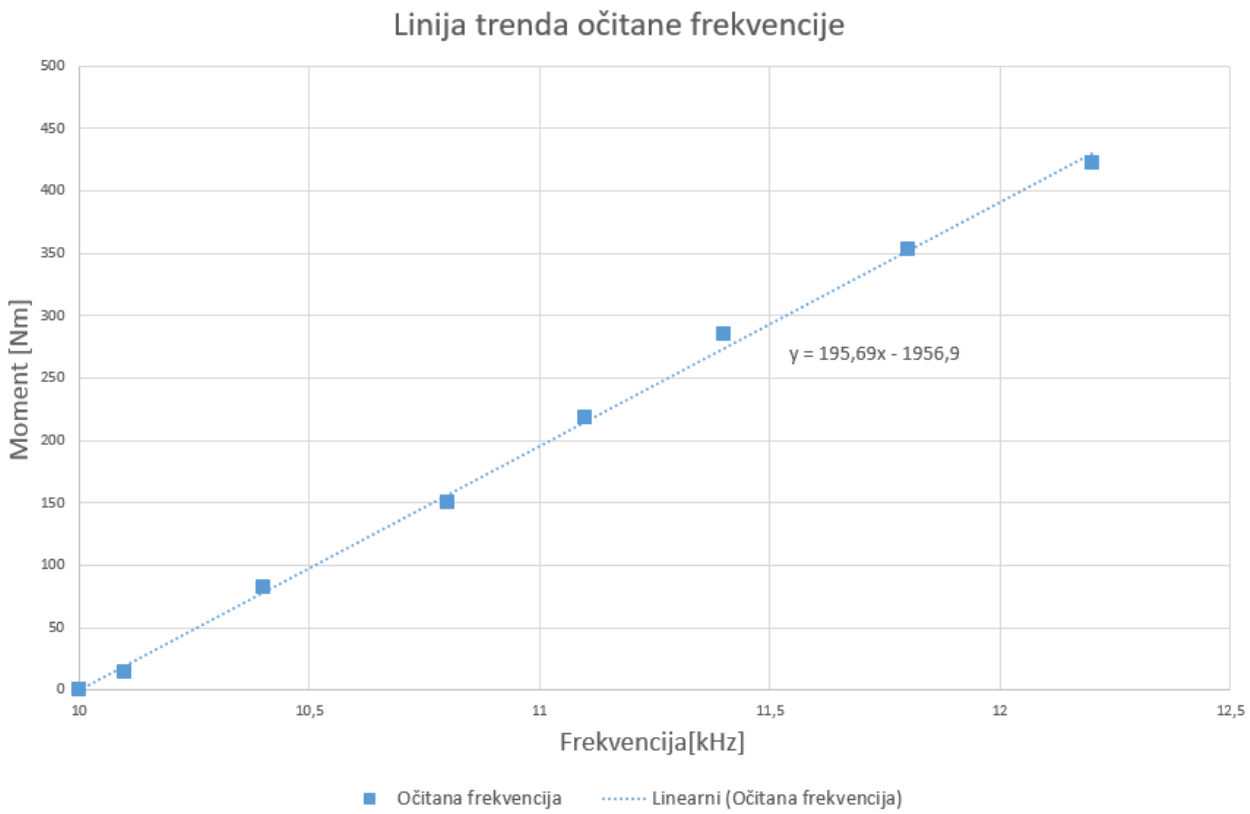
f–frekvencija.

Ako se u izraz (4.2) uvrste vrijednosti momenta zadanog preko poluge M_1 dobit će se očekivane vrijednosti frekvencije f_1 prikazane u tablici 6.

Tablica 6. Podaci o mjerenju

Broj mjerenja	n		0	1	2	3	4	5	6	7
Zbroj masa elemenata	m	[kg]	0	2,09	12.03	21.83	31.75	41.52	51.51	61.60
Težina	G	[N]	0	20,50	117.96	214.06	311.33	407.15	505.09	604.06
Duljina kraka poluge	a	[m]	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Moment (zadan)	M_1	[Nm]	0,00	14,35	82.57	149.84	217.93	285.00	353.56	422.84
Frekvencija (očekivana)	f_1	[kHz]	10,00	10,07	10.41	10.75	11.09	11.42	11.77	12.11
Frekvencija (očitana)	f_2	[kHz]	10,00	10,10	10.40	10.80	11.10	11.40	11.80	12.20

Iz očitanih vrijednosti frekvencije f_2 može se izraditi linija trenda što je prikazano slikom 34.



Slika 34. Linija trenda vrijednosti očitane frekvencije

Linija trenda daje ovisnost momenta o frekvenciji u obliku:

$$m(f) = 195,69 \cdot f - 1956,9 \text{ [Nm]}. \tag{4.3}$$

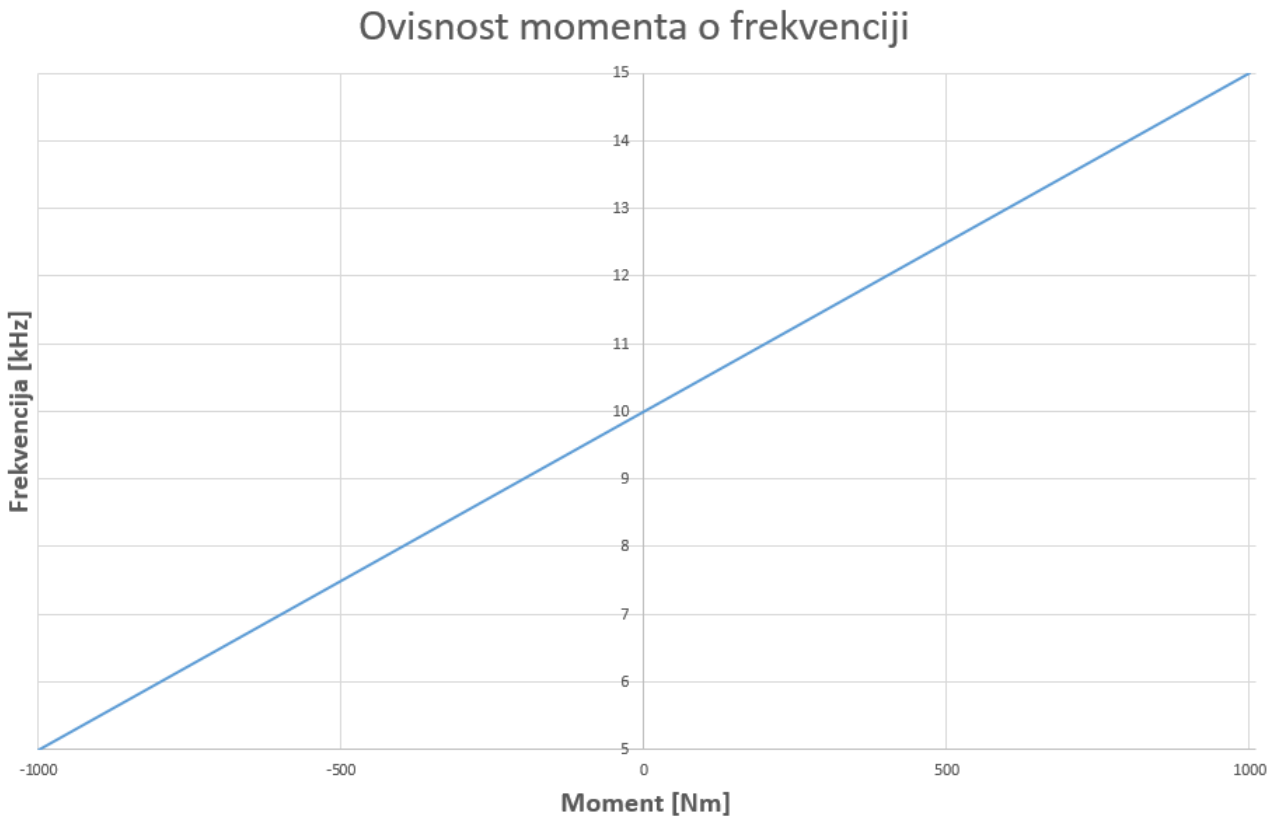
Izraz (4.3) predstavlja približno umjeravanje osjetnika momenta moment-prirubnice.

Tvornički određena ovisnost momenta o izlaznoj frekvenciji se može izračunati iz izraza (4.2). Tako su određene vrijednosti u tablici 7. i na slici 35.

$$m(f) = (f - 10) \cdot 200 \text{ [Nm]}. \tag{4.4}$$

Tablica 7. Podaci o ovisnosti momenta iz očitane frekvencije prema tvornički određenoj karakteristici

Frekvencija	[kHz]	5	10	15
Moment	[Nm]	-1000	0	1000



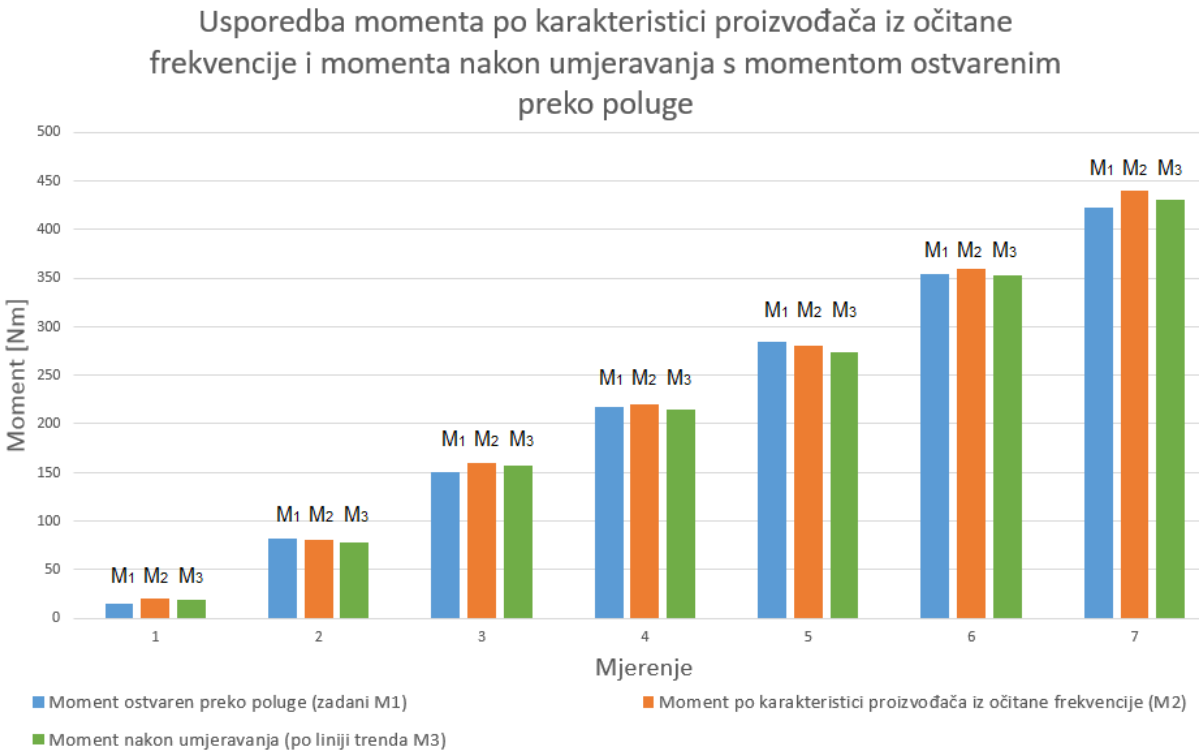
Slika 35. Linearna karateristika ovisnosti prema tvornički određenoj karakteristici

Moment ostvaren preko poluge, tj. zadani moment M_1 prema tablici 6.
Moment po karakteristici proizvođača iz očitane frekvencije M_2 je računat prema izrazu (4.4), a moment nakon umjeravanja (po liniji trenda) M_3 je računat prema izrazu (4.3), također uvrštavanjem očitane frekvencije f_2.

Tablica 8. Usporedba momenta po karakteristici proizvođača iz očitane frekvencije i momenta po liniji trenda s momentom ostvarenim preko poluge

Mjerenje		0	1	2	3	4	5	6	7
M_1	[Nm]	0,000	14,347	82,575	149,840	217,931	285,00,	353,562	422,842
Očitana f_2	[kHz]	10,00	10,10	10.40	10.80	11.10	11.40	11.80	12.20
M_2	[Nm]	0,000	20,000	80,000	160,000	220,000	280,000	360,000	440,000
M_3	[Nm]	0,000	19,569	78,276	156,552	215,259	273,966	352,242	430,518
Razlika M_1-M_2	[Nm]	0,000	-5,653	2,575	-10,160	-2,069	5,003	-6,438	-17,158
Razlika M_1-M_3	[Nm]	0,000	-5,222	4,299	-6,712	2,672	11,037	1,320	-7,676

Prosječna razlika između momenta ostvarenog preko poluge M_1 i momenta po karakteristici proizvođača računatog iz očitane frekvencije M_2 iznosi -4,238 Nm, a najveća razlika iznosi u 7. mjerenju -17,158 Nm.
Prosječna razlika između momenta ostvarenog preko poluge M_1 i momenta nakon umjeravanja M_3 iznosi -0,035 Nm, a najveća razlika iznosi u 5. mjerenju 11,037 Nm.



Slika 36. Usporedba momenta po karakteristici proizvođača iz očitane frekvencije i momenta po liniji trenda s momentom ostvarenim preko poluge

4.7.2 Planirano umjeravanje osjetnika momenta u Laboratoriju za elemente strojeva

Osjetnik momenta će biti umjeravan u Laboratoriju za elemente strojeva na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Umjeravanje će se izvesti na mjernoj dozi TRX.601.R5 MTRX2KNM005 nominalog momenta od 2 kNm koja može umjeravati statičkim momentom.

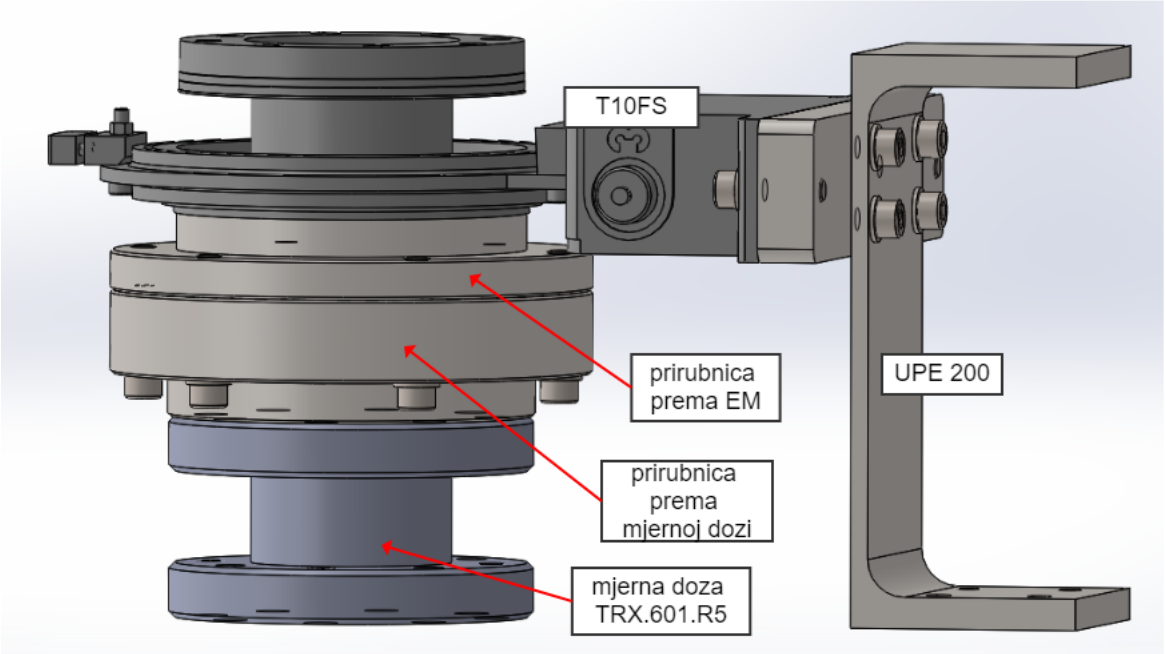
Slika 37. TRX mjerne doze [15]

- **Mjerna doza TRX.601.R5**

Osjetnici momenta TRX serije su konstruirani tako da mjere moment u smjeru kazaljke na satu, ali i u suprotnom smjeru, s visokom preciznošću. Glavna područja primjene su od industrijskih na testnim postoljima i uređajima za isptitivanje materijala do testnih i kalibracijskih laboratorija, istraživačkih centara, itd.
Stabilnost mjerenja je osigurana i u vlažnim uvjetima zahvaljujući visokom stupnju zaštite osiguranom laserskim zavarivanjem koje garantira željenu zaštićenost.
Tijelo izrađeno od nehrđajućeg čelika garantira visoku otpornost prema dinamičkom stresu koji se može pojaviti u oba smjera mjerenja.

Za spajanje moment prirubnice T10FS na mjernu dozu TRX.601.R5 mora se izraditi prirubnica između dva elementa. Rješenje spajanja je prikazano na slici 38., a CAD model prirubnice je prikazan na slici 39.
Tehnička dokumentacija elementa koji se moraju izraditi se može pronaći u Prilogu.

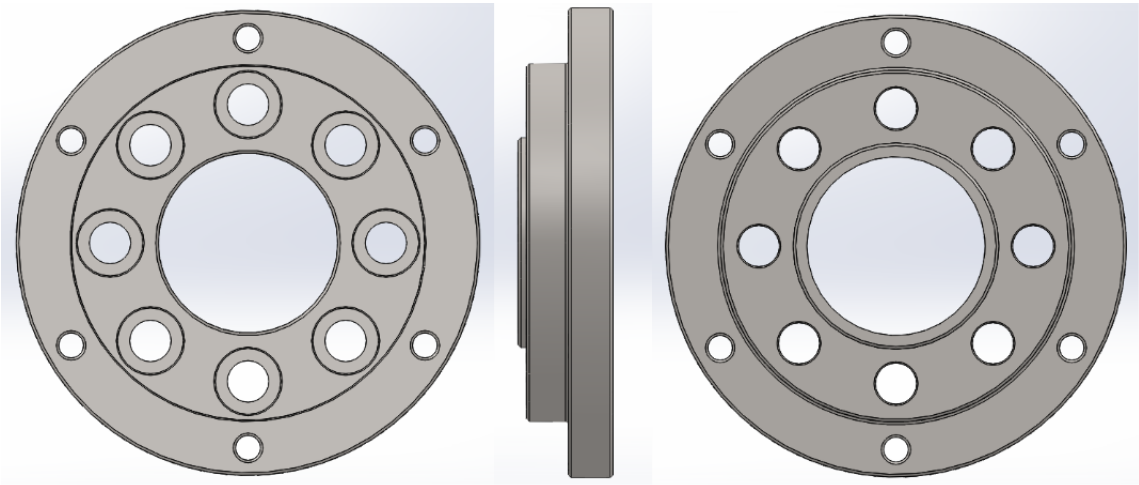
4.7.3 Prikaz CAD modela elemenata potrebnih za umjeravanje osjetnika momenta u Laboratoriju za elemente strojeva



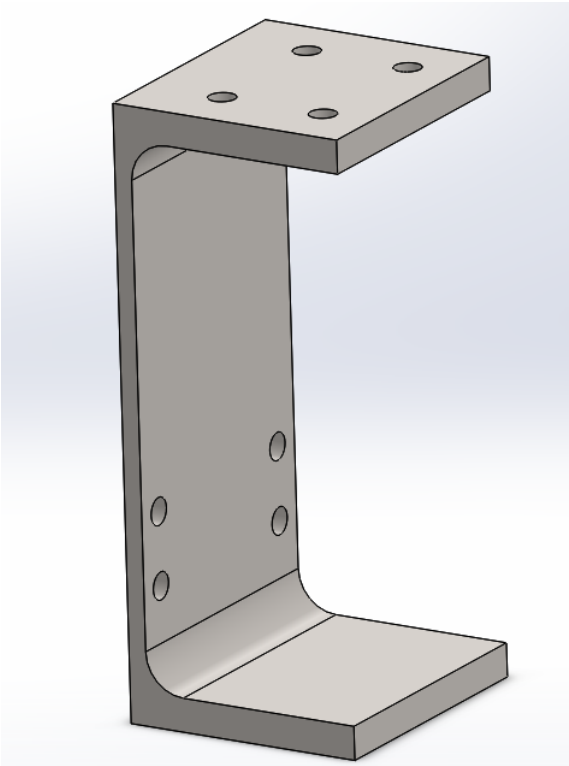
Slika 38. CAD model postava pri umjeravanju osjetnika momenta

Veza između:
- T10FS i prirubnice prema EM: 8 x M10
- prirubnice prema EM i prirubnice prema mjernoj dozi: 6 x M8
- prirubnice prema mjernoj dozi i mjerne doze: 8 x M12
- T10FS i ploče za oslonac: 2 x M8
- ploče za oslonac i UPE profila: 4 x M8

.



Slika 39. CAD model prirubnice prema mjernoj dozi



Slika 40. UPE profil

CAD model prirubnice prema EM je prikazan na slici 46.

5 Analiza spajanja osjetnika na vratilo eksperimentalnog postava i prikaz CAD modela

5.1 Idejna rješenja

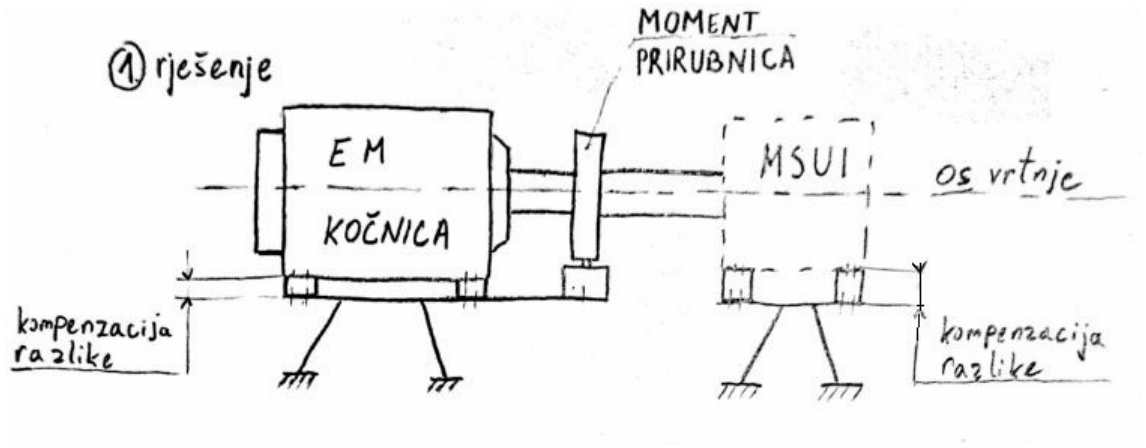
Moment-prirubnica će biti spojena na eksperimentalni postav u Laboratoriju za motore i vozila u spoju motora s unutarnjim izgaranjem i elektromotrne kočnice (sklop ICE-EM). Sklop ICE-EM se sastoji od prirubnice prema jednocilindarskom motoru s unutarnjim izgaranjem, elastične spojke, vratila s homokinetičkim zglobovima i potrebnih prirubnica za spajanje na T10FS moment-prirubnicu

Kako je velik dio elemenata prethodno bio dimenzioniran za moment-prirubnicu T40B, bilo je potrebno napraviti preinake. Ugradnja moment prirubnice T10FS zahtjeva prirubnice većih dimenzija s većim brojem vijčanih spojeva, veću ugradbenu širinu te veću ugradbenu visinu osi vrtnje.

Posebna pažnja je posvećena rješavanju kompenzacije razlike visine osi vrtnje sklopa moment-prirubnice i eksperimentalnog postava.

5.1.1 Prvo rješenje

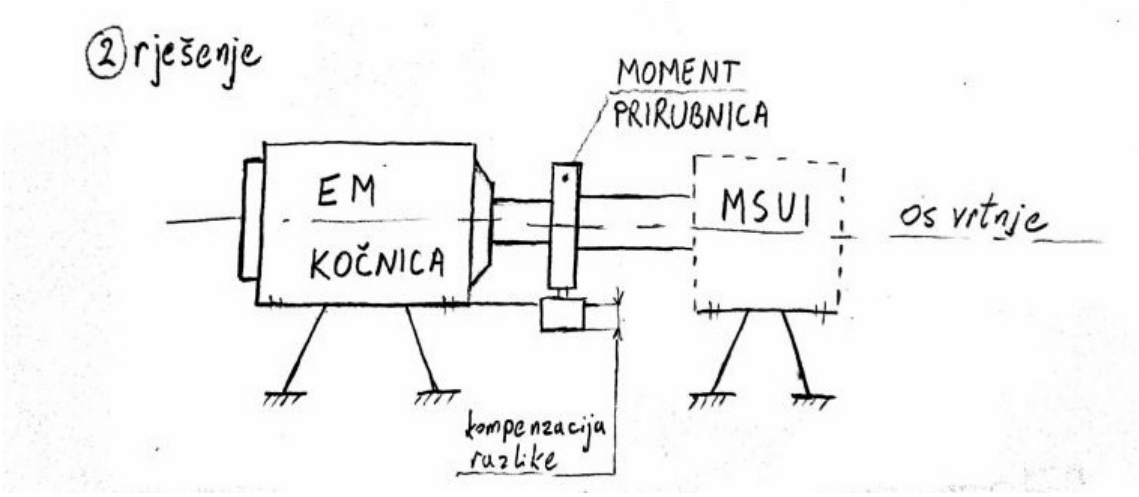
• Postaviti moment prirubnicu na postolje kako je planirano i podići ostale elemente za razliku u visini.



Slika 41. Shema prvog rješenja kompenzacije razlike visine osi vrtnje

5.1.2 Drugo rješenje

• Izbušiti odgovarajuću rupu na ploči postolja i učvrstiti moment prirubnicu potrebnim elementima te na taj način kompenzirati razliku u visini osi vrtnje postava i moment prirubnice.

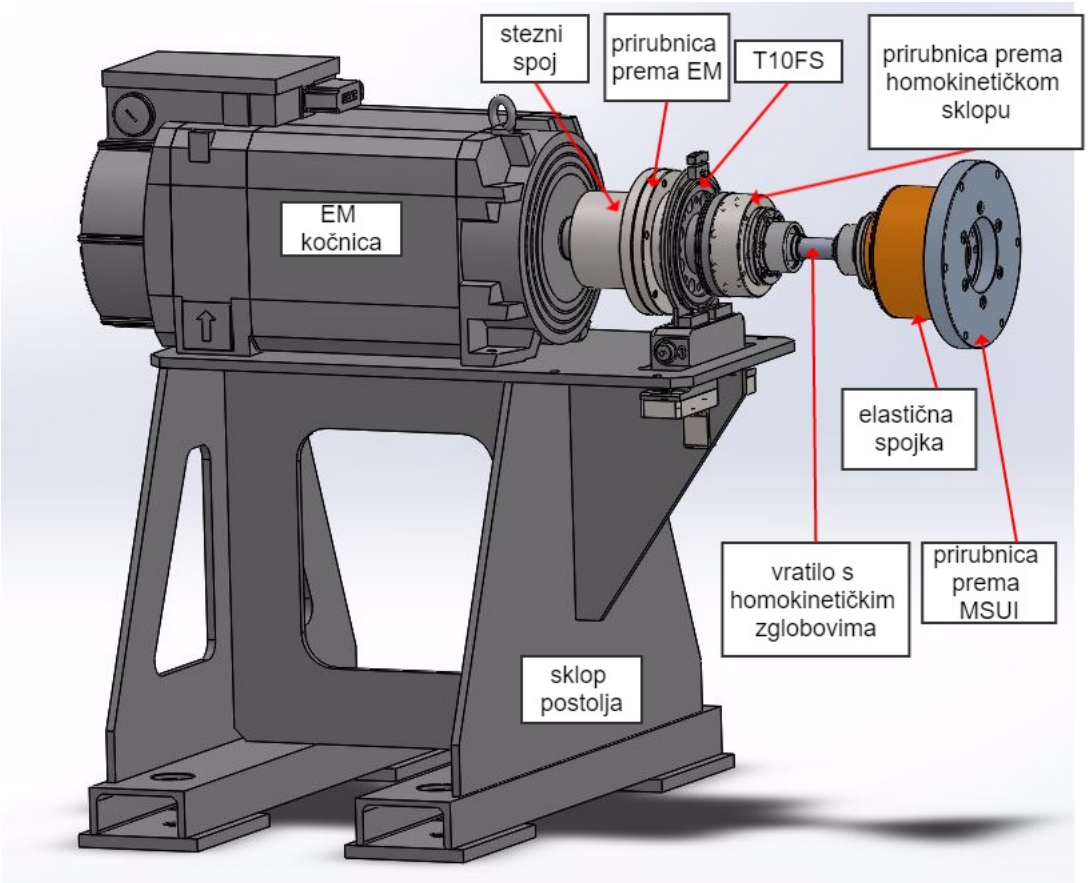


Slika 42. Shema drugog rješenja kompenzacije razlike visine osi vrtnje

Odabrano je drugo rješenje zbog lakše izvedbe. Prikaz CAD modela drugog rješenja je pokazan na slikama 43. i 45.

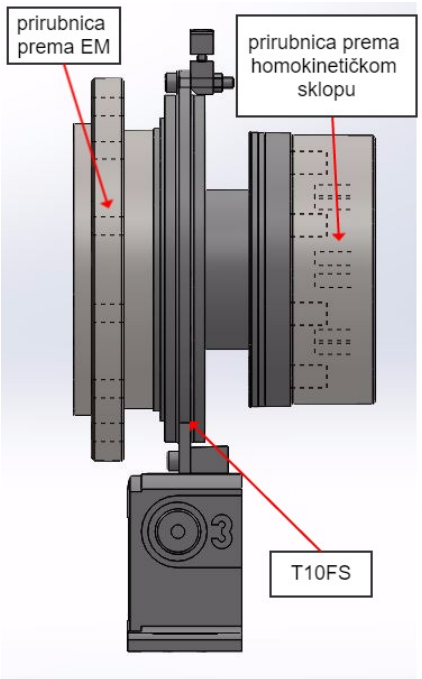
5.2 Prikaz CAD modela elemenata eksperimntnalnog postava

U ovom ulomku će biti prikazan CAD model rješenja spajanja T10FS moment-prirubnice na vratilo eksperimentalnog postava i zasebno CAD modeli elemnata koje je potrebno izraditi. Tehnička dokumentacija sklopova i elemenata koje je potrebno izraditi se može pronaći u Prilogu.

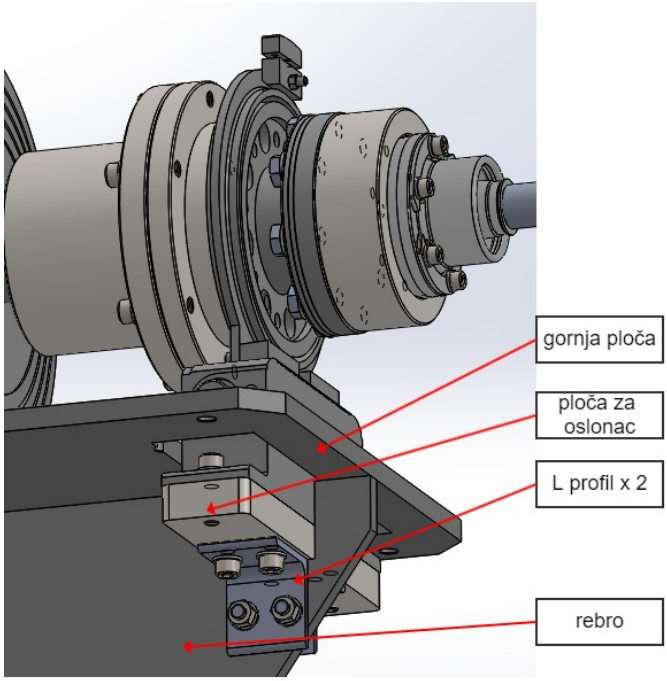


Slika 43. CAD model eksperimentalnog postava bez MSUI

Veza između:
- glavine steznog spoja i prirubnice prema EM: 6 x M8
- prirubnice prema EM i T10FS: 8 x M10
- T10FS i prirubnice prema HS: 8 x M10



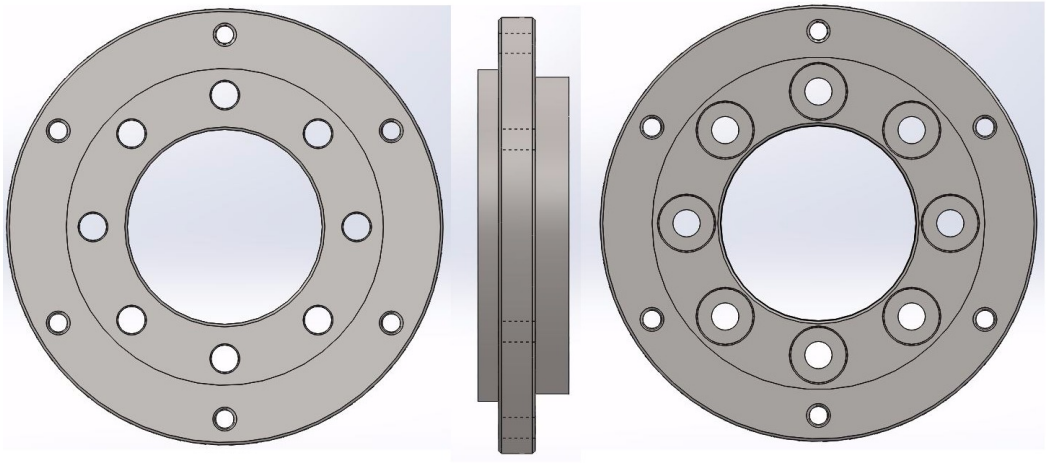
Slika 44. CAD model T10FS moment-prirubnice s potrebnim prirubnicama za spajanje



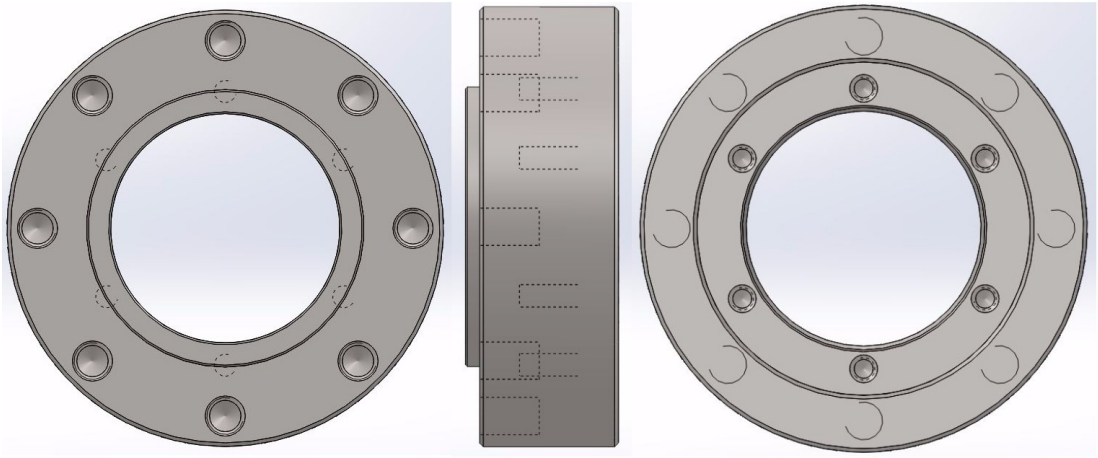
Slika 45. CAD model rješenja kompenzacije razlike visine osi vrtnje

Veza između:
- T10FS i ploče za oslonac: 2 x M8
- ploče za oslonac i L profila: 2 x M8

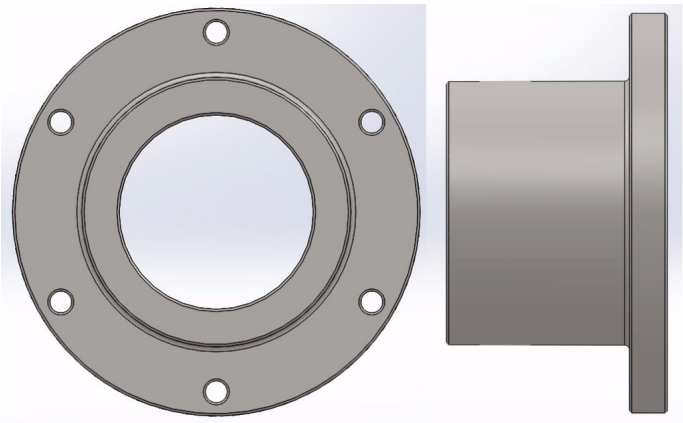
• L profila i rebra: 2 x M8 navojna šipka



Slika 46. CAD model prirubnice prema EM

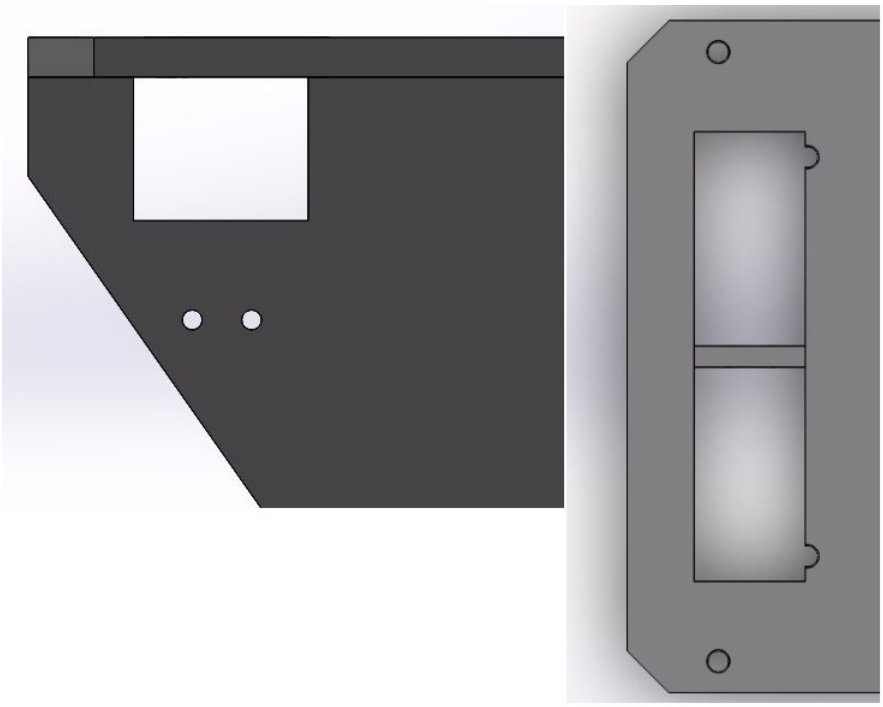


Slika 47. CAD model prirubnice prema homokinetičkom sklopu

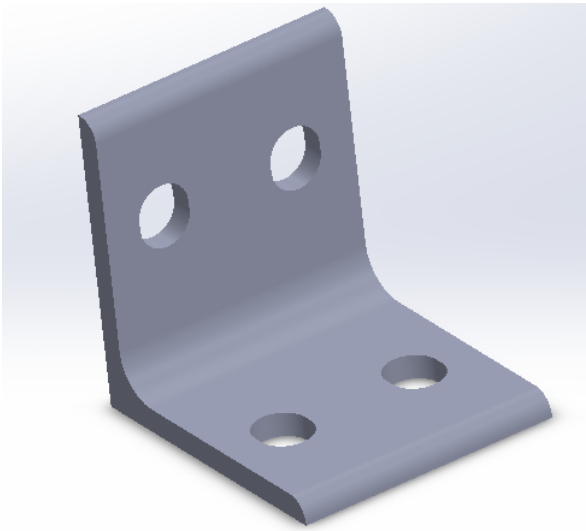


Slika 48. CAD model glavine steznog spoja

Potrebne izmjene na postojećim elementima eksperimentalnog postava (gornja ploča i rebro) su prikazane na slici 49.



Slika 49. CAD model postolja



Slika 50. L profil

6 Zaključak

U radu je opisan princip mjerenja momenta osjetnika koji se temelji na radu i svojstvima tenzometarskih traka. Osjetnik momenta se nalazi u sklopu moment-prirubnice T10FS i planirana je ugradnja iste na eksperimentalni postav u Laboratoriju za motore i vozila. U radu je prikazana shema spajanja osjetnika na laboratorijsku opremu kao i približno umjeravanje osjetnika koje je izvedeno u Laboratoriju za motore i vozila. U rezultatima umjeravanja se vidi odstupanje u odnosu na moment ostvaren preko poluge s prosječnom razlikom od -0,035 Nm te najvećom razlikom od 11,037 Nm. Rezultati prije umjeravanja, tj. momenti računati po tvornički određenoj karakteristici, su tvorili prosječnu razliku s momentom ostvarenim preko poluge u iznosu od -4,238 Nm te najvećom razlikom od -17,158 Nm.
Analizirana je mogućnost spajanja osjetnika na vratilo eksperimentalnog postava te su prikazana konstrukcijska rješenja. Zaključeno je da se moraju napraviti izmjene postojećih elemenata postava u vidu kompenazije razlike u visini osi vrtnje T10FS moment-prirubnice i rotirajućih elemenata postava kao i izrada novih elemenata u kontaktu s T10FS prirubnicom. Izrađena je tehnička dokumentacija sklopa prirubnice i postava i dokumentacija elemenata koji se moraju izraditi.
U radu nije provedeno precizno umjeravanje osjetnika momenta koje je neophodno za ugradnju istog na eksperimentalni postav. Prikazano je konstrukcijsko rješenje sklopa T10FS moment-prirubnice i mjerne doze TRX.601.R5 koja se nalazi u Laboratoriju za elemente strojeva gdje je izvođenje umjeravanja osjetnika i planirano. Izrađena je tehnička dokumentacija spoja moment-prirubnice T10FS s mjernom dozom TRX.601.R5, što je preduvjet za precizno umjeravanje osjetnika momenta. Nakon izrade svih potrebnih elemenata planira se provesti umjeravanje u Laboratoriju za elemente strojeva.
Moment-prirubnica (T10FS) s osjetnikom momenta predstavlja sofisticirani mjerni uređaj koji bi laboratorij za ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem trebao posjedovati. Implementacijom osjetnika momenta na eksperimentali postav u Laboratoriju za motore i vozila omogućiti će se precizno mjerenje efektivnog momenta motora čime će se znatno poboljšati mjerne sposobnosti Laboratorija.

Literatura

[1] Schicker R., Wagener G., Measuring torque correctly, HBM, 2002.

[2] HBM,
http://www.hbmdoc.com/en/archive/t10fs.html (veljača 2016.)

[3] T10FS Torque flange, Data sheet, HBM

[4] T10FS Torque flange, Mounting instructions, HBM

[5] HBM,
http://www.hbm.com/en/3706/tips-and-tricks-torque-measurement-methods/ (veljača 2016.)

[6] HBM,
http://www.hbm.com/en/0801/tips-and-tricks-torque-load-limits/ (veljača 2016.)

[7] HBM,
http://www.hbm.com/en/0792/tips-and-tricks-accuracy-class/ (veljača 2016.)

[8] HBM,
http://hbm.partcommunity.com/portal/portal/hbm#!prjpathinfo=hbm (veljača 2016.)

[9] Hoffmann K., An introduction to stress analysis and transducer design using
straing gauges, HBM

[10] The route to measurement transducers , HBM

[11] Measuring strain with strain gages, National instruments, 2014.

[12] http://www.omega.com/literature/transactions/volume3/strain2.html (veljača 2016.)

[13] National instuments,
http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-86

[14] National instuments,
http://www.ni.com/pdf/manuals/375874b.pdf

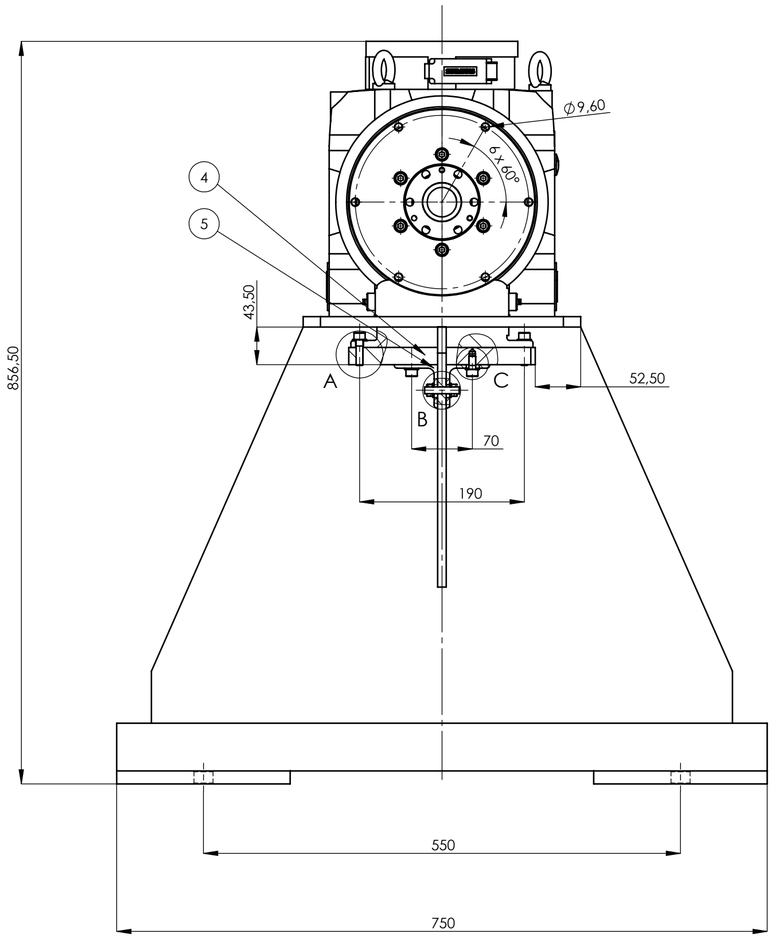
[15] TRX,
http://www.ikmwebshop.no/content/mma/publish/03/389/38916/AEP_TRX_Datablad.pdf

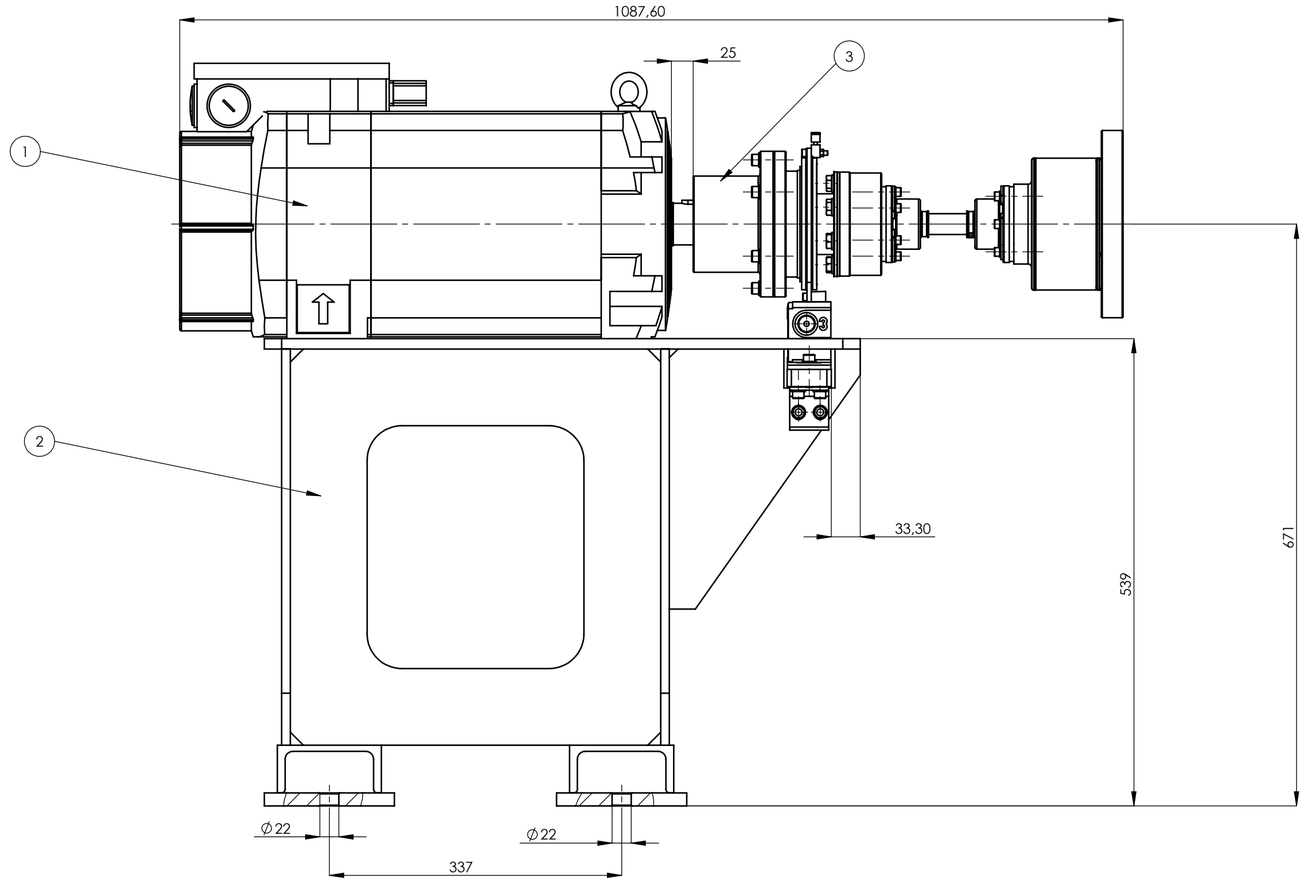
[16] Hoffmann K., Applying the Wheatstone bridge circuit

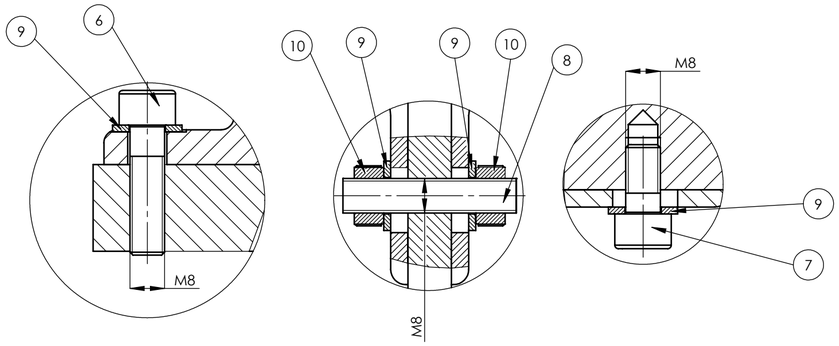
[17] Explorer EX24001, Data sheet, Ohaus

Prilozi

ZR-SM-100	Tehnička dokumentacija sklopa ICE-EM s postoljem
ZR-SM-100-01	Tehnička dokumentacija sklopa EM-ICE
ZR-SM-100-01-1	Tehnička dokumentacija glavine steznog spoja
ZR-SM-100-01-2	Tehnička dokumentacija prirubnice prema elektromotornoj kočnici
ZR-SM-100-01-3	Tehnička dokumentacija prirubnice prema homokinetičkom sklopu
ZR-SM-100-02	Tehnička dokumentacija L 50x50x4 profila
ZR-SM-100-03	Tehnička dokumentacija ploče za oslonac
ZR-SM-100-0X-1	Tehnička dokumentacija gornje ploče postolja
ZR-SM-100-0X-2	Tehnička dokumentacija rebra postolja
ZR-SM-200	Tehnička dokumentacija sklopa postava za umjeravanje osjetnika momenta
ZR-SM-200-01	Tehnička dokumentacija prirubnice prema mjernoj dozi
ZR-SM-200-02	Tehnička dokumentacija UPE 200 profila

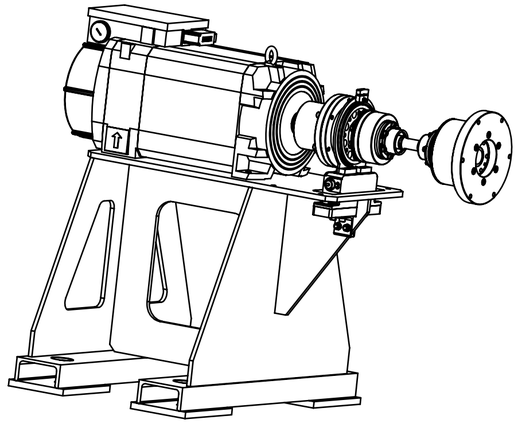






A (1 : 1)

C (1 : 1)



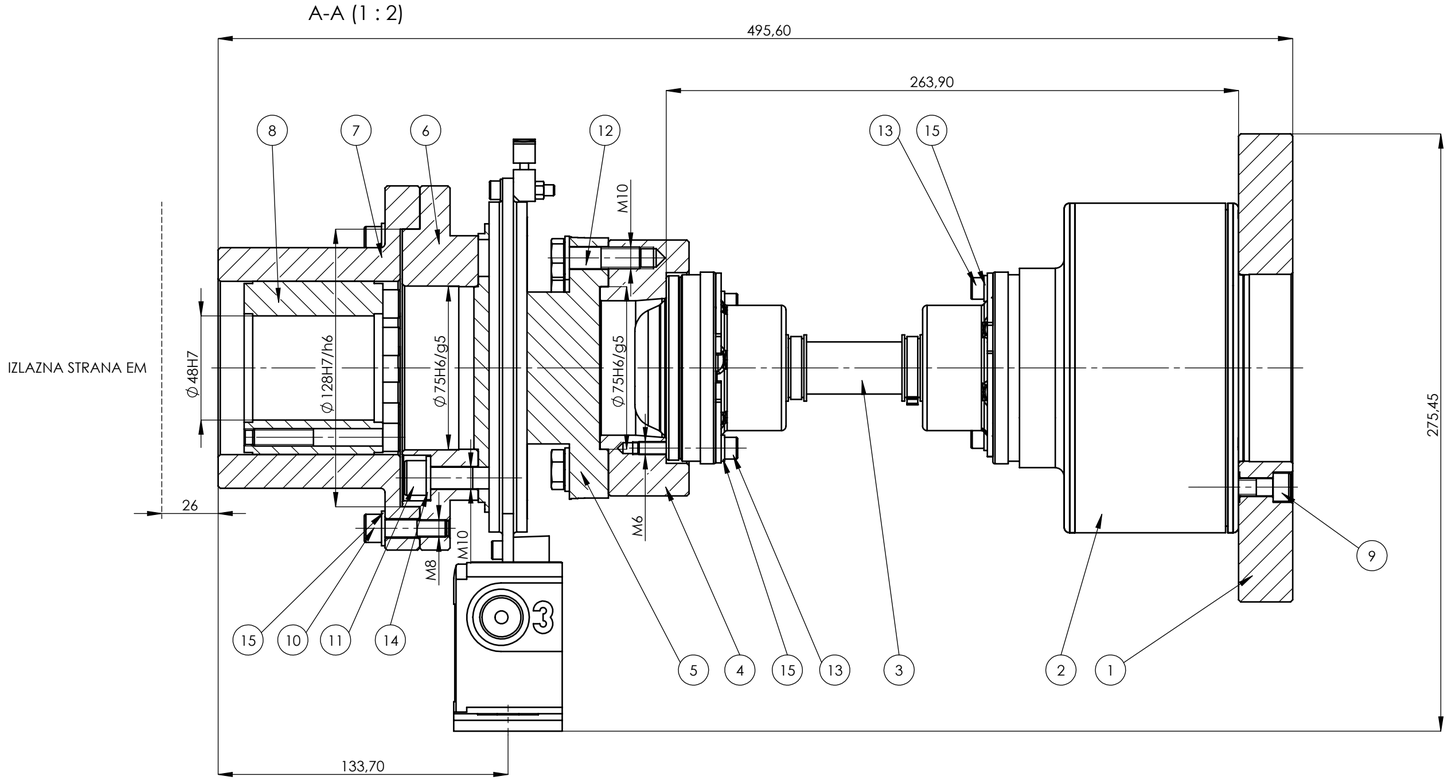
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
10	Matica M8	2	DIN 934	8.8	Ø14,5 x 6,5	-
9	Podloška M8	8	DIN 125	A2	Ø16	-
8	Navojna šipka M8	1	DIN 976	8.8	M8 x 50	-
7	Vijak M8	4	DIN 912	12.9	M8 x 15	-
6	Vijak M8	2	DIN 912	12.9	M8 x 30	-
5	L profil 50x50x4	2	ZR-SM-100-02	S235 JR	50 x 50 x 4	0,12 kg
4	Ploča za oslonac	1	ZR-SM-100-03	S275 JR	215x51x20	1,9 kg
3	Spoj ICE-EM	1	ZR-SM-100-01	-	Ø216 x 496	30 kg
2	Sklop postolja	1	ZR-SM-100-0X	-	687 x 539 x 320	-
1	Elektromotorna kočnica	1	1PH8137-1 DG00-1BA-1	-	679 x 316 x 260	-

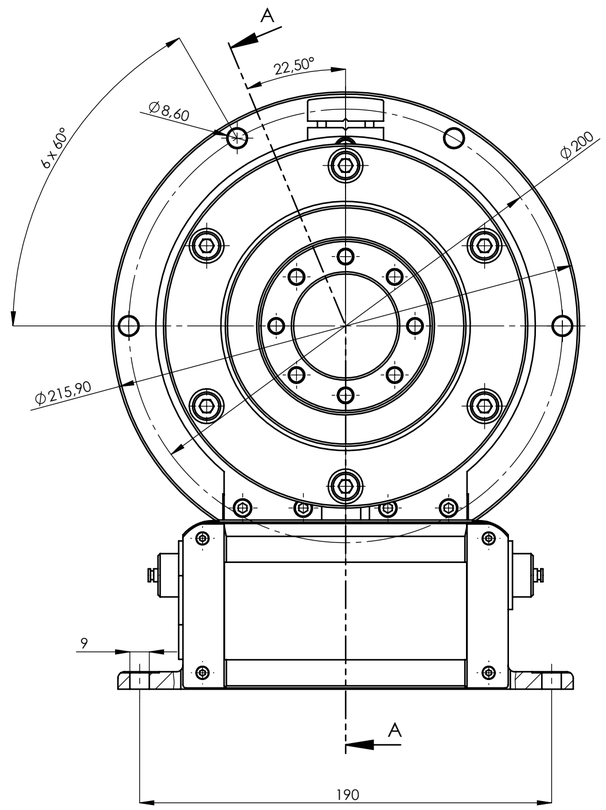
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Projektirao				
	Razradio				
	Crtao		Stipe Mustać		
	Pregledao				

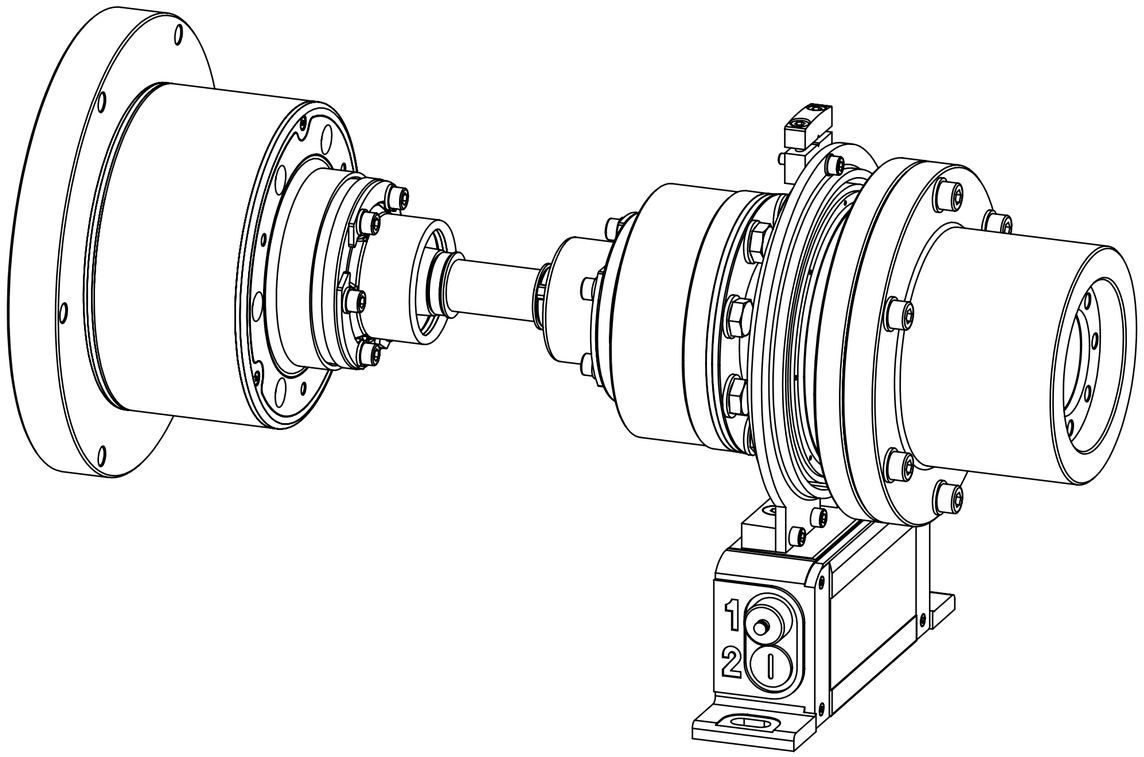
ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
		R. N. broj:
	Napomena:	Kopija
	Materijal: / Masa:	Završni rad
	Mjerilo originala 1:5	Naziv: Spoj ICE-EM s postoljem / Pozicija: / Format: A2
		Listova: 1
	Crtež broj: ZR-SM-100	List: 1

Design by CADLab

A-A (1 : 2)







Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
16	Podloška M6	12	DIN 912	A2	Ø12	-
15	Podloška M8	6	DIN 125	A2	Ø16	-
14	Podloška M10	16	DIN125	A2	Ø20	-
13	Vijak M6	12	DIN 912	12.9	M6x40	-
12	Vijak M10	8	DIN 931	12.9	M10x40	-
11	Vijak M10	8	DIN912	12.9	M10x40	-
10	Vijak M8	6	DIN912	12.9	M8x30	-
9	Vijak M8	6	DIN912	12.9	M8x35	-
8	Sklop steznog elementa	1	Madler COM-LLH	-	Ø80x72	1,7 kg
7	Glavina	1	ZR-SM-100-01-1	42CRMo4	Ø168x93	4,33 kg
6	Prirubnica prema EM	1	ZR-SM-100-01-2	S355JR	Ø168x35	2,89 kg
5	Sklop moment prirubnice T10FS	1	HBM K-T10FS-001R-H-SF1-G-0-V0-N	-	50x210x273	4 kg
4	Prirubnica prema HS	1	ZR-SM-100-01-3	S355JR	Ø88x230	1,97 kg
3	Homokinetički sklop	1	Tectos t-700-CV05	-	Ø118x41	2,7 kg
2	Spojka	1	Tectos t-1000-800-2	-	Ø152x104	5,5 kg
1	Prirubnica prema zamašnjaku	1	-	S355JR	Ø215,9x25	5,9 kg

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis
	Projektirao			
	Razradio			
	Crtao		Stipe Mustać	
	Pregledao			

FSB Zagreb

ISO - tolerancije		
Ø48H7	+0,025	0
Ø75H6/g5	+0,042	+0,01
Ø128H7/h6	+0,065	0

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Masa: 30 kg

Završni rad

Mjerilo originala 1:2

Naziv: Spoj ICE-EM

Pozicija: 3

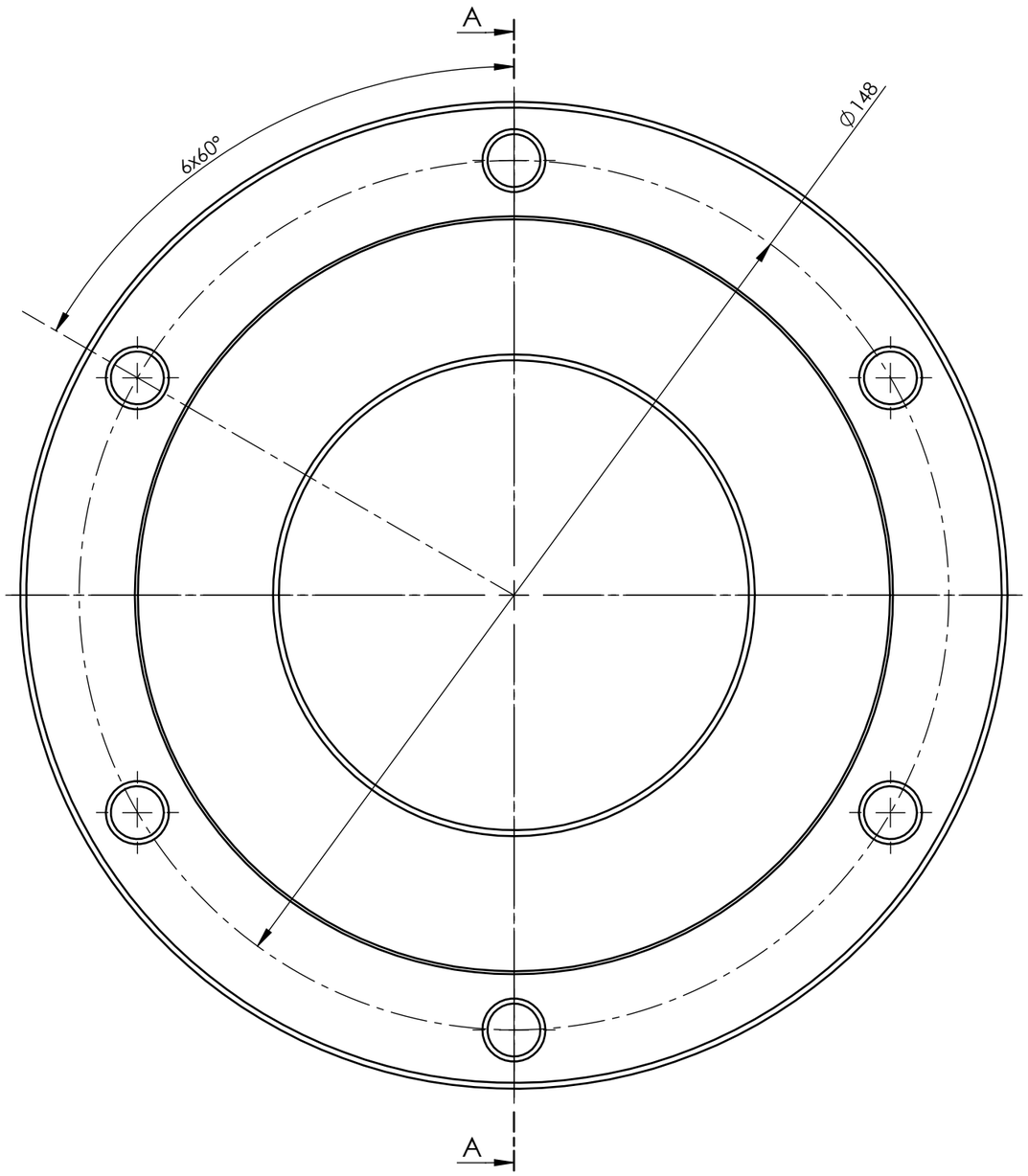
Format: A2

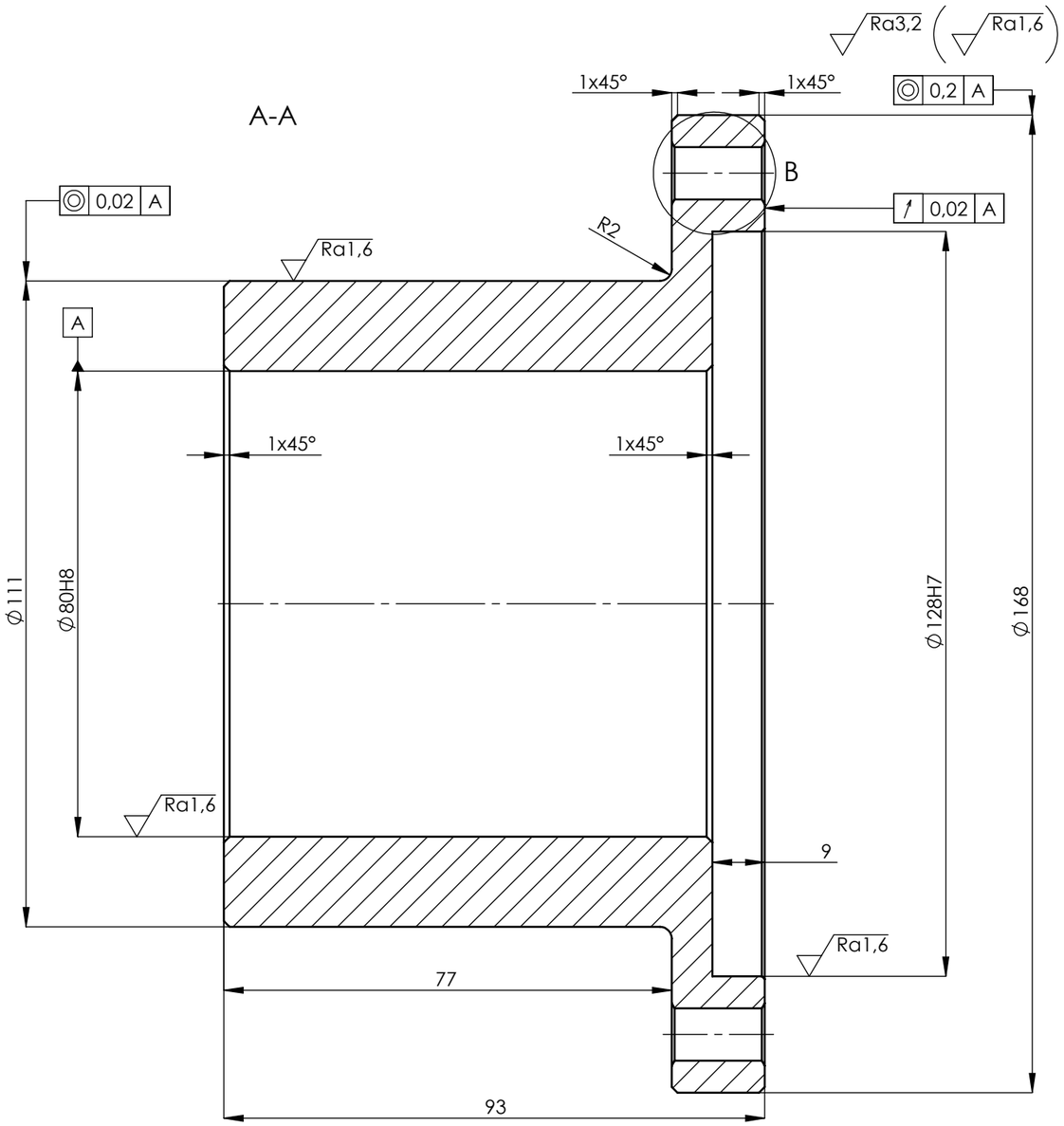
Listova: 1

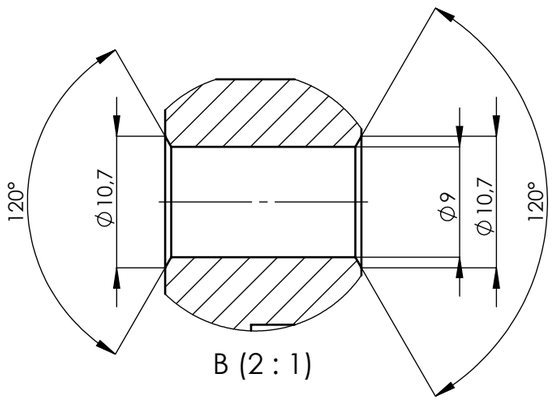
Crtež broj: ZR-SM-100-01

List: 1

Design by CADLab





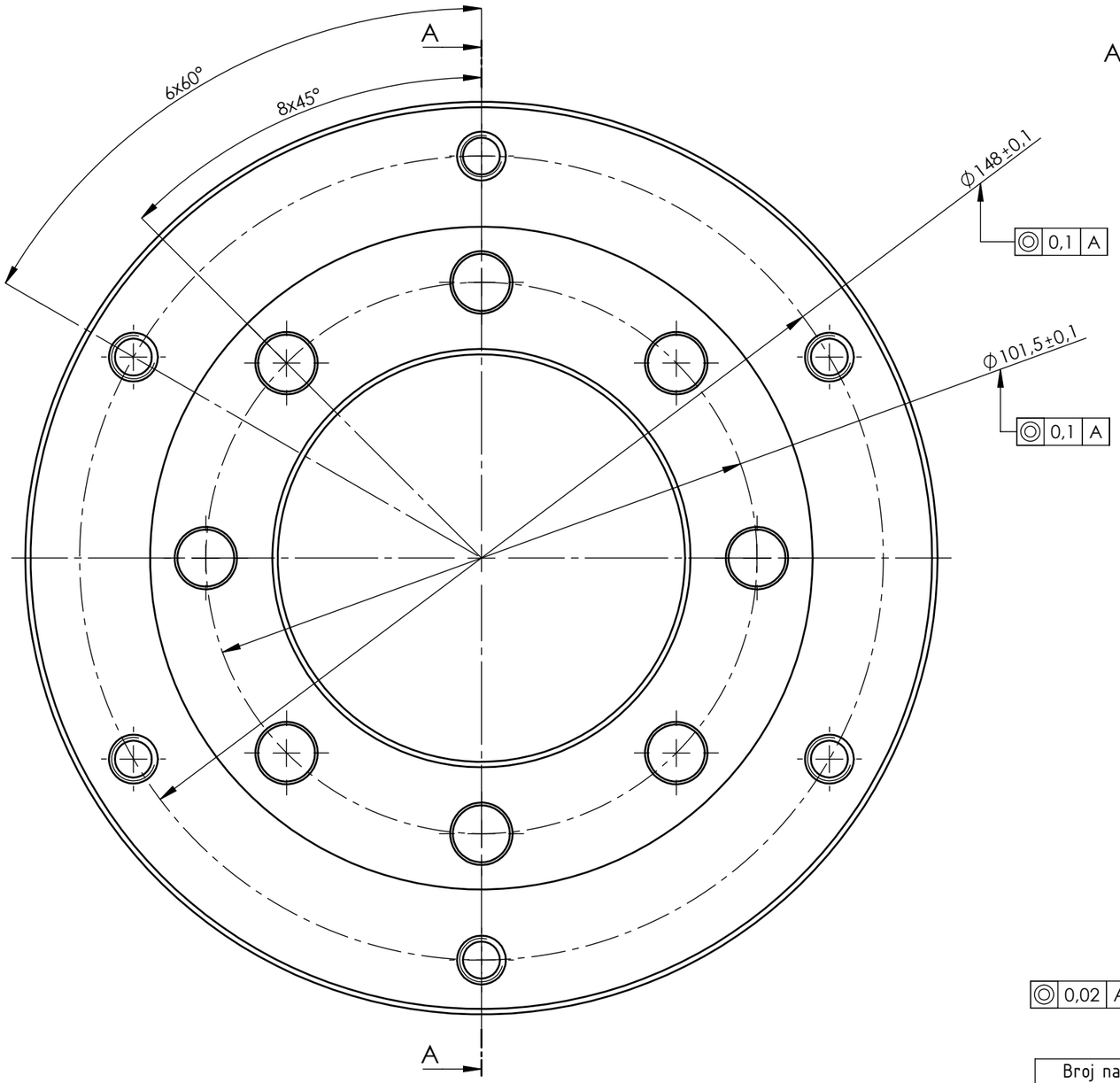


NAPOMENA:
1. Sva nekotirana skošenja su 0,5x45°.
2. Skinuti srh na oštrim rubovima.
3. Svi nekotirani prijelazi su maksimalno R0,3.
4. Antikorozivna zaštita - BRUNIRANJE.
5. Mjerenje udara prilikom montaže (nakon stezanja steznog elementa).

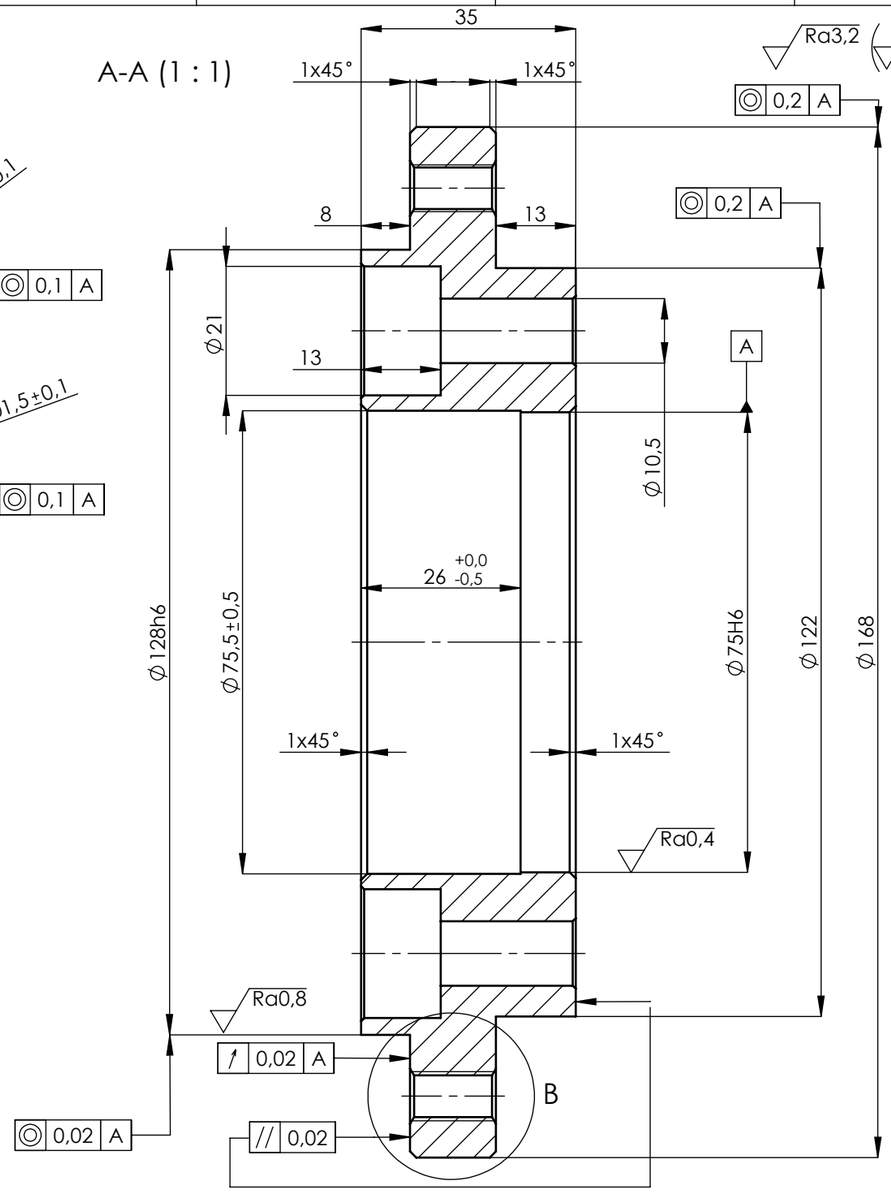
		Datum	Ime i prezime	Potpis	
Broj naziva - code	Projektirao				FSB Zagreb
	Razradio				
	Crtao		Stipe Mustać		
	Pregledao				
	Mentor				

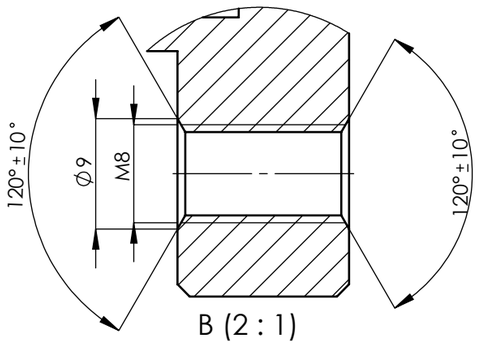
ISO - tolerancije				
Ø80H8	+0,035 / 0	Objekt:		Objekt broj:
				R. N. broj:
Ø128H7	+0,040 / 0	Napomena:		Kopija
		Materijal: C4732(42CrMo4)	Masa: 4,33kg	Završni rad
		Mjerilo originala 1:1	Naziv: Glavina	Pozicija: 7
			Crtež broj: ZR-SM-100-01-1	Format: A3
				Listova: 1
				List: 1

Design by CADLab



A-A (1 : 1)





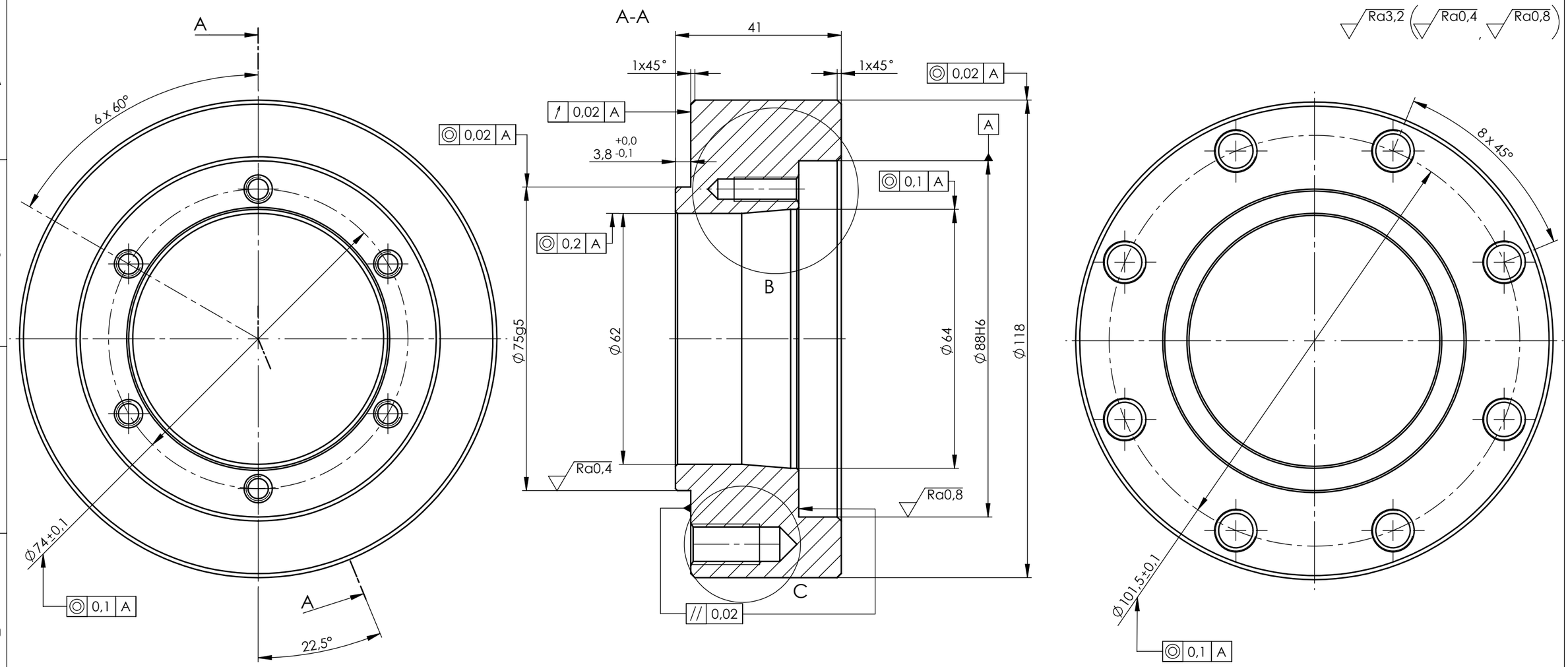
B (2 : 1)

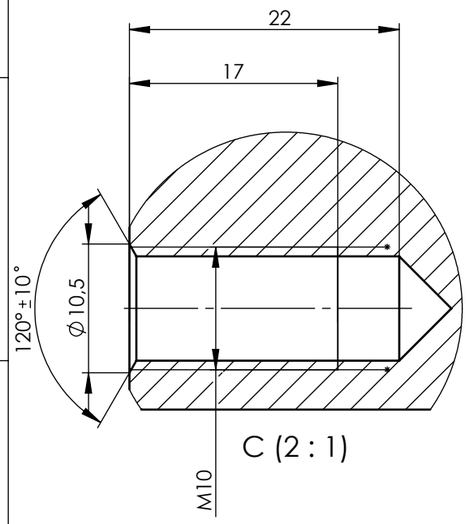
Napomena: 1. Sva nekotirana skošenja su 0,5x45°.
2. Skinuti srh na oštrim rubovima.
3. Svi nekotirani prijelazi su maksimalno R0,3
4. Antikorozivna zaštita - BRUNIRANJE.

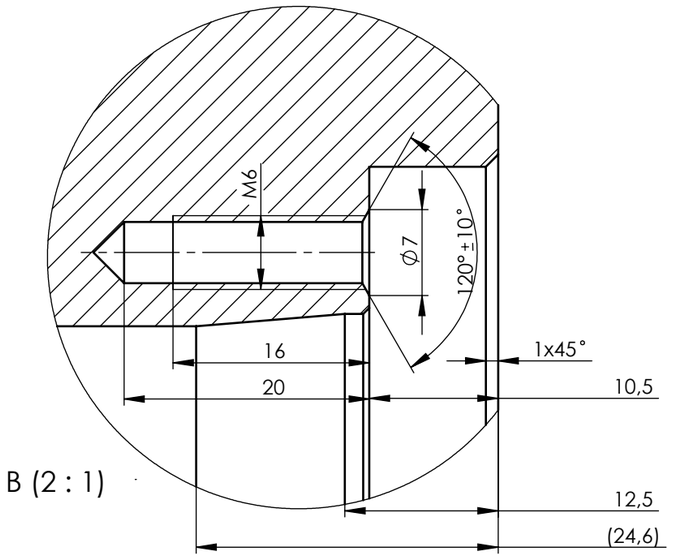
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Projektirao				
	Razradio				
	Crtao		Stipe Mustać		
	Pregledao				
	Mentor				

ISO - tolerancije		Objekt:	Objekt broj:
Φ128h6	0 / -0,025		R. N. broj:
Φ75H6	+0,019 / 0	Napomena:	Kopija
		Materijal: S355JR (Č0561) Masa: 2, 89 kg	Završni rad
		Mjerilo originala 1:1	Naziv: Prirubnica prema EM; Pozicija: 6
		Crtež broj: ZR-SM-100-01-2	Format: A3; Listova: 1; List: 1

Design by CADLab



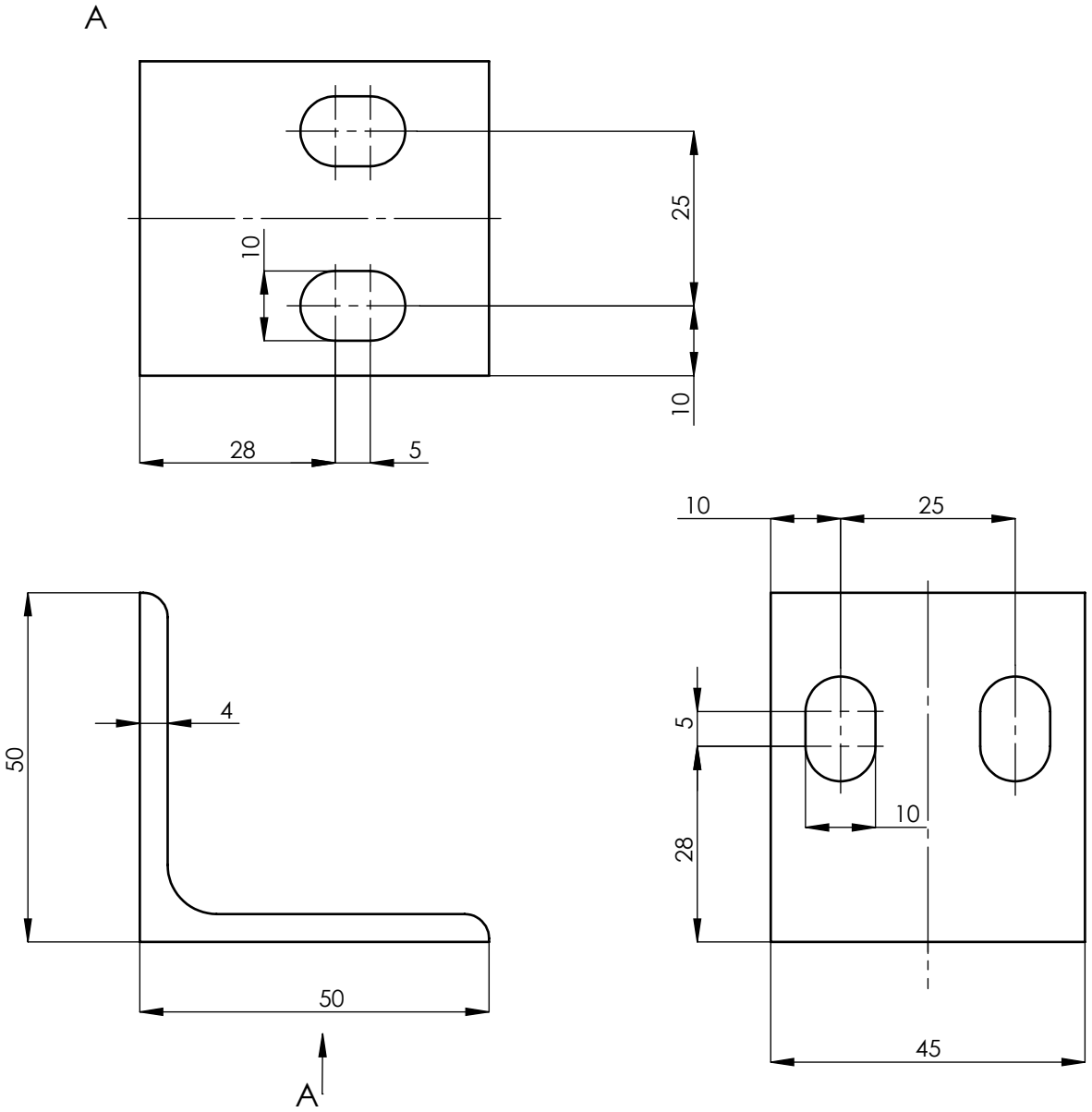




NAPOMENA: 1. Sva nekotirana skošenja su 0,5x45°.
2. Skinuti srh na oštrim rubovima.
3. Svi nekotirani prijelazi su maksimalno R0,3.
4. Antikorozivna zaštita - BRUNIRANJE.

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Projektirao				
	Razradio				
	Crtao		Stipe Mustać		
	Pregledao				
	Mentor				
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	
Ø75g5 -0,010 -0,023				R. N. broj:	
Ø0H6 +0,022 0	Napomena:				Kopija
	Materijal: S355JR(Č0561)	Masa: 1,97kg		Završni rad	
	Mjerilo originala 1:1	Naziv: Prirubnica prema HS		Pozicija: 4	Format: A3
					Listova: 4
		Crtež broj: ZR-SM-100-01-3			List: 4

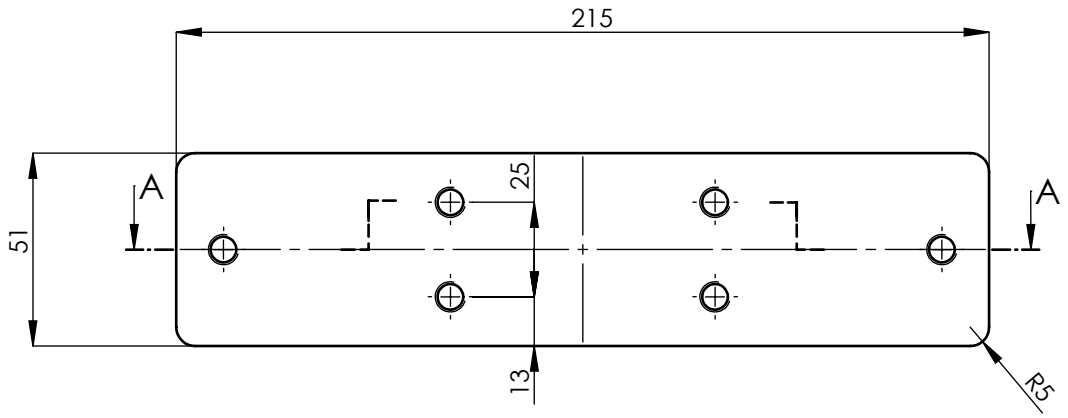
Design by CADLab

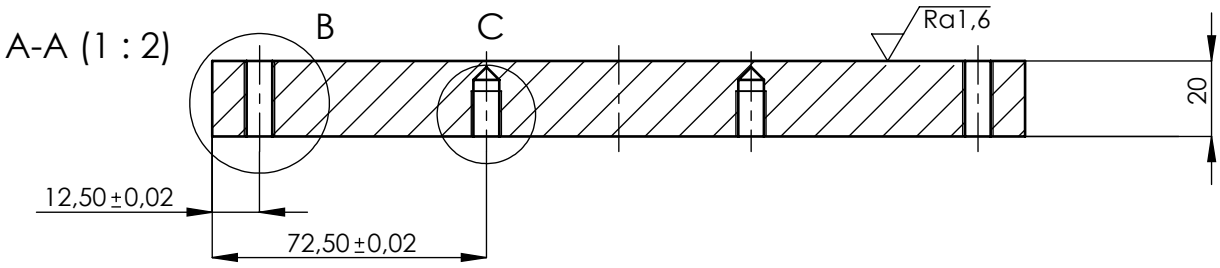


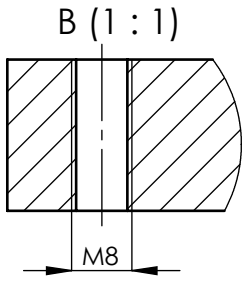
Element iz norme DIN 1028 L profil 50x50x4.

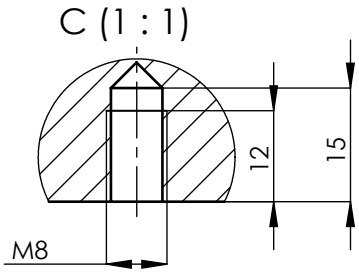
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Projektirao				
	Razradio				
	Crtao		Stipe Mustać		
	Pregledao				
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	
				R. N. broj:	
	Napomena:				Kopija
	Materijal: S235 JR		Masa: 0,12 kg	Završni rad	
	Mjerilo originala 1:1	Naziv: L profil 50x50x4		Pozicija: 5	Format: A4
					Listova: 1
		Crtež broj: ZR-SM-100-02			List: 1

Design by CADLab



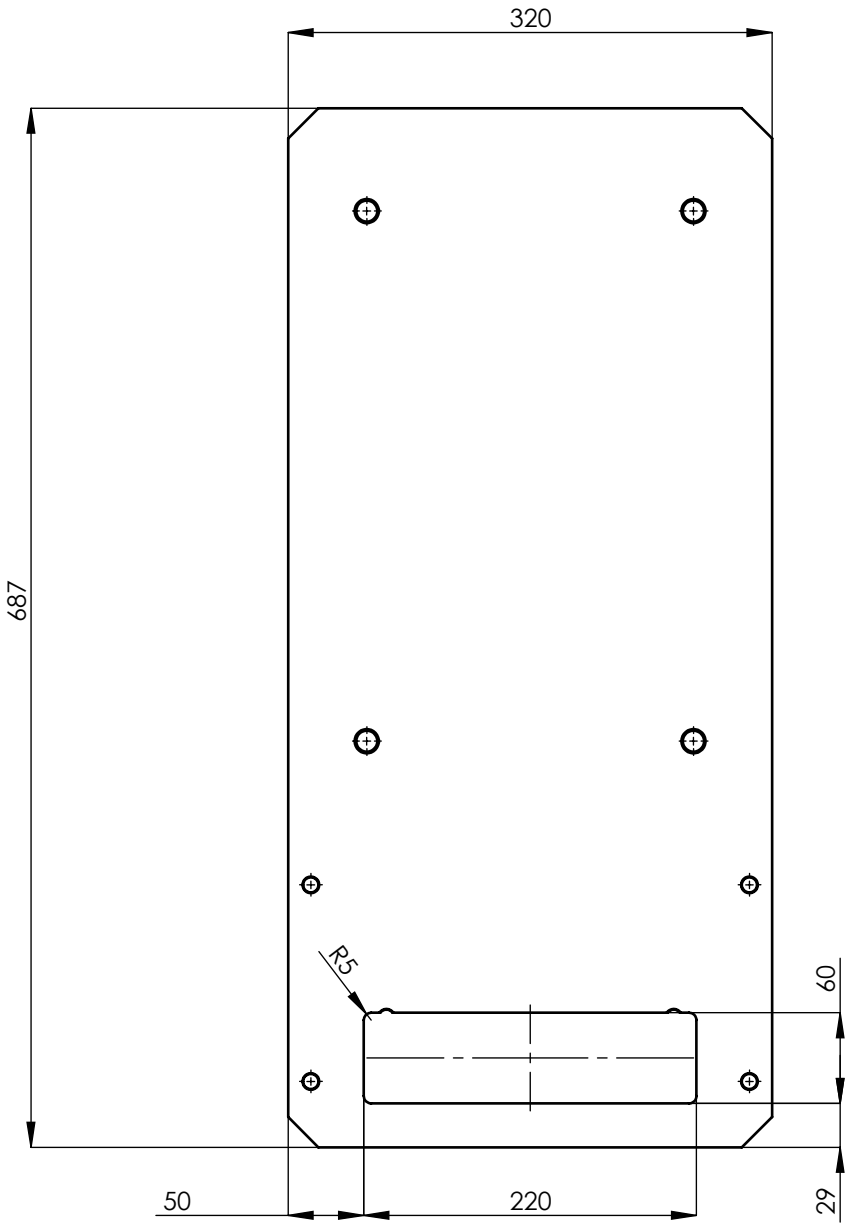






Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Projektirao				
	Razradio				
	Crtao		Stipe Mustać		
	Pregledao				
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	
				R. N. broj:	
	Napomena:				Kopija
	Materijal: S275JR	Masa: 1,9 kg		Završni rad	
	Mjerilo originala 1:2	Naziv: Ploča za oslonac		Pozicija: 4	Format: A4
					Listova: 1
		Crtež broj: ZR-SM-100-03			List: 1

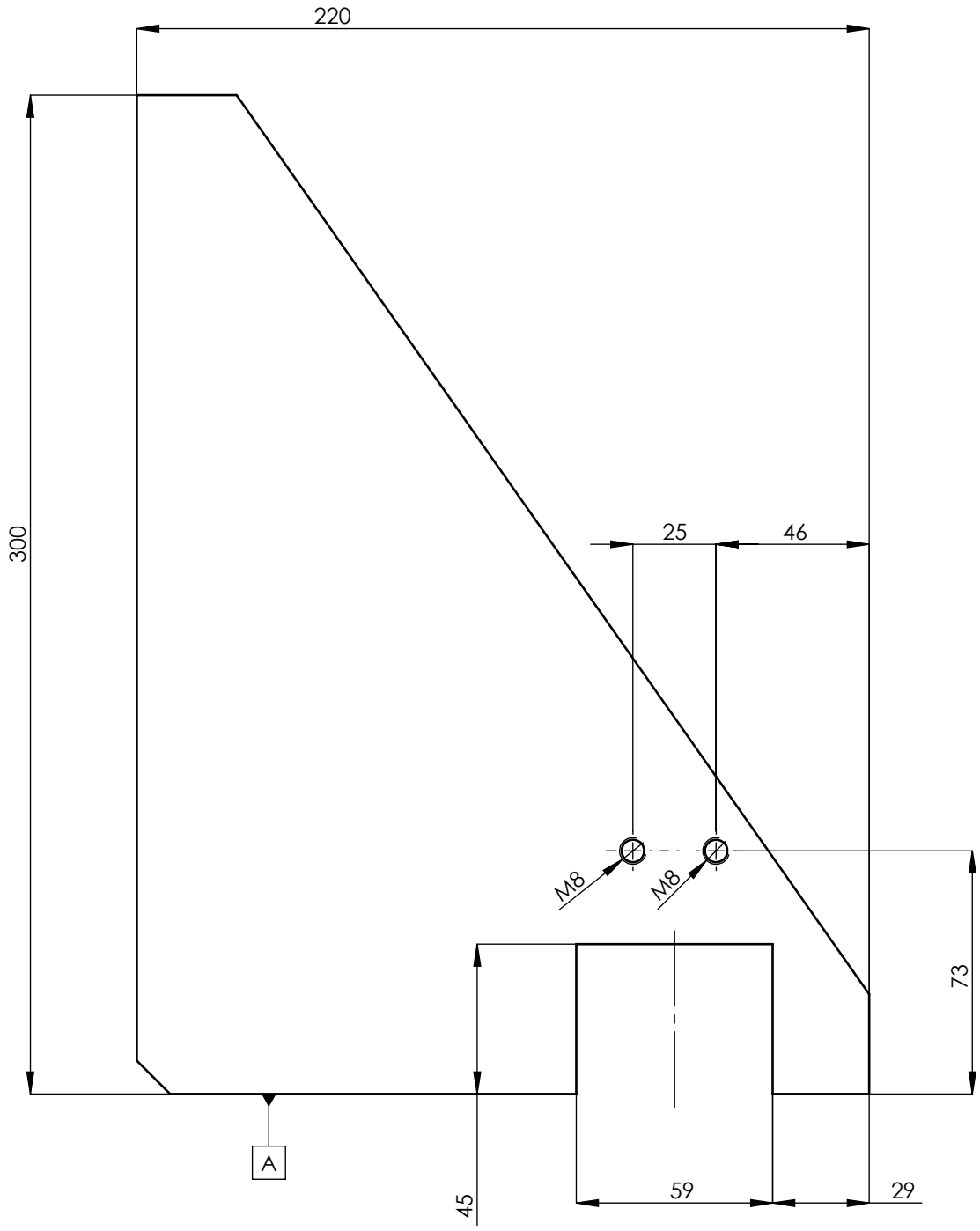
Design by CADLab



Napomena: Na već izrađenom elementu gornje ploče eksperimentalnog postava treba izrezati profil prikazanih dimenzija.

		Datum	Ime i prezime	Potpis	
Broj naziva - code	Projektirao				FSB Zagreb
	Razradio				
	Crtao		Stipe Mustać		
	Pregledao				
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	
				R. N. broj:	
	Napomena:				Kopija
	Materijal: S275JR		Masa: 19,3 kg	Završni rad	
	Mjerilo originala 1:5	Naziv: Gornja ploča		Pozicija:	Format: A4
					Listova: 1
		Crtež broj: ZR-SM-100-0X-1			List: 1

Design by CADLab

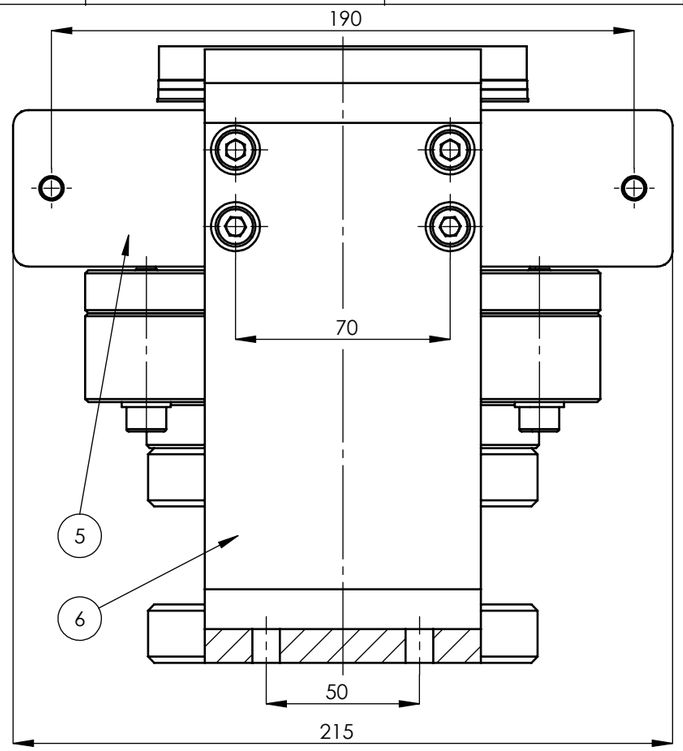


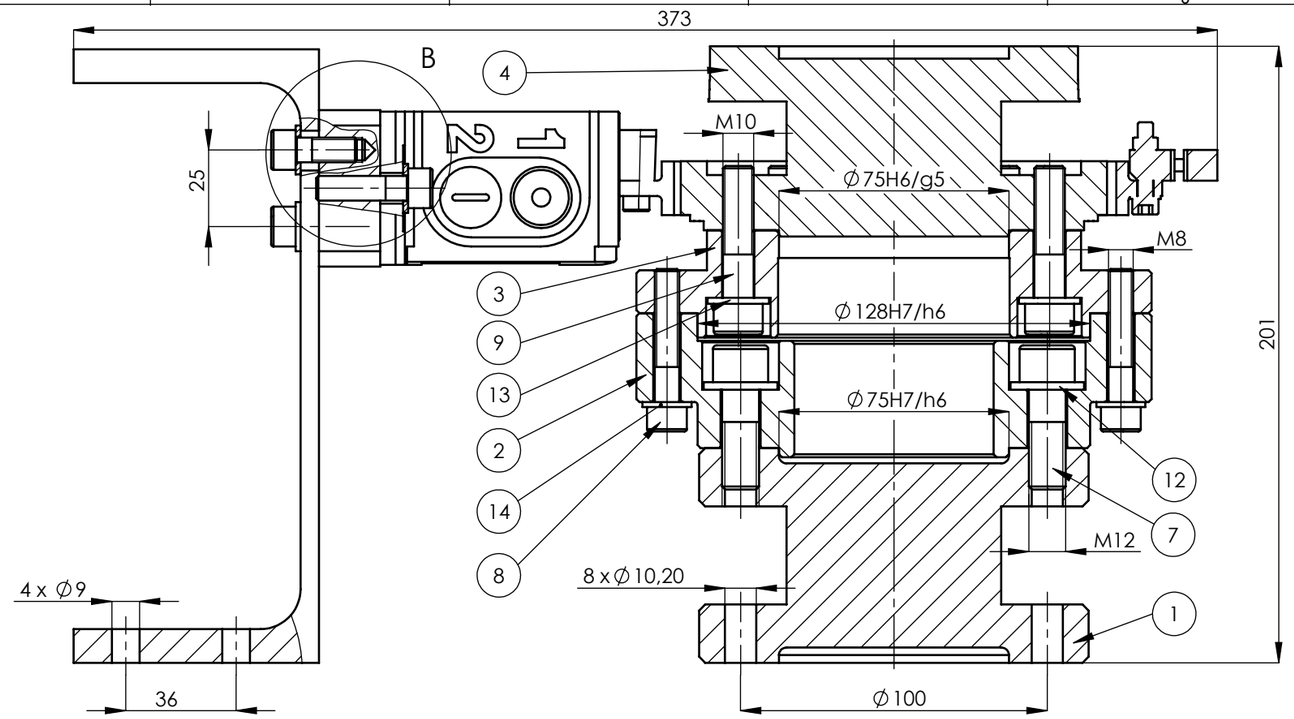
Napomena: Na već izrađenom elementu rebra eksperimentalnog postava treba izrezati profil i izbušiti prolazne rupe s navojem prikazanih dimenzija.

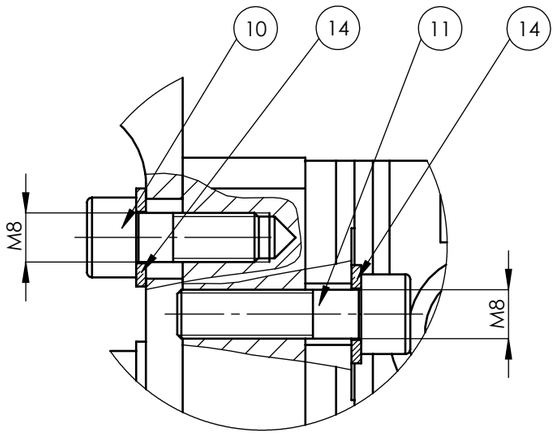
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Projektirao				
	Razradio				
	Crtao		Stipe Mustać		
	Pregledao				

ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
		R. N. broj:
	Napomena:	Kopija
	Materijal: S275JR / Masa: 2,9 kg	Završni rad
	Mjerilo originala 1:2	Naziv: Rebro / Pozicija: / Format: A4
		Listova: 1
		Crtež broj: ZR-SM-100-0X-2 / List: 1

Design by CADLab







B (1 : 1)

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
14	Podloška M8	12	DIN125	A2	∅16	-
13	Podloška M10	8	DIN125	A2	∅20	-
12	Podloška M12	8	DIN125	A2	∅24	-
11	Vijak M8	2	DIN912	12.9	M8x30	-
10	Vijak M8	4	DIN912	12.9	M8x20	-
9	Vijak M10	8	DIN912	12.9	M10x45	-
8	Vijak M8	6	DIN912	12.9	M8x45	-
7	VIjak M12	8	DIN912	12.9	M12x35	-
6	UPE 200 profil	1	ZR-SM-200-02	S235 JR	80x200x90	2 kg
5	Ploča za oslonac	1	ZR-SM-100-03	S275JR	215x51x20	1,9 kg
4	Sklop moment prirubnice T10FS	1	HBM K-T10FS-001R-H-SF1-G-0-V0-N	-	50x210x273	4 kg
3	Prirubnica prema EM	1	ZR-SM-100-01-2	S355JR	∅168x35	2,89 kg
2	Prirubnica prema mjernoj dozi	1	ZR-SM-200-01	S355JR	∅168x47	2,93 kg
1	Mjerna doza TRX.601.R5	1	MTRX2KNM005	-	∅127x70	2,5 kg

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis
	Projektirao			
	Razradio			
	Crtao		Stipe Mustać	
	Pregledao			
	Mentor			

FSB Zagreb

ISO - tolerancije		
∅75H7/h6	+0,049	0
∅75H6/g5	+0,042	+0,010
∅128H7/h6	+0,065	0

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Masa: 17,5 kg

Završni rad

Mjerilo originala 1:2

Naziv: Sklop postava za umjeravanje osjetnika momenta

Pozicija:

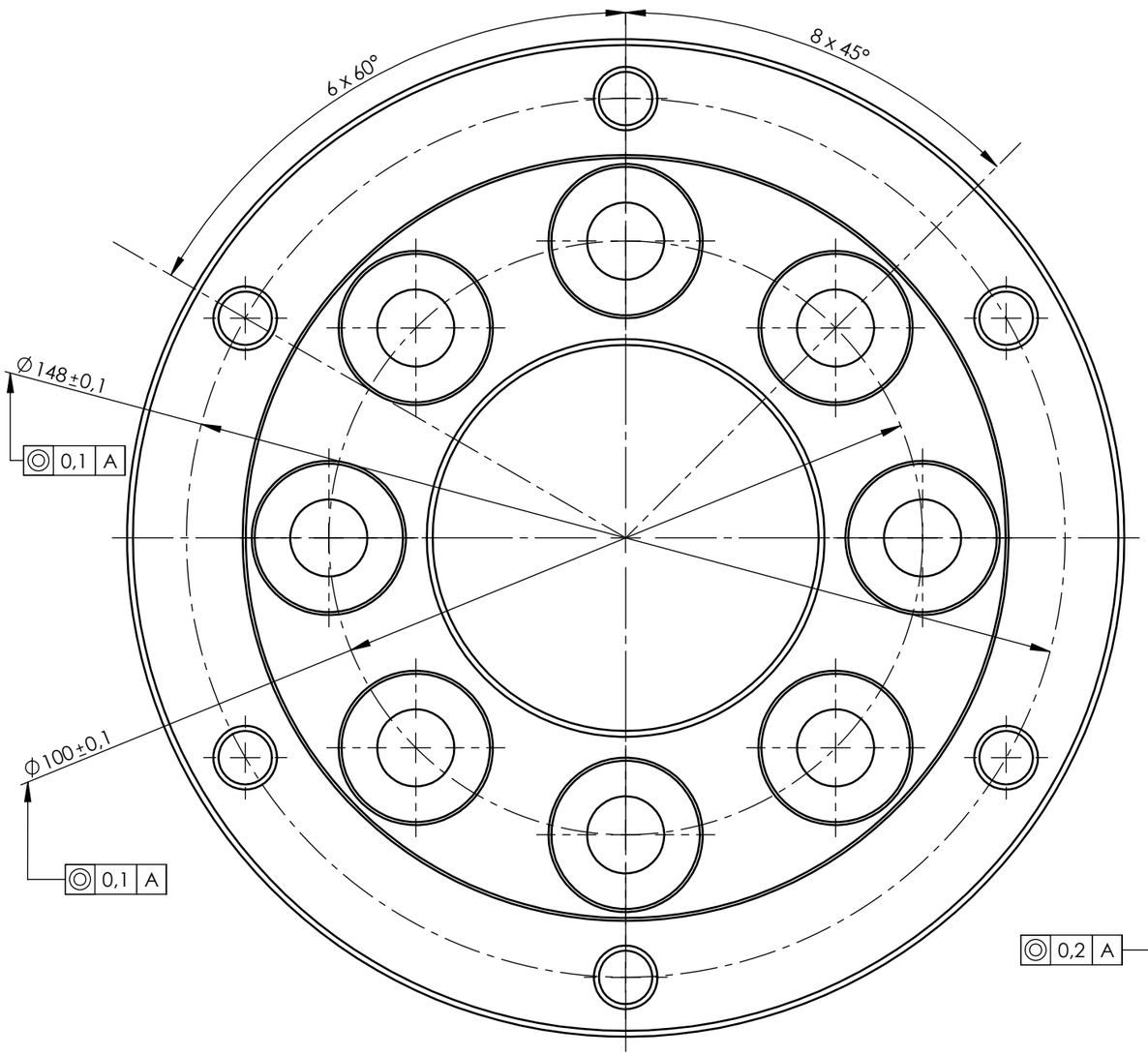
Format: A3

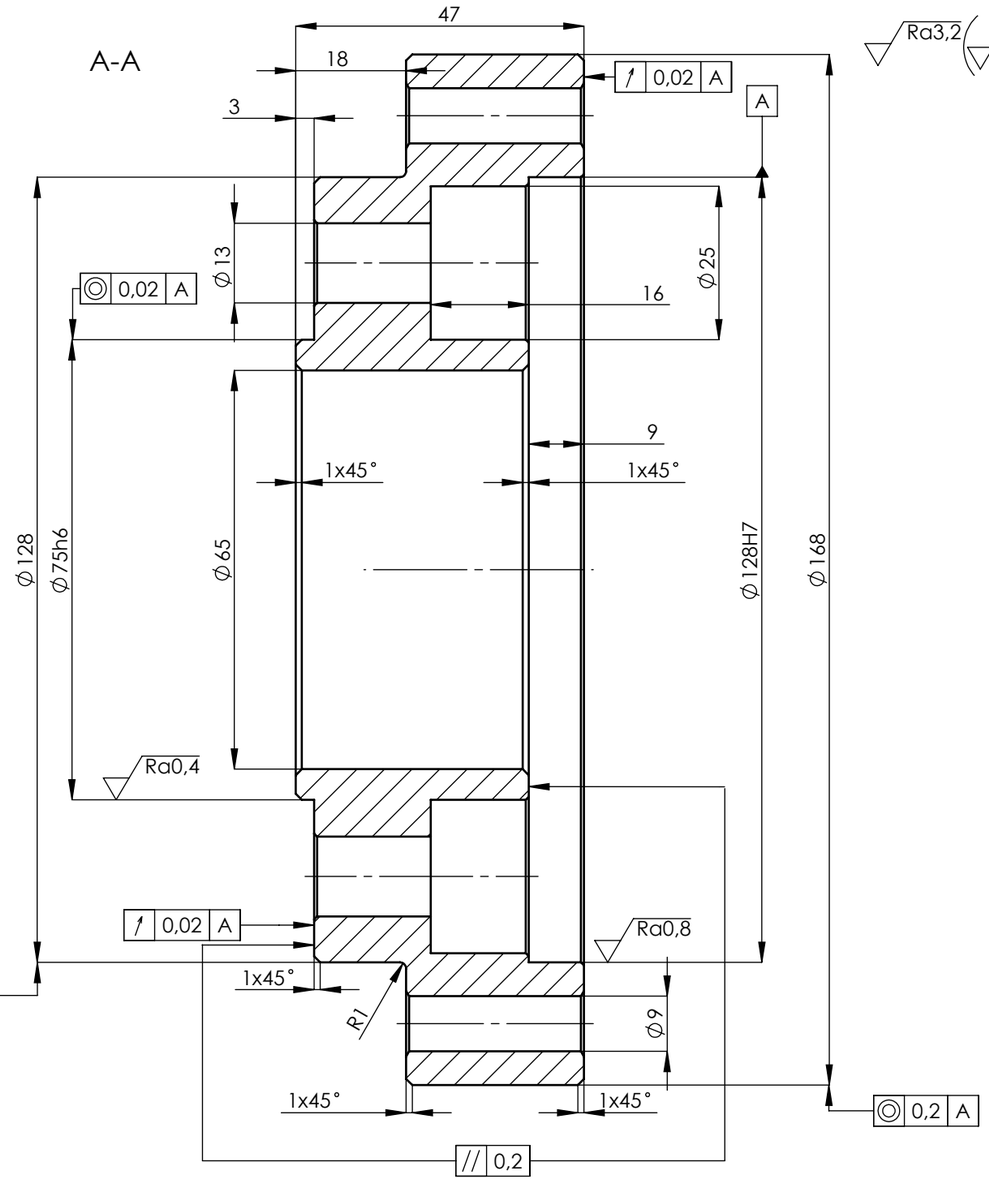
Listova: 1

Crtež broj: ZR-SM-200

List: 1

Design by CADLab





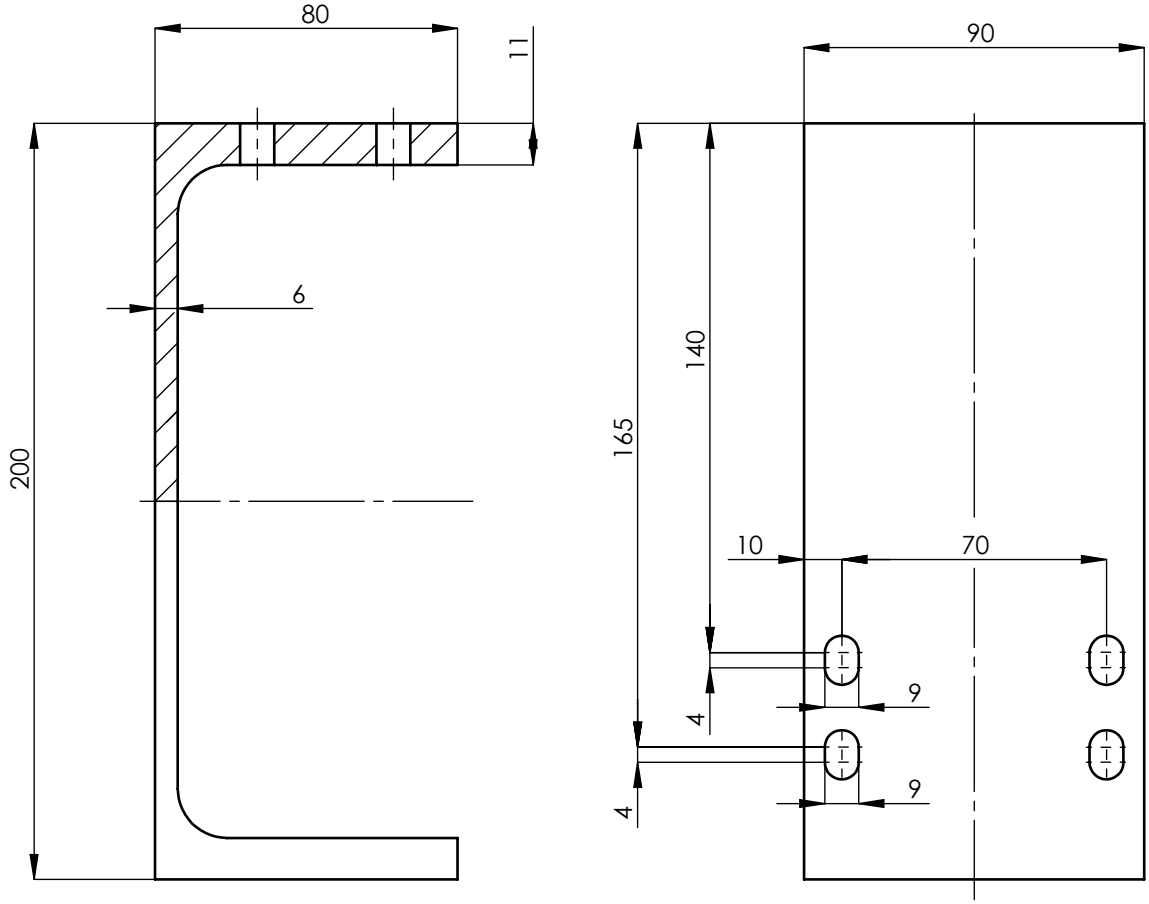
Ra3,2 (Ra0,4 Ra0,8)

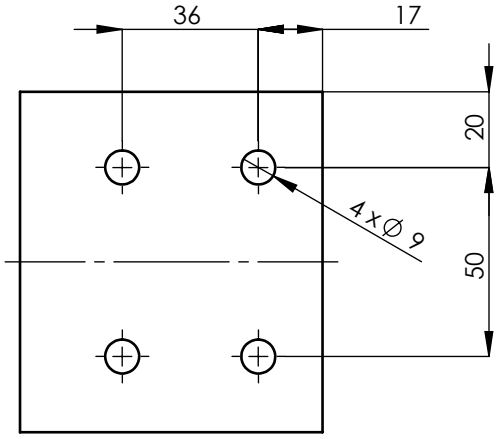
Napomena: 1. Sva nekotirana skošenja su 0,5x45°.
2. Skinuti srh na oštrim rubovima.
3. Svi nekotirani prijelazi su maksimalno R0,3
4. Antikorozivna zaštita - BRUNIRANJE.

Broj naziva - code			Datum	Ime i prezime	Potpis
		Projektirao			
		Razradio			
		Crtao		Stipe Mustać	
		Pregledao			
		Mentor			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:
Ø75h6	0 / -0.019				R. N. broj:
Ø128H7	+0,04 / 0	Napomena:			Kopija
		Materijal: S355JR	Masa: 2,93 kg	Završni rad	
		Mjerilo originala 1:2	Naziv: Prirubnica prema mjernoj dozi	Pozicija: 2	Format: A3
					Listova: 1
			Crtež broj: ZR-SM-200-01		List: 1

FSB Zagreb

Design by CADLab





Element iz norme DIN 1026-2 UPE 200 profil.

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Projektirao				
	Razradio				
	Crtao		Stipe Mustać		
	Pregledao				
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	
				R. N. broj:	
	Napomena:				Kopija
	Materijal: S235 JR		Masa: 2 kg	Završni rad	
	Mjerilo originala 1:2	Naziv: UPE 200 profil		Pozicija: 6	Format: A4
					Listova: 1
		Crtež broj: ZR-SM-200-02			List: 1

Design by CADLab