

Stroj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju

Železić, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:235:711019>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-20**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Domagoj Železić

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Krešimir Vučković, dipl. ing.

Student:

Domagoj Železić

Zagreb, 2024.

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

Zahvaljujem svom mentoru prof. dr. sc. Krešimiru Vučkoviću, dipl. ing. na pomoći i pruženim savjetima tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem roditeljima i obitelji koji su mi omogućili studiranje i bili podrška tijekom cijelog njegovog trajanja. Također zahvaljujem djevojcici na svoj pruženoj potpori tijekom studiranja i pisanja ovog rada.

Domagoj Železić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodostrojarski



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 24 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Domagoj Železić** JMBAG: **0035225193**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Stroj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Rotating bending fatigue testing machine**

Opis zadatka:

Usljed nehomogene strukture materijala te promjenljivog naprezanja, u strojnim dijelovima dolazi do pojave zamora materijala zbog čega dolazi do smanjenja njihove nosivosti. Kako bi se strojni dijelovi mogli pravilno dimenzionirati nužno je, između ostalog, poznavati i dinamičku čvrstoću materijala pri određenom načinu opterećivanja. Dinamička čvrstoća materijala određuje se eksperimentalnim ispitivanjem prema normiranim metodama na posebnim strojevima na kojima se simulira ciklička promjena naprezanja na ispitnom uzorku.

U radu je potrebno koncipirati i konstrukcijski razraditi uredaj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju prema općem principu rada te metodi ispitivanja i parametrima opisanim u normi ISO 1143. Stroj treba konstruirati tako da ima mogućnost ispitivanja cilindričnih ispitnih uzoraka nazivnog promjera d veličine 6 mm, 7,5 mm i 9,5 mm.

Rad treba sadržavati:

- pregled sličnih postojećih strojeva,
- opis metode ispitivanja,
- konstrukcijsku razradu do razine radioničkih crteža te
- proračun svih nenormiranih dijelova.

Vrijednosti potrebne za proračun i odabir pojedinih komponenti usvojiti iz postojećih rješenja sličnih strojeva, iskustvenih vrijednosti te u dogovoru s mentorom.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2023.

Datum predaje rada:

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.

2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.

3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

Predviđeni datum i obrane:

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.

2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.

3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Predsjednik Povjerenstva:

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Krešimir Vučković

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	X
SUMMARY	XI
1. UVOD.....	1
2. Metoda ispitivanja dinamičke čvrstoće	2
2.1. Naprezanje kod savijanja	2
2.2. Wöhlerov dijagram (<i>S-N</i> dijagram).....	3
3. Analiza postojećih proizvoda	4
3.1. Admet eXpert 9300	4
3.2. Raagen Rotating Bending Fatigue Testing Machines	5
3.3. PA Hilton HSM19.....	5
3.4. ZwickRoell ARBM 120	6
3.5. Ducom RBFT	7
4. Funkcijska dekompozicija	8
5. Morfološka matrica.....	9
6. Koncepti.....	13
6.1. Koncept 1	13
6.2. Koncept 2	13
6.3. Koncept 3	15
6.4. Vrednovanje koncepata.....	16
7. Proračun i odabir komponenti	17
7.1. Odabir momenta savijanja	17
7.2. Odabir kraka sile i pneumatskog cilindra	17
7.3. Određivanje opterećenja u osloncima te ležajevima vratila.....	18

7.4.	Proračun ležajeva vratila	19
7.5.	Opterećenje vratila	20
7.6.	Kontrolni proračun vratila.....	21
7.6.1.	Presjek I-I.....	22
7.6.2.	Presjek II-II	22
7.6.3.	Presjek III-III	23
7.7.	Odabir stezne čahure	24
7.8.	Odabir elektromotora i frekventnog pretvarača	25
7.9.	Odabir spojke	26
7.10.	Proračun opterećenja ležajeva osovine	26
7.11.	Proračun osovine	29
7.12.	Proračun vijaka nosača osovine	31
7.13.	Proračun vijaka nosača pneumatskog cilindra	33
7.14.	Proračun vijaka nosača elektromotora	34
7.15.	Proračun sile potrebne za pomak pomičnog dijela	35
7.16.	Odabir senzora sile.....	36
8.	Postupak ispitivanja.....	37
9.	ZAKLJUČAK.....	38
LITERATURA.....		39
PRILOZI.....		40

POPIS SLIKA

Slika 1.	Raspodjela normalnog naprezanja uslijed savojnog opterećenja po visini poprečnog presjeka.....	2
Slika 2.	Promjena iznosa normalnog naprezanja u vremenu.....	2
Slika 3.	Primjer Wöhlerove krivulje [1]	3
Slika 4.	Admet eXpert 9300 [2].....	4
Slika 5.	Raagen Rotating Bending Fatigue Testing Machines [3]	5
Slika 6.	PA Hilton HSM19 [4]	5
Slika 7.	ZwickRoell ARBM 120 [5].....	6
Slika 8.	Ducom RBFT [6].....	7
Slika 9.	Funkcijska dekompozicija.....	8
Slika 10.	Koncept 1	13
Slika 11.	Koncept 2	14
Slika 12.	Spoj elektromotora i kućišta koncepta 2	14
Slika 13.	Koncept 3	15
Slika 14.	Spoj između kućišta i linearног aktuatora	15
Slika 15.	Odabrani pneumatski cilindar s nosačem [8]	18
Slika 16.	Prikaz opterećenja sustava.....	18
Slika 17.	Prikaz opterećenja kućišta	19
Slika 18.	Opterećenje vratila	20
Slika 19.	Položaj presjeka na vratilu	21
Slika 20.	Stezna čahura i matica [11] [12].....	24
Slika 21.	Ključ za pritezanje matice stezne čahure [13].....	24
Slika 22.	3D model odabranog elektromotora.....	25
Slika 23.	Odabrana kompenzacijkska spojka [16].....	26
Slika 24.	Kućište s osovinom oko koje rotira	26
Slika 25.	Opterećenje ležajeva osovine	27
Slika 26.	Prikaz opterećenja osovine.....	29
Slika 27.	Položaj kritičnog presjeka na osovini.....	31
Slika 28.	Opterećenje vijaka nosača osovine.....	32
Slika 29.	Opterećenje vijaka nosača pneumatskog cilindra	33
Slika 30.	Nosač elektromotora.....	34
Slika 31.	Opterećenje ploče EM 3	34
Slika 32.	Opterećenje ploče EM 3	35
Slika 33.	Pomičan dio stroja	36
Slika 34.	Senzor sile C9C [20]	36
Slika 35.	3D model stroja bez zaštitnog poklopca.....	38

POPIS TABLICA

Tablica 1. Morfološka matrica	9
Tablica 2. Vrednovanje koncepata	16
Tablica 3. Veličine vratila na presjeku I-I	22
Tablica 4. Veličine vratila na presjeku II-II	22
Tablica 5. Veličine vratila na presjeku III-III.....	23
Tablica 6. Podatci elektromotora 5AZ 63B-2	25
Tablica 7. Faktori X i Y [17]	28
Tablica 8. Veličine osovine na kritičnom presjeku	30

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

BROJ CRTEŽA	Naziv iz sastavnice
DZ-001	Stroj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju
DZ-002	Sklop nepomičnog dijela
DZ-003	Sklop pomičnog dijela
DZ-004	Sklop kućišta 1
DZ-005	Sklop kućišta 2
DZ-006	Sklop elektromotora
DZ-007	Gurajuća pločica
DZ-008	Kućište 1
DZ-009	Kućište 2
DZ-010	L profil
DZ-011	Nosač osovine
DZ-012	Odstojna čahura osovine 1
DZ-013	Odstojna čahura osovine 2
DZ-014	Odstojna čahura vratila
DZ-015	Odstojnik cilindra
DZ-016	Osiguravajuća pločica
DZ-017	Osovina
DZ-018	Ploča 1
DZ-019	Ploča 2
DZ-020	Ploča EM 1
DZ-021	Ploča EM 2
DZ-022	Ploča EM 3
DZ-023	Podložna pločica senzora
DZ-024	Poklopac
DZ-025	Prolazni poklopac osovine 1
DZ-026	Prolazni poklopac osovine 2
DZ-027	Prolazni poklopac vratila
DZ-028	Prolazni poklopac izlaznog vratila
DZ-029	Prsten ležaja
DZ-030	Stup

DZ-031	Temeljna ploča
DZ-032	Vratilo 1
DZ-033	Vratilo 2
DZ-034	Zatvoreni poklopac vratila

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
b_1	-	Faktor veličine strojnog dijela
b_2	-	Faktor kvalitete obrade površine
C	kN	Dinamička nosivost valjnog ležaja
C_0	kN	Statička nosivost valjnog ležaja
C_1	kN	Dinamička opterećenost ležaja
d	mm	Promjer
D	mm	Promjer
d_{min}	mm	Minimalni promjer
e	-	Granični omjer aksijalnog i radijalnog opterećenja ležaja
F	N	Sila
f_0	-	Proračunski faktor
F_A	N	Sila u osloncu A
F_{Aa}	N	Aksijalna sila u osloncu A
F_{Ar}	N	Radijalna sila u osloncu A
F_{Ax}	N	Komponenta sile oslonca A na x osi
F_{Ay}	N	Komponenta sile oslonca A na y osi
F_B	N	Sila u osloncu B
F_{Bx}	N	Komponenta sile oslonca B na x osi
F_{By}	N	Komponenta sile oslonca B na y osi
F_C	N	Sila u osloncu C
F_{Ca}	N	Aksijalna sila u osloncu C
F_{cil}	N	Sila u pneumatskom cilindru
F_{cil}'	N	Potrebna sila u pneumatskom cilindru
F_{Cx}	N	Komponenta sile oslonca C na x osi
F_{Cy}	N	Komponenta sile oslonca C na y osi
F_D	N	Sila u osloncu D
F_{Dx}	N	Komponenta sile oslonca D na x osi
F_{Dy}	N	Komponenta sile oslonca D na y osi
F_L	N	Sila u ležaju vratila
F_{L1}	N	Sila u ležaju 1 vratila
F_{L2}	N	Sila u ležaju 2 vratila
F_n	N	Nazivna sila
F_O	N	Sila u osloncu
F_R	N	Ručna sila
F_{uk}	N	Sila u uklještenju
F_V	N	Sila u vijku
$F_{V,max}$	N	Maksimalna sila u vijku

F_{Vx}	N	Sila u vijku kao reakcija na moment u xz ravnini
F_{Vy}	N	Sila u vijku kao reakcija na moment u yz ravnini
G_{EM}	N	Težina elektromotora
G_{PL}	N	Težina ploče
I	mm^4	Moment tromosti površine poprečnog presjeka
I_n	A	Nazivna struja
J	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	Moment tromosti masa reduciranih na os vratila
L_{10h}	h	Nazivni vijek trajanja ležaja
L_{10h_min}	h	Potrebni vijek trajanja ležaja
m_{em}	kg	Masa elektromotora
m_p	kg	Masa pomičnog dijela stroja
m_{PL}	kg	Masa ploče
M_{em}	Nm	Moment elektromotora
M_{em}'	Nm	Potreban moment elektromotora
M_f	Nm	Moment savijanja
$M_{f,max}$	Nm	Maksimalni moment savijanja
M_{max}	Nm	Maksimalni moment
M_n	Nm	Nazivni moment
N	-	Broj ciklusa
n_m	min^{-1}	Brzina vrtnje
p	-	Broj polova elektromotora
p	bar	Tlak
p_n	bar	Nazivni tlak
P_n	kW	Nazivna snaga
P_r	kN	Dinamičko ekvivalentno radijalno opterećenje ležaja
P_{rA}	kN	Dinamičko ekvivalentno radijalno opterećenje ležaja na mjestu A
r	-	Odnos graničnih naprezanja
R_e	MPa	Granica tečenja
s_0	-	Statička sigurnost ležaja
s_{0_min}	-	Minimalna statička sigurnost ležaja
S_{post}	-	Postojeća sigurnost
S_{potr}	-	Potrebna sigurnost
S_V	-	Sigurnost vijka
t	s	Vrijeme
t_u	s	Vrijeme pokretanja
W	mm^3	Moment otpora presjeka
x	mm	Proizvoljni razmak
X	-	Proračunski faktor aksijalnog opterećenja valjnih ležajeva
Y	-	Proračunski faktor aksijalnog opterećenja valjnih ležajeva

β_{kf}	-	Efektivni faktor zareznog djelovanja kod savijanja
ε	-	Eksponent vijeka trajanja valjnog ležaja
μ	-	Faktor trenja
ρ	mm	Polumjer zaobljenja
τ	MPa	Posmično naprezanje
σ	MPa	Normalno naprezanje
σ_{potr}	MPa	Potrebno savojno naprezanje
σ_{red}	MPa	Reducirano naprezanje
σ_{fDN}	MPa	Dinamička naizmjenična savojna čvrstoća
σ_V	MPa	Normalno naprezanje u vijku
φ	-	Faktor udara

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada bio je razviti stroj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju prema zahtjevima norme ISO 1143. Konstrukcijsko rješenje razrađeno je do razine radioničkih crteža, te je napravljen proračun čvrstoće kritičnih komponenti uređaja. Maksimalan moment koji se može postići ovim uređajem iznosi 45 Nm. Način rada osmišljen je uz pretpostavku da korisnik posjeduje kompresor i sve potrebne komponente za rad pneumatskog cilindra.

Ključne riječi: dinamička čvrstoća, zamor materijala, moment savijanja

SUMMARY

The objective of this undergraduate thesis was to design a rotating bending fatigue testing machine according to the requirements of the ISO 1143 standard. The design solution has been elaborated in technical documentation and strength calculation of critical components of the machine has been performed. The maximum bending moment that can be achieved with this device is 45 Nm. The machine was designed with the assumption that the user possesses a compressor and all necessary components needed for using pneumatic cylinders.

Key words: dynamic strength, material fatigue, bending moment

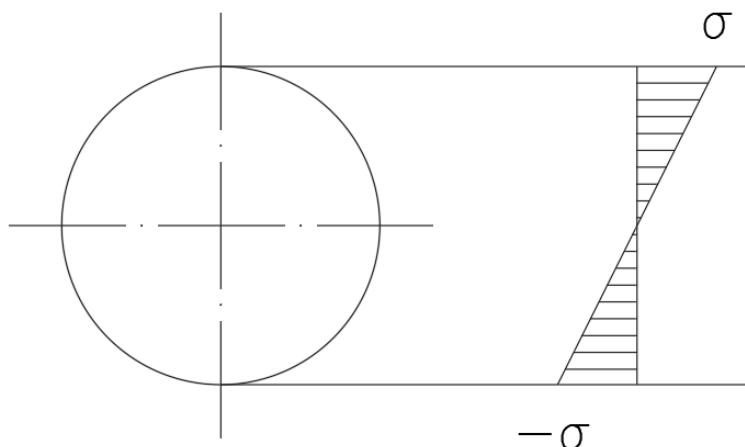
1. UVOD

Strojevi za ispitivanje dinamičke čvrstoće imaju ključnu ulogu u dimenzioniranju, povećanju sigurnosti te smanjenju mase i cijene elemenata strojeva. Ti strojevi simuliraju promjenjivo naprezanje u određenom broju ciklusa koje se javlja u stvarnim uvjetima opterećenja. Usljed promjenljivog naprezanja tijekom rotacije savojno opterećenih strojnih dijelova te nehomogene strukture materijala dolazi do zamora materijala čime se smanjuje njihova nosivost. Način rada strojeva kojima se određuje dinamička čvrstoća savojno opterećenih elemenata koji rotiraju opisan je normom ISO 1143. Normom su određeni načini postavljanja opterećenja te način prijenosa opterećenja na uzorak. Opterećenje se može unijeti pomoću sustava utega i poluga ili linearnim aktuatorima. Prijenos opterećenja na uzorak moguć je konzolnim opterećenjem uzorka jednom silom, konzolnim opterećenjem uzorka spregom sila ili korištenjem dva sprega sila.

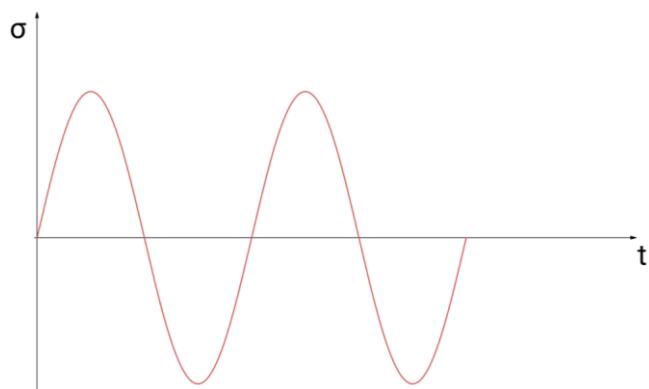
2. Metoda ispitivanja dinamičke čvrstoće

2.1. Naprezanje kod savijanja

U strojnim elementima okruglog poprečnog presjeka opterećenim momentom savijanja može se javiti normalno naprezanje čija raspodjela po visini poprečnog presjeka linearno prelazi iz negativne vrijednosti (tlačno naprezanje) u pozitivnu (vlačno naprezanje) te postiže vrijednost nula na mjestu neutralne linije. Rotacijom strojnog dijela za 180° točka koja je bila maksimalno vlačno opterećena postaje maksimalno tlačno opterećena i obrnuto. Svakom punom rotacijom naprezanje u jednoj točki se promjeni iz maksimalnog vlačnog u maksimalno tlačno te nazad u maksimalno vlačno. Konstantnom rotacijom savojno opterećenog strojnog dijela normalno naprezanje periodički se mijenja po iznosu i smjeru. Takva promjena naziva se cikličko naprezanje i prikazano je na Slici 2. Uslijed cikličkog naprezanja, a zbog nehomogenosti materijala, dolazi do postupnog razaranja materijala. Ta se pojava naziva zamor materijala te se mora uzeti u obzir tijekom dimenzioniranja strojnih dijelova.



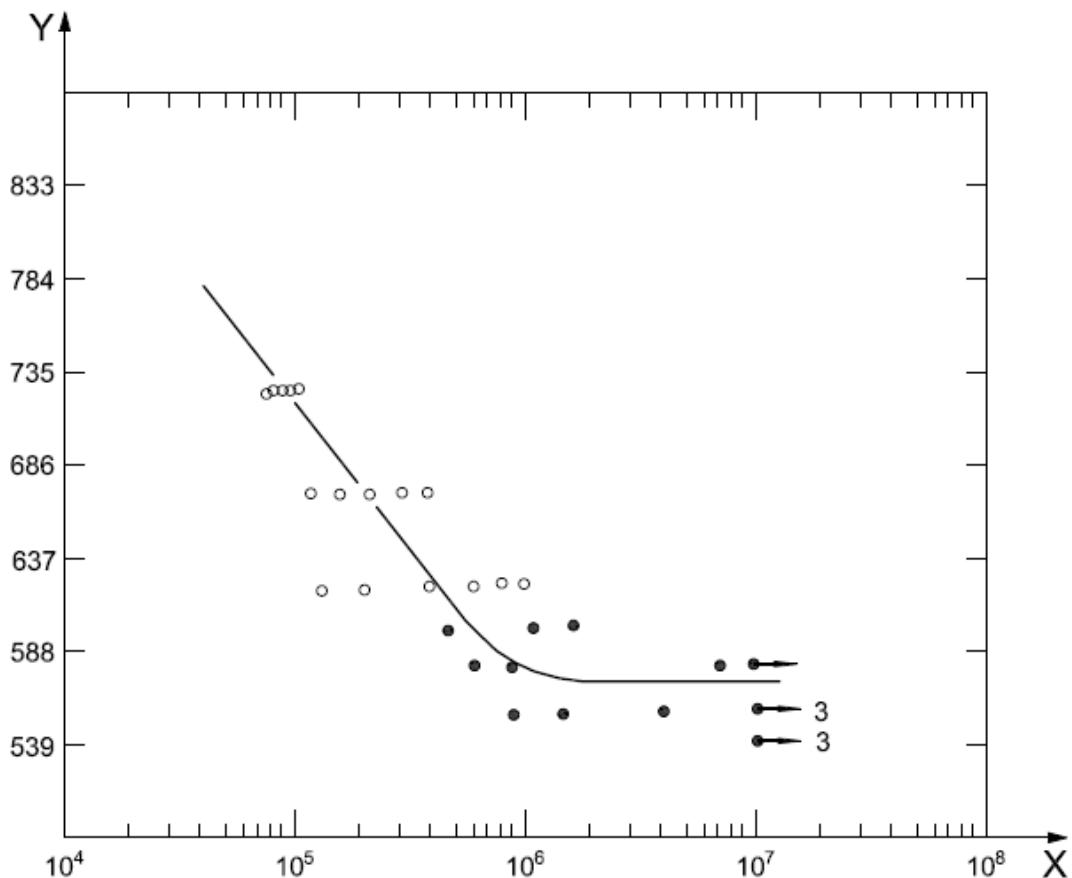
Slika 1. Raspodjela normalnog naprezanja uslijed savojnog opterećenja po visini poprečnog presjeka



Slika 2. Promjena iznosa normalnog naprezanja u vremenu

2.2. Wöhlerov dijagram (S-N dijagram)

Svojstvo materijala koje pokazuje otpor materijala dinamičkom naprezanju zove se dinamička izdržljivost. Wöhlerova krivulja prikazuje ovisnost dinamičke čvrstoće materijala o broju ciklusa N za određeni odnos graničnih naprezanja r . Za slučaj savojnog opterećenja uz rotaciju prema Slici 2. odnos graničnih naprezanja iznosi $r = -1$. Wöhlerova krivulja konstruira se eksperimentalnim metodama na umaralicama. Određene točke krivulje određuju se tako da se identični uzorci ispituju s različitim opterećenjem do pojave loma. Amplituda naprezanja i broj ciklusa nakon kojega je došlo do loma zapisuju se u dijagram kako bi se stvorila krivulja. Nakon svakog ispitovanog uzorka smanjuje se amplituda naprezanja čime se povećava broj ciklusa do pojave loma. Ispitivanje je završeno kada uzorak opterećen nekom amplitudom izdrži određeni broj ciklusa bez pojave loma, obično je to između 10^7 i 10^8 ciklusa.

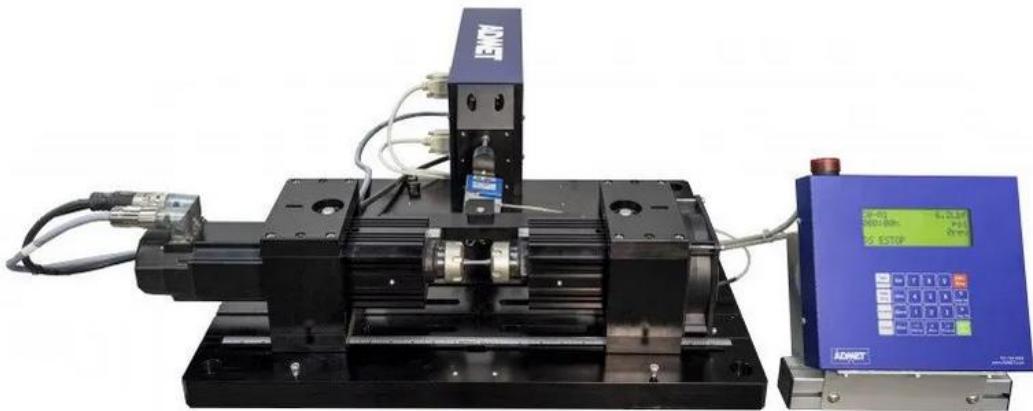


Slika 3. Primjer Wöhlerove krivulje [1]

3. Analiza postojećih proizvoda

Svi navedeni uređaji konstruirani su sukladno normi ISO 1143, ali koriste različite načine opterećenja uzorka i različite metode postavljanja opterećenja.

3.1. Admet eXpert 9300



Slika 4. Admet eXpert 9300 [2]

Uređaj eXpert 9300 proizvođača Admet [2] opterećuje uzorak čistim momentom savijanja koji ostvaruje korištenjem dvostrukog sprega sila. Opterećenje uzorka postiže se korištenjem aktuatora sile ili aktuatora momenta. Brzina vrtnje uređaja kreće se u rasponu od 300 do 6000 min^{-1} . Moguće je priхватiti uzorke čiji je promjer na mjestu prihvata u intervalu od 1 do 20 mm. Uređaj ima zaslon na kojemu je prikazana trenutna brzina vrtnje, ukupan broj ciklusa, iznos sile kojom je opterećen uzorak i normalno naprezanje uslijed savijanja. Sigurnosno kućište opremljeno je senzorom blizine te se pokretanje uređaja dopušta samo kada je kućište zatvoreno.

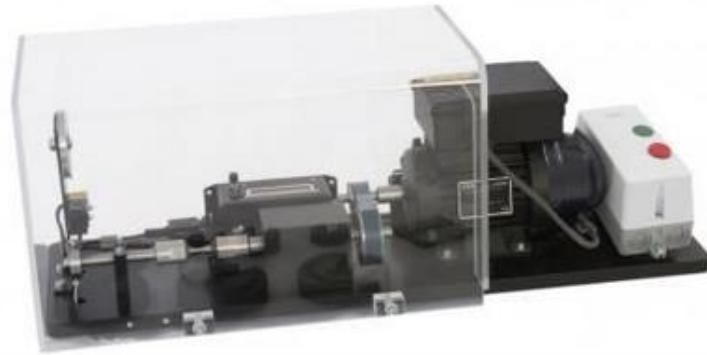
3.2. Raagen Rotating Bending Fatigue Testing Machines



Slika 5. Raagen Rotating Bending Fatigue Testing Machines [3]

Proizvođač Raagen [3] u ponudi ima 4 uređaja čija je glavna razlika maksimalno opterećenje uzorka. Kao standardni pogon svi uređaji koriste servo motor brzine vrtnje 3000 min^{-1} , a moguće je i odabir motora brzine vrtnje 6000 min^{-1} . Uzorak je opterećen samo momentom savijanja koji se ostvaruje spregom sila. Opterećenje se unosi korištenjem utega na poluzi. Moguće je prihvatići uzorke čiji je promjer na mjestu prihvata u rasponu od 1 do 20 mm. Posebnost ove linije uređaja je u tome što, pomoću računalnog programa, uređaj automatski izrađuje S-N dijagram i niz drugih dijagrama za određenu skupinu uzorka.

3.3. PA Hilton HSM19



Slika 6. PA Hilton HSM19 [4]

HSM19 proizvođača PA Hilton [4] jednostavan je uređaj koji je namijenjen korištenju u edukacijske svrhe, kao primjer za određivanje i primjenu Wöhlerovog dijagrama. Brzina vrtnje uređaja je u intervalu od 1400 do 5600 min^{-1} . Opterećenje se unosi utegom i polugom. Uzorak je konzolno opterećen zbog čega unutar materijala postoji, osim momenta savijanja, i posmična

sila. Prozirno kućište koje služi kao zaštita od krhotina omogućava preglednost tijekom cijelog procesa. Nakon loma ispitnog uzorka motor se automatski zaustavlja.

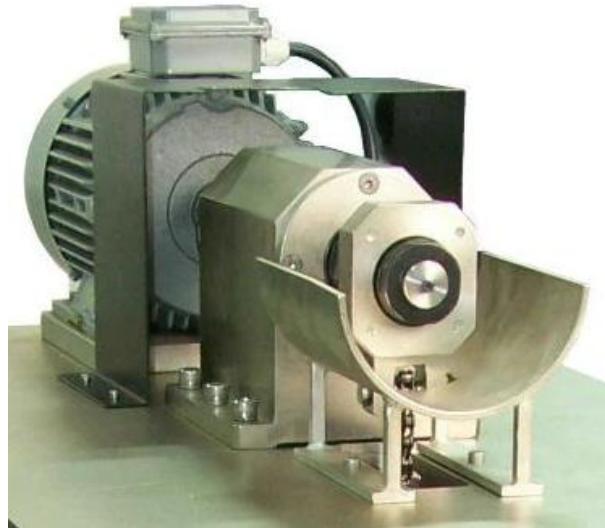
3.4. ZwickRoell ARBM 120



Slika 7. ZwickRoell ARBM 120 [5]

ARBM 120 proizvođača ZwickRoell [5] uzorak opterećuje samo momentom savijanja koji je konstantan po duljini uzorka. Opterećenje unosi spregom sila koje su postavljenje pomoću preciznih utega i poluga. Brzina vrtnje uzorka u rasponu je od 550 do 5000 min^{-1} . Maksimalan moment koji se postiže na ovom uređaju iznosi 120 Nm . Najveći broj ciklusa za koje je moguće provesti ispitivanje na ovom uređaju iznosi 10^8 . Moguć je prihvatanje uzorka vanjskog promjera od 2 do 20 mm . Posebnost ovog uređaja je u tome što je korištenjem peći ispitivanje uzorka moguće provoditi na temperaturama do $850\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.5. Ducom RBFT

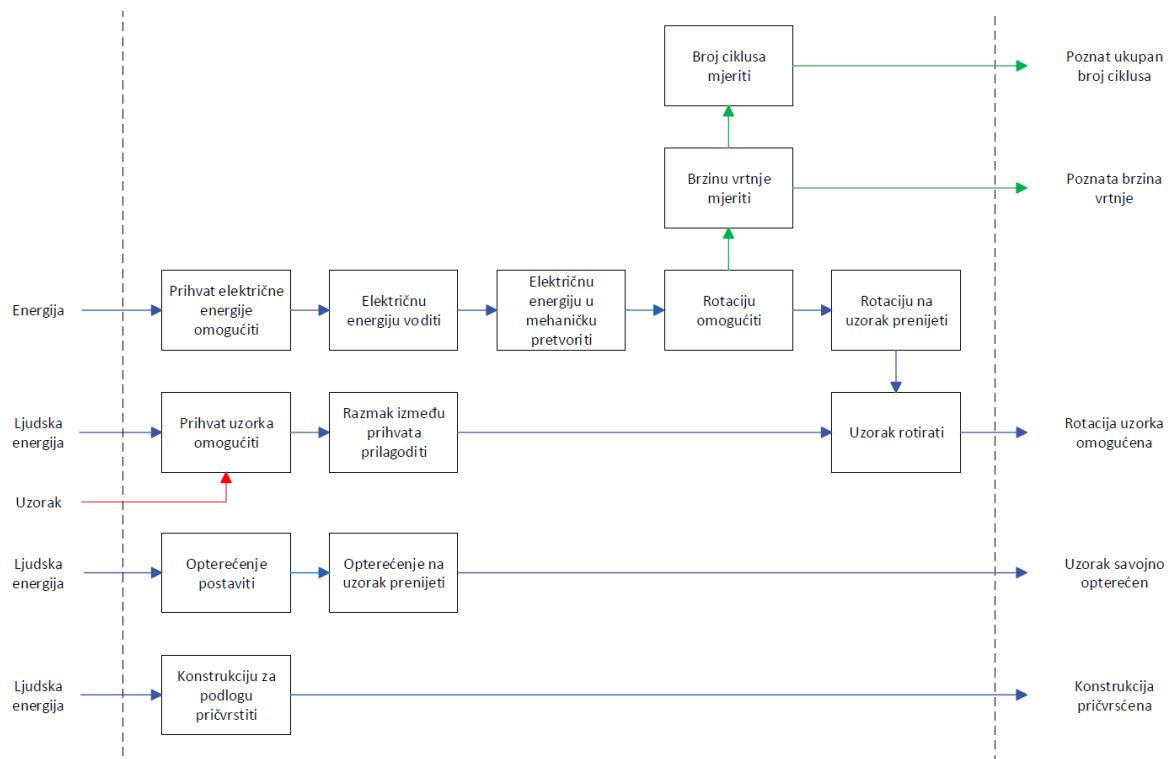


Slika 8. Ducom RBFT [6]

Uređaj proizvođača Ducom [6] uzorak konzolno optereće zbog čega moment savijanja nije konstantan po duljini uzorka. Zbog načina opterećenja, osim normalnog naprezanja uslijed momenta savijanja, javlja se i posmično naprezanje. Maksimalni moment kojim se uzorak optereće iznosi 500 Nm. Brzina vrtnje je podesiva i nalazi se u rasponu od 1000 do 5000 min^{-1} . Za postavljanje opterećenja koriste se utezi koji direktno opterećuju uzorak. Promjer stezne čahure za prihvatanje uzorka iznosi 12,7 mm, za razliku od ostalih navedenih uređaja koji imaju podesiv promjer prihvata. Nakon loma ispitnog uzorka uređaj se sam zaustavlja.

4. Funkcijska dekompozicija

Kako bi se opisala funkcija proizvoda bez tehničkih rješenja potrebno je napraviti funkciju dekompoziciju. Korištenjem black box modela jednoznačno se opisuje promjena energije, materije i signala unutar neke komponente, podsustava ili sklopa. Takav prikaz omoguće pojednostavljeni pregled proizvoda te bolje razumijevanje svrhe podsustava potrebnih za rad uređaja. Slika 9. predstavlja funkciju dekompoziciju stroja za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju.



Slika 9. Funkcijska dekompozicija

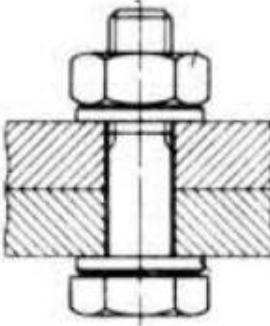
5. Morfološka matrica

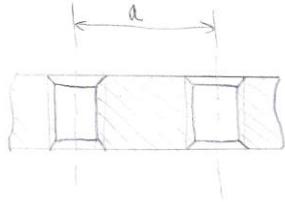
Na temelju funkcijске dekompozicije izrađuje se morfološka matrica. U njoj su prikazana moguća tehnička rješenja za svaku funkciju čije će kombinacije biti korištene za izradu koncepta. U Tablici 1. prikazana je morfološka matrica.

Tablica 1. Morfološka matrica

Funkcija		Rješenja		
1	Prihvati el. energije omogućiti	Utičnica 	Baterija 	
2	El. energiju voditi	Kabel 		
3	El. energiju u mehaničku pretvoriti	Kavezni 	Servo 	Stepper 
4	Rotaciju omogućiti	Valjni ležaj 		Klizni ležaj 

		Remenski prijenos	Zupčani prijenos	Lančani prijenos
5	Rotaciju na uzorak prenijeti			
		Direktno (vratilo)		
6	Opterećenje postaviti	Uteg i poluge 	Linearni aktuator i greda 	2 linearna aktuatora
7	Opterećenje na uzorak prenijeti	Konzolno opterećeno u jednoj točki 	Konzolno opterećeno sa spregom sila 	Opterećenje s dva sprega sila

		Laserski tahometar	Kontaktni tahometar	
8	Brzinu vrtnje mjeriti			
9	Broj ciklusa mjeriti	Tahometar + štoperica  	Potenciometar 	
			Inkrementalni enkoder 	
10	Konstrukciju za podlogu pričvrstiti	Vijčani spoj 	Stol s T-utorom 	
11	Prihvati uzorka omogućiti	Stezna čahura 	Stezna glava 	Stezna glava bez ključa 

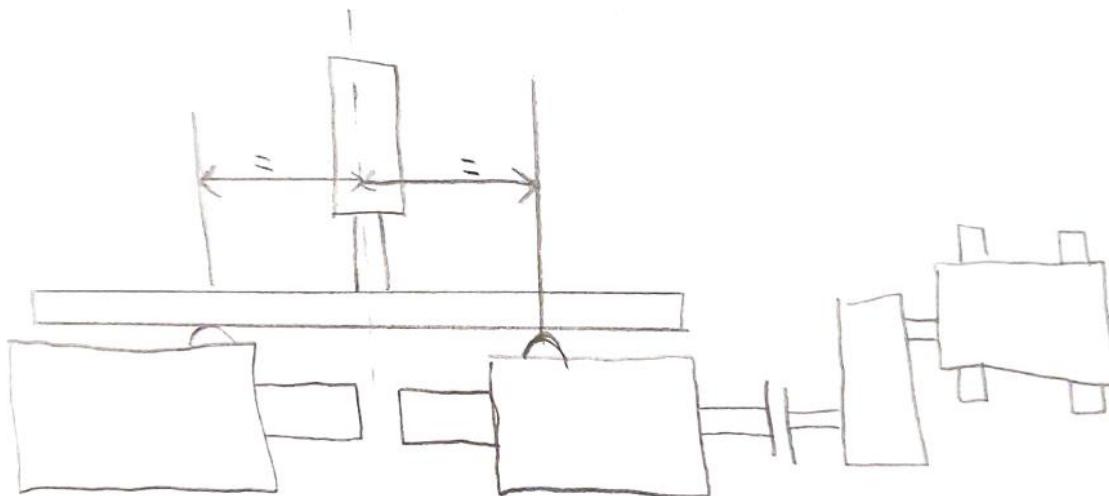
12	Razmak između prihvata prilagoditi	<p>Linearna vodilica</p>  <p>Provrti s navojem na razmaku</p> 	<p>Utor i pritezni vijci</p> 
----	------------------------------------	--	--

6. Koncepti

Kombiniranjem različitih rješenja pojedinih funkcija napravljena su tri koncepta. Sva tri koncepta koriste valjne ležajeve, energiju iz strujne mreže, linearne aktuatori i opterećuju uzorak preko dva sprega sila te uzorak učvršćuju steznom čahurom.

6.1. Koncept 1

Prvi koncept za pokretanje koristi kavezni motor koji preko multiplikatora prenosi rotaciju na uzorak. Maksimalna brzina vrtnje ovog koncepta ovisi o prijenosnom omjeru multiplikatora. Elektromotor je fiksno pričvršćen za pomičnu ploču zajedno s jednim kućištem, zbog čega se između multiplikatora i vratila za prihvatanje uzorka mora postaviti kompenzacijnska spojka kako bi se omogućila rotacija kućišta. Opterećenje se ostvaruje korištenjem jednog mehaničkog linearnog aktuatora koji preko grede opterećuje oba kućišta. Kako bi se osigurao jednak razmak između osi rotacije kućišta i osi na kojoj djeluje sila na temeljnoj ploči nalaze se provrti s navojem na jednakim razmacima. Na kućištu suprotnom elektromotoru smješten je potenciometar za mjerjenje ukupnog broja ciklusa. Kako bi se provjerila brzina vrtnje koristi se laserski tahometar.

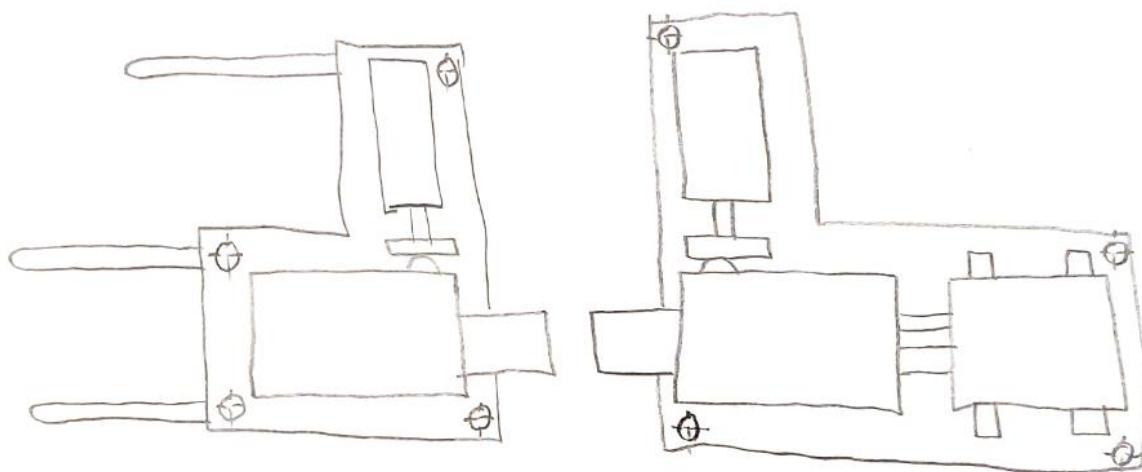


Slika 10. Koncept 1

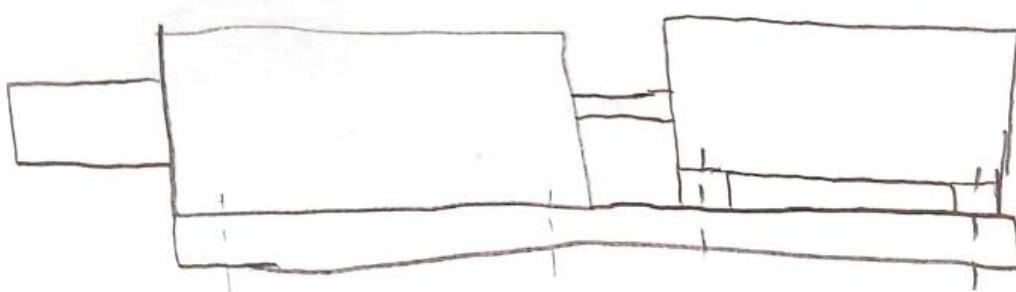
6.2. Koncept 2

Drugi koncept za pokretanje koristi kavezni motor koji se direktno spaja na vratilo kojim se opterećuje uzorak. Brzina vrtnje elektromotora mijenja se korištenjem frekventnog pretvarača,

čime se na motoru s 2 pola može postići brzina vrtnje do 6000 min^{-1} . Elektromotor je vezan za kućište te rotira zajedno s njim. Ploča na kojoj se nalazi kućište s elektromotorom fiksno je vezano za stol na kojem se uređaj nalazi. Drugo kućište može se slobodno aksijalno pomicati pomoću T utora s priteznim vijkom. Opterećenje se postavlja korištenjem dvaju pneumatskih cilindara; jedan se nalazi na nepomičnoj ploči s kućištem i elektromotorom, dok je drugi vijčano spojen na pomičnu ploču kako bi se osigurala konstantna udaljenost između cilindra i osi rotacije kućišta. Između cilindra i nosača cilindra postavlja se senzor sile kako bi se sila mogla regulirati. Brzina vrtnje provjerava se laserskim tahometrom, a ukupan broj ciklusa određuje se praćenjem vremena ispitivanja.



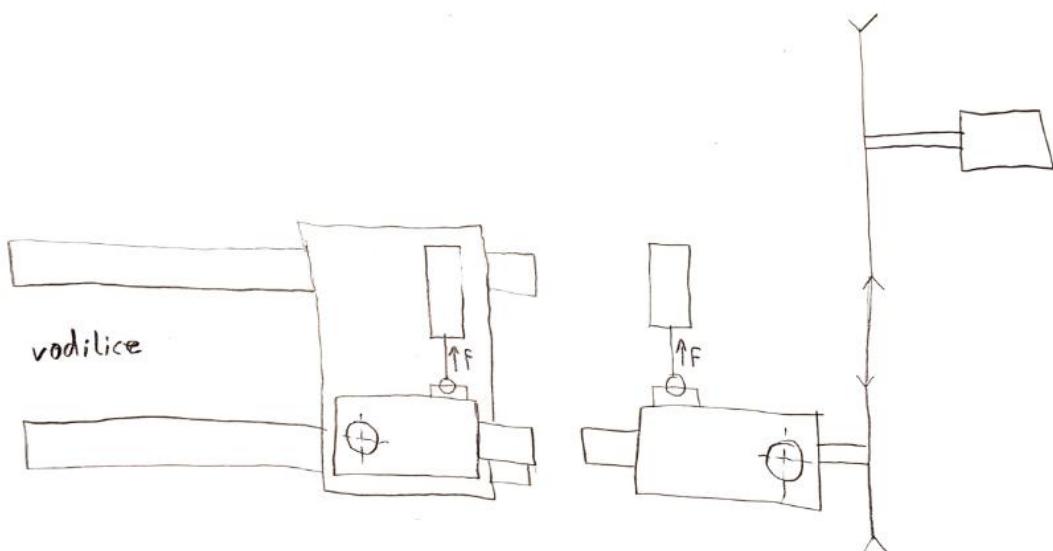
Slika 11. Koncept 2



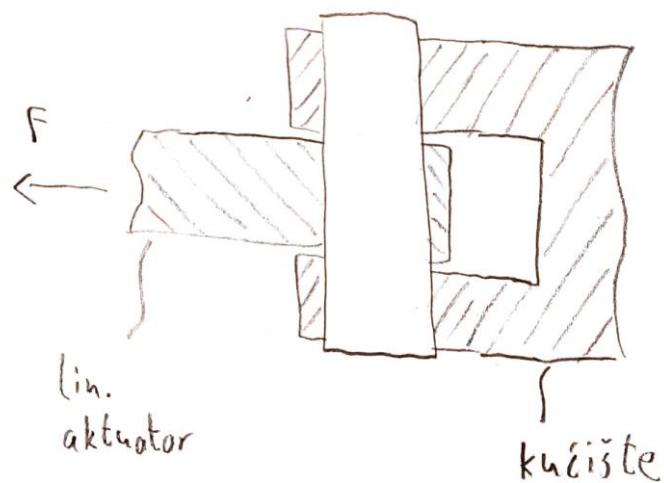
Slika 12. Spoj elektromotora i kućišta koncepta 2

6.3. Koncept 3

Koncept 3 za pokretanje koristi servo motor koji se preko remenskog prijenosa spaja na vratilo koje opterećuje uzorak kako bi se mogla postići maksimalna brzina vrtnje zadana normom ISO 1143. Kao i na konceptu 1, elektromotor ne rotira zajedno s kućištem zbog čega je potrebna kompenzacijkska spojka. Dva mehanička linearna aktuatora su preko svornjaka spojeni s kućištima te ih opterećuju vlačnom silom. Kućište na strani elektromotora je nepomično montirano na radni stol, dok je druga strana uređaja montirana na linearnu vodilicu s priteznim vijcima čime je omogućena jednostavna promjena razmaka između kućišta. Broj ciklusa mjeri se pomoću ugrađenog enkodera koji se nalazi u servo motoru.



Slika 13. Koncept 3



Slika 14. Spoj između kućišta i linearog aktuatora

6.4. Vrednovanje koncepata

U Tablici 2. prikazano je vrednovanje koncepata kako bi se odredilo koji od koncepata ulazi u daljnju razradu. Svakom konceptu će se za određeni kriterij odrediti ocjena od 1 do 5 te će se izračunati prosječna ocjena svakog od njih.

Tablica 2. Vrednovanje koncepata

Kriterij	Koncepti		
	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3
Jednostavnost promjene razmaka	2	5	5
Cijena kupovnih dijelova	3	4	2
Promjena brzine vrtnje	1	4	5
Maksimalna brzina vrtnje	5	4	5
Jednostavnost očitavanja broja ciklusa	5	3	5
Nepromjenjivost kraka sile	5	5	3
Kompaktnost	3	4	2
Ukupna ocjena	3,43	4,14	3,85
Rang	3	1	2
Nastaviti	NE	DA	NE

Koncept 2 ulazi u konstrukcijsku razradu.

7. Proračun i odabir komponenti

7.1. Odabir momenta savijanja

U uzorku je potrebno postići dovoljno veliko savojno opterećenje kako bi se osiguralo da pri statičkom opterećenju dolazi do loma ispitnog uzorka materijala čvrstoće prema [7]. Prema tome odabire se:

$$\sigma_{potr} = 2000 \text{ MPa.} \quad (7.1)$$

Potreban moment savijanja odredit će se tako da se u uzorku najmanjeg promjera koji propisuje norma ostvaruje potrebno naprezanje. Iz sljedećih izraza dolazi se do potrebnog momenta savijanja:

$$\sigma_{potr} = \frac{M_f}{I} \cdot \frac{d_{min}}{2} \quad (7.2)$$

$$I = \frac{\pi \cdot d_{min}^4}{64}. \quad (7.3)$$

Uvrštavanjem izraza (7.3) u (7.2) i sređivanjem dobiva se:

$$M_f = \frac{\sigma_{potr} \cdot \pi \cdot d_{min}^3}{32} = \frac{2000 \cdot \pi \cdot 6^3}{32} = 42411 \text{ Nmm} = 42,4 \text{ Nm.} \quad (7.4)$$

7.2. Odabir kraka sile i pneumatskog cilindra

Kako se moment savijanja može postići različitim kombinacijama sile i kraka iz konstrukcijskih razloga odabire se:

$$L = 70 \text{ mm,} \quad (7.5)$$

iz čega slijedi:

$$F'_{cil} = \frac{M_f}{L} = \frac{42411}{70} = 605,7 \text{ N.} \quad (7.6)$$

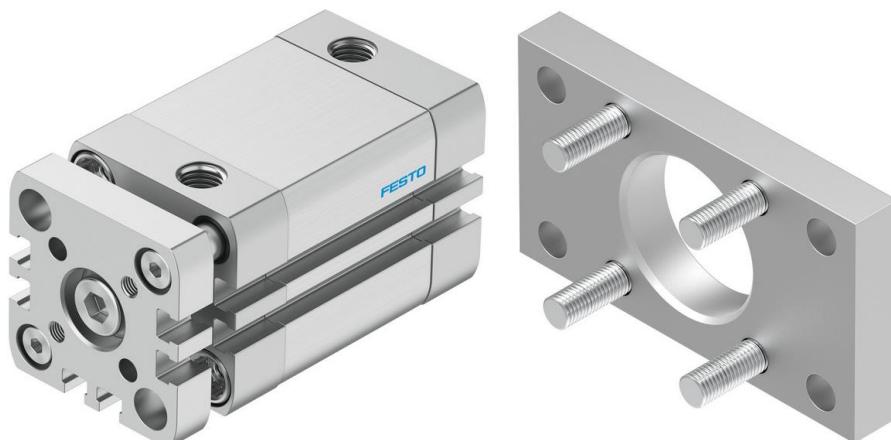
Tlak prema kojem se odabire pneumatski cilindar iznosi:

$$p = 8 \text{ bar.} \quad (7.7)$$

Prema [8] odabran je pneumatski cilindar Festo ADNGF-32-30-P-A nazivne sile 483 N pri 6 bara iz čega slijedi da je maksimalna sila kojom cilindar djeluje na kućište:

$$F_{cil} = \frac{p}{p_n} \cdot F_n = \frac{8}{6} \cdot 483 = 644 \text{ N} > F'_{cil} = 605,7 \text{ N.} \quad (7.8)$$

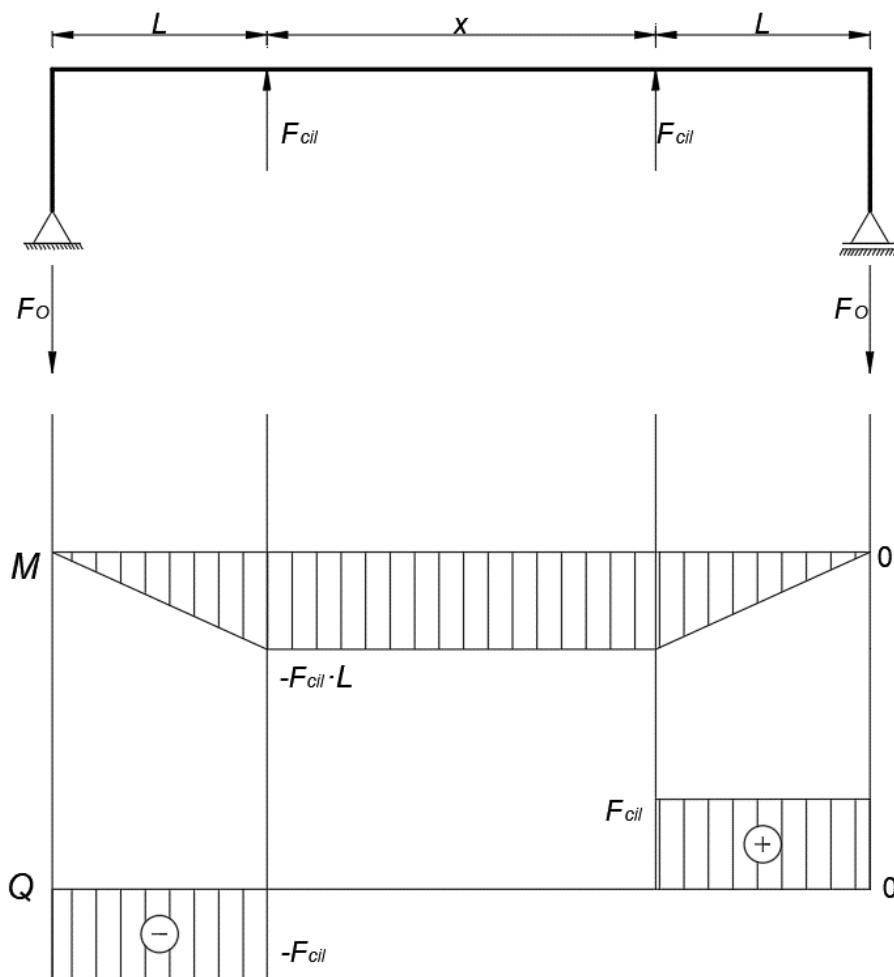
Uz pneumatski cilindar odabire se nosač cilindra Festo FNC 32.



Slika 15. Odabrani pneumatski cilindar s nosačem [8]

7.3. Određivanje opterećenja u osloncima te ležajevima vratila

Na Slici 16. prikazano je pojednostavljenje opterećenje cijelog sustava.



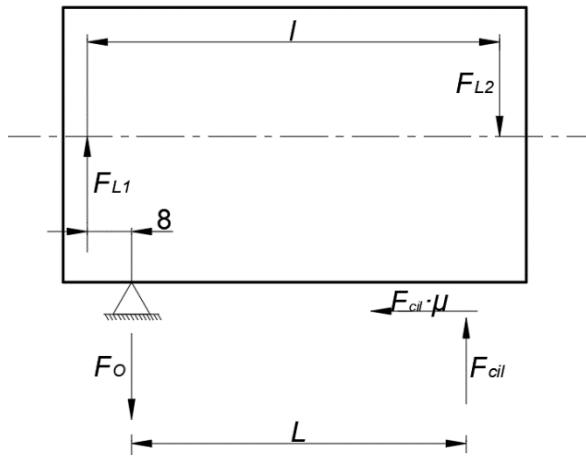
Slika 16. Prikaz opterećenja sustava

Iz Slike 16. slijedi:

$$\begin{aligned}\Sigma M_A &= 0 \\ -F_{cil} \cdot L - F_{cil} \cdot (x + L) + F_O \cdot (2L + x) &= 0 \\ F_O &= F_{cil}\end{aligned}\quad (7.9)$$

Na Slici 17. prikazane su sve sile koje djeluju na kućište. Odabran je razmak između ležajeva:

$$l = 80 \text{ mm.} \quad (7.10)$$



Slika 17. Prikaz opterećenja kućišta

Iz Slike 17. slijedi:

$$\begin{aligned}\Sigma F_z &= 0 \\ F_{L1} &= F_{L2} = F_L \\ M_O &= 0 \\ F_{cil} \cdot L - F_L \cdot l &= 0 \\ F_L &= \frac{L}{l} \cdot F_{cil} = \frac{70}{80} \cdot 644 = 563,5 \text{ N.}\end{aligned}\quad (7.11)$$

7.4. Proračun ležajeva vratila

Opterećenje ležajeva određuje se za sljedeće veličine:

$$\begin{aligned}L_{10h_min} &= 20000 \text{ h,} \\ n_m &= 6000 \text{ min}^{-1}, \\ \varepsilon &= \frac{10}{3}, \\ P_r &= F_L = 0,564 \text{ kN.}\end{aligned}\quad (7.12)$$

Dinamička opterećenost ležaja određuje se prema izrazu:

$$C_1 = P_r \cdot \left(\frac{60 \cdot n_m \cdot L_{10h_min}}{10^6} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}} = 0,564 \cdot \left(\frac{60 \cdot 6000 \cdot 20000}{10^6} \right)^{\frac{3}{10}} \quad (7.13)$$

$$C_1 = 8,1 \text{ kN.}$$

Odabiru se ležajevi NU 203 ECP i NU 204 ECP. Provjera vijeka trajanja ležaja provest će se samo za ležaj NU 203 ECP jer ležaj NU 204 ECP ima veću dinamičku nosivost. Izraz za izračun vijeka trajanja ležaja NU 203 ECP glasi:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n_m} \cdot \left(\frac{C}{P_r} \right)^\varepsilon = \frac{10^6}{60 \cdot 6000} \cdot \left(\frac{20}{0,564} \right)^{\frac{10}{3}} \quad (7.14)$$

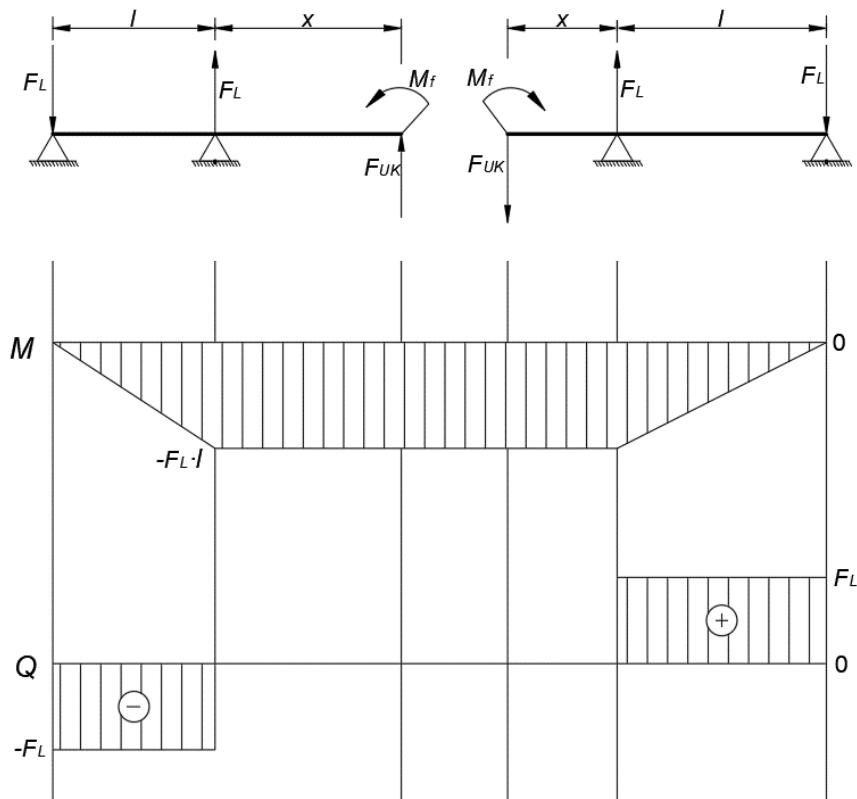
$$L_{10h} = 406940 \text{ h} > L_{10h_{min}},$$

gdje je:

C – dinamička nosivost ležaja, za NU 203 ECP $C = 20 \text{ kN}$ prema [9].

7.5. Opterećenje vratila

Na Slici 18. prikazano je opterećenje vratila.



Slika 18. Opterećenje vratila

Izrazi za desno vratilo glase:

$$\begin{aligned}\Sigma F_z &= 0 \\ F_L - F_L - F_{uk} &= 0 \\ F_{uk} &= 0.\end{aligned}\tag{7.15}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_{uk} &= 0 \\ -M_f - F_L \cdot l &= 0 \\ M_f = -F_L \cdot l &= -\frac{L}{l} \cdot F_{cil}.\end{aligned}\tag{7.16}$$

Uvrštavanjem vrijednosti iz izraza (7.10) i (7.11) u (7.16) određuje se maksimalan moment savijanja koji se može javiti u vratilu:

$$M_{f,max} = -F_L \cdot l = -563,5 \cdot 80 = -45120 \text{ Nmm} = -45,12 \text{ Nm.}\tag{7.17}$$

7.6. Kontrolni proračun vratila

Potrebno je provjeriti čvrstoću vratila na kritičnim presjecima. Potrebna sigurnost vratila iznosi:

$$S_{potr} = 1,4.$$

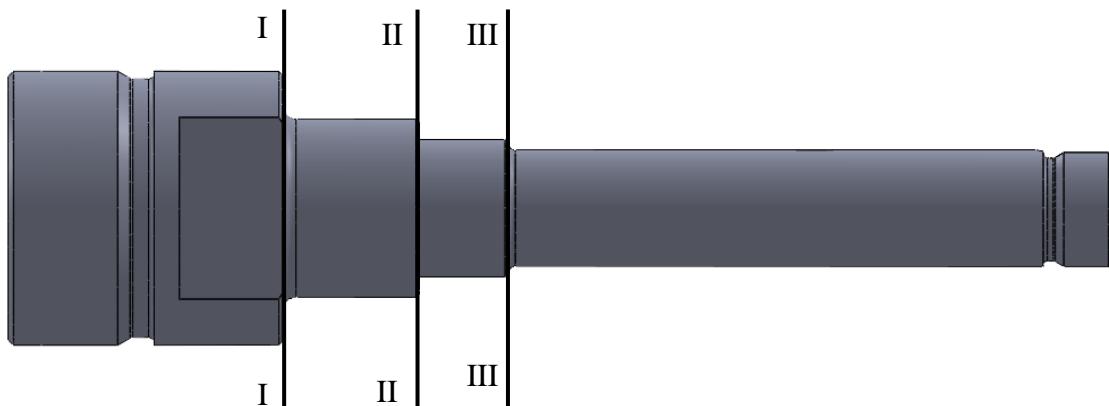
Odabrani materijal vratila je čelik E360 čija trajna dinamička čvrstoća za čisto naizmjenično naprezanje savijanjem prema [10] iznosi:

$$\sigma_{fDN} = 350 \text{ MPa.}$$

Faktor udara iznosi:

$$\varphi = 1.$$

Položaj određenih presjeka vratila prikazan je na Slici 19.



Slika 19. Položaj presjeka na vratilu

7.6.1. Presjek I-I

Na presjeku I-I djeluje moment savijanja $M_{f,max}$ te se nalazi prijelaz u obliku zaobljenja. Ostali podatci za proračun postojeće sigurnosti presjeka I-I navedeni su u Tablici 3.

Tablica 3. Veličine vratila na presjeku I-I

Naziv veličine	Oznaka	Vrijednost	Mjerna jedinica
Manji promjer	d	26	mm
Veći promjer	D	40	mm
Polumjer zakrivljenosti	ρ	2	mm
Faktor veličine strojnog dijela	b_1	0,92	
Faktor kvalitete obrade površine	b_2	0,9	
Efektivni faktor zareznog djelovanja kod savijanja	β_{kf}	1,56	

Sljedećim izrazima određuje se postojeća sigurnost vratila:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 26^3}{32} = 1725,5 \text{ mm}^3, \quad (7.18)$$

$$\sigma = \frac{M_{f,max}}{W} = \frac{45,12 \cdot 10^3}{1725,5} = 26,15 \text{ MPa}, \quad (7.19)$$

$$S_{post} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\varphi \cdot \beta_{kf} \cdot \sigma} = \frac{350 \cdot 0,92 \cdot 0,9}{1 \cdot 1,56 \cdot 26,15} \\ S_{post} = 7,1 > S_{potr} = 1,4 \quad (7.20)$$

Presjek I-I zadovoljava uvjet čvrstoće.

7.6.2. Presjek II-II

Na presjeku II-II djeluje moment savijanja $M_{f,max}$ te se nalazi prijelaz DIN 509-F 0,8 x 0,3. Ostali podatci za proračun postojeće sigurnosti presjeka II-II navedeni su u Tablici 4.

Tablica 4. Veličine vratila na presjeku II-II

Naziv veličine	Oznaka	Vrijednost	Mjerna jedinica
Manji promjer	d	20	mm
Veći promjer	D	26	mm

Polumjer zakrivljenosti	ρ	0,8	mm
Faktor veličine strojnog dijela	b_1	0,95	
Faktor kvalitete obrade površine	b_2	0,95	
Efektivni faktor zareznog djelovanja kod savijanja	β_{kf}	1,5	

Sljedećim izrazima određuje se postojeća sigurnost vratila:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 20^3}{32} = 785,4 \text{ mm}^3, \quad (7.21)$$

$$\sigma = \frac{M_{f,max}}{W} = \frac{45,12 \cdot 10^3}{785,4} = 57,45 \text{ MPa}, \quad (7.22)$$

$$S_{post} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\varphi \cdot \beta_{kf} \cdot \sigma} = \frac{350 \cdot 0,95 \cdot 0,95}{1 \cdot 1,5 \cdot 57,45} \quad (7.23)$$

$$S_{post} = 3,66 > S_{potr} = 1,4$$

Presjek I-I zadovoljava uvjet čvrstoće.

7.6.3. Presjek III-III

Na presjeku III-III djeluje moment savijanja manji od $M_{f,max}$, ali zbog pojednostavljenja pretpostavlja se da moment iznosi $M_{f,max}$. Na presjeku nalazi se prijelaz u obliku zaobljenja. Ostali podatci za proračun postojeće sigurnosti presjeka III-III navedeni su u Tablici 5.

Tablica 5. Veličine vratila na presjeku III-III

Naziv veličine	Oznaka	Vrijednost	Mjerna jedinica
Manji promjer	d	17	mm
Veći promjer	D	20	mm
Polumjer zakrivljenosti	ρ	1	mm
Faktor veličine strojnog dijela	b_1	0,95	
Faktor kvalitete obrade površine	b_2	0,9	
Efektivni faktor zareznog djelovanja kod savijanja	β_{kf}	1,36	

Sljedećim izrazima određuje se postojeća sigurnost vratila:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 17^3}{32} = 482,33 \text{ mm}^3, \quad (7.24)$$

$$\sigma = \frac{M_{f,max}}{W} = \frac{45,12 \cdot 10^3}{482,33} = 93,55 \text{ MPa}, \quad (7.25)$$

$$S_{post} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\varphi \cdot \beta_{kf} \cdot \sigma} = \frac{350 \cdot 0,95 \cdot 0,9}{1 \cdot 1,36 \cdot 93,55} \quad (7.26)$$

$$S_{post} = 2,35 > S_{potr} = 1,4$$

Presjek II-II zadovoljava uvjet čvrstoće.

7.7. Odabir stezne čahure

Za prihvatz uzorka odabire se stezna čahura veličine 32 prema normi ISO 15488. Nazivni promjeri koji se mogu prihvati čahurom veličine 32 u rasponu su od 2 do 20 mm. Prihvatz čahure ostvaruje se oblikovanjem utora na kraju vratila prema normi, a čahura se priteže i osigurava od ispadanja korištenjem normirane matice. Stezna čahura i matica prikazane su na Slici 20. Na vratilu je oblikovan utor za prihvatz ključa otvora 30 mm, a na matici nalaze se utori za poseban ključ koji je prikazan na Slici 21.



Slika 20. Stezna čahura i matica [11] [12]



Slika 21. Ključ za pritezanje matice stezne čahure [13]

7.8. Odabir elektromotora i frekventnog pretvarača

S obzirom na to da ovaj uređaj ne obavlja koristan rad, potrebno je jedino ubrzati rotacijske mase do nazivne brzine vrtnje. Za maksimalno vrijeme ubrzavanja uzima se $t_u = 1$ s. Prema programskom paketu Solidworks moment tromosti rotacijskih masa iznosi:

$$J = 3,53 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2. \quad (7.27)$$

Potreban moment elektromotora iznosi:

$$M'_{EM} = J \cdot \frac{\pi \cdot n_m}{30 \cdot t_u} = 3,53 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\pi \cdot 6000}{30 \cdot 1} = 0,22 \text{ Nm}. \quad (7.28)$$

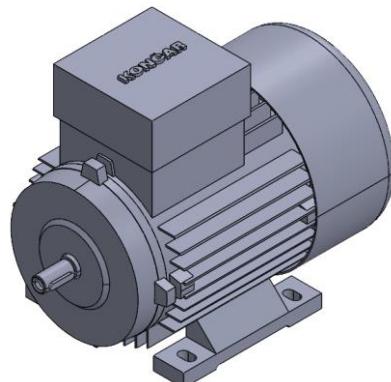
Odabire se trofazni kavezni elektromotor Končar 5AZ 63B-2 prikazan na Slici 22. Osnovni podatci elektromotora prikazani su u Tablici 6.

Tablica 6. Podatci elektromotora 5AZ 63B-2

Veličina	Oznaka	Vrijednost
Broj polova	p	2
Nazivna snaga	P_n	0,25 kW
Nazivni moment	M_n	0,8 Nm
Nazivna brzina vrtnje	n	2840 min ⁻¹
Nazivna struja	I_n	0,72 A
masa	m	4,2 kg

Prema [14] odabranom elektromotoru frekvencija struje smije se povećati s nazivnih 50 HZ na 100 Hz čime se maksimalna brzina povećava, a nazivni moment pada:

$$\begin{aligned} n_{EM} &= 5680 \text{ min}^{-1} \\ M_{EM} &= 0,4 \text{ Nm}. \end{aligned} \quad (7.29)$$

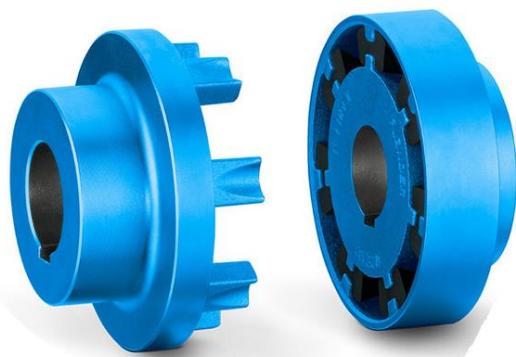


Slika 22. 3D model odabranog elektromotora

Prema [15] odabire se frekventni pretvarač nazivne snage 0,4 kW Lovato Končar VLB3 0004 A480.

7.9. Odabir spojke

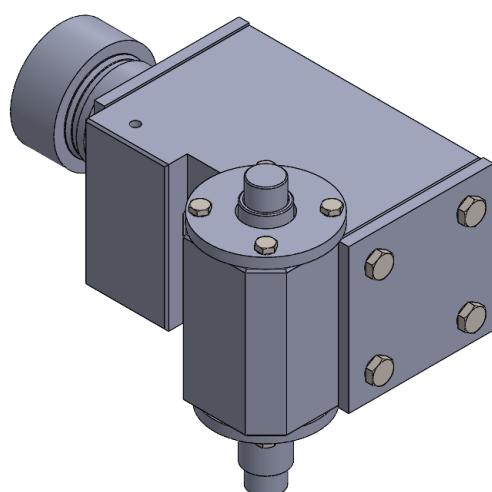
Između izlaznog vratila elektromotora i vratila uređaja potrebno je postaviti kompenzaciju spojku kako bi se izbjegla statička neodređenost sustava. Odabrana je spojka s gumenim umetcima nazivnog momenta 7 Nm proizvođača Flender [16] oblika N-EUPEX FLE10.2 B58 prikazana na Slici 23. Masa spojke iznosi 0,55 kg.



Slika 23. Odabrana kompenzacijkska spojka [16]

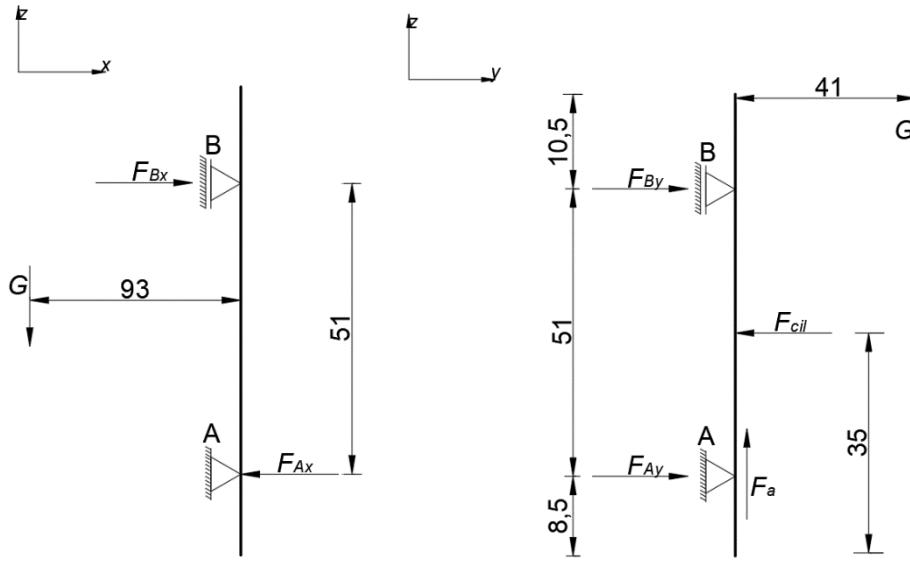
7.10. Proračun opterećenja ležajeva osovine

Na Slici 24. prikazano je kućište s osovinom oko koje rotira kako bi se moment savijanja mogao prenijeti s kućišta na vratilo.



Slika 24. Kućište s osovinom oko koje rotira

Na Slici 22. prikazano je opterećenje ležajeva koji omogućuju rotaciju kućišta.



Slika 25. Opterećenje ležajeva osovine

Iz Slike 22. sljedećim izrazima određuju se opterećenja ležajeva:

$$\begin{aligned} \Sigma M_A &= 0 \\ F_{cil} \cdot (35 - 8,5) - G \cdot 45 &= 51F_{By} \quad (7.30) \\ F_{By} &= 239,6 \text{ N}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_z &= 0 \\ F_a = G = (m_k + m_{sklopEM}) \cdot g &= (5,15 + 6,9) \cdot 9,81 = 118,2 \text{ N}, \quad (7.31) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_B &= 0 \\ 51F_{Ay} - F_{cil} \cdot (35 - 10,5) - 41 \cdot G &= 0 \quad (7.32) \\ F_{Ay} &= 404,4 \text{ N}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_A &= 0 \\ 93 \cdot G - 51 \cdot F_{Bx} &= 0 \quad (7.33) \\ F_{Bx} &= 215,5 \text{ N}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_B &= 0 \\ 93 \cdot G - 51 \cdot F_{Ax} &= 0 \quad (7.34) \\ F_{Ax} &= 215,5 \text{ N}, \end{aligned}$$

$$F_{Ar} = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2} = \sqrt{215,5^2 + 404,4^2} = 458,2 \text{ N}, \quad (7.35)$$

$$F_{Aa} = F_a = 118,2 \text{ N}, \quad (7.36)$$

$$F_{Br} = \sqrt{F_{Bx}^2 + F_{By}^2} = \sqrt{215,5^2 + 239,6^2} = 322,3 \text{ N.} \quad (7.37)$$

Za ležajno mjesto A odabire se kuglični ležaj 61902-2RS1, a za ležajno mjesto B odabire se valjkasti ležaj NU 202 ECP. Statičke nosivosti ležajeva prema [9] iznose:

$C_0 = 2,24 \text{ kN}$ – za ležaj 61902-2RS1, te

$C_0 = 10,2 \text{ kN}$ – za ležaj NU 202 ECP.

Kako ležaj na mjestu B ima nekoliko puta veću statičku nosivost, a opterećen je manjom silom, provjerit će se jedino ležaj na mjestu A. S obzirom na to da je ležaj na mjestu A opterećen aksijalnim i radikalnim opterećenjem prvo je potrebno odrediti ekvivalentno radikalno opterećenje:

$$P_{rA} = X \cdot F_{Ar} + Y \cdot F_{Aa}. \quad (7.38)$$

Faktori X i Y određuju se pomoću Tablice 7.

Tablica 7. Faktori X i Y [17]

Jednostavni jednoredni i jednostavni dvoredni radikalni kuglični ležajevi normalne zračnosti						e
$\alpha = 0$	$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0}$	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e
		X	Y	X	Y	
0	0,172	1	0	0,56	2,3	0,19
	0,345				1,99	0,22
	0,689				1,71	0,26
	1,03				1,55	0,28
	1,38				1,45	0,3
	2,07				1,31	0,34
	3,45				1,15	0,38
	5,17				1,04	0,42
	6,89				1	0,44

Vrijednosti potrebne za određivanje faktora X i Y:

$$\frac{f_0 \cdot F_{Aa}}{C_0} = \frac{14 \cdot 0,1182}{2,24} = 0,74 \quad (7.39)$$

$$\frac{F_{Aa}}{F_{Ar}} = \frac{118,2}{458,2} = 0,257$$

gdje je prema [9] $f_0 = 0,14$.

Iz Tablice 7. iščitava se da je faktor e veći od 0,26, iz čega slijedi da vrijednosti faktora X i Y iznose:

$$\begin{aligned} X &= 1 \\ Y &= 0 \end{aligned} \quad (7.40)$$

Uvrštavanjem poznatih vrijednosti u (7.38) dolazi se do vrijednosti ekvivalentnog radijalnog opterećenja ležaja:

$$P_{rA} = 1 \cdot 458,2 + 0 \cdot 118,2 = 458,2 \text{ N.} \quad (7.41)$$

Potrebna vrijednost statičke sigurnosti ležaja prema [17] iznosi:

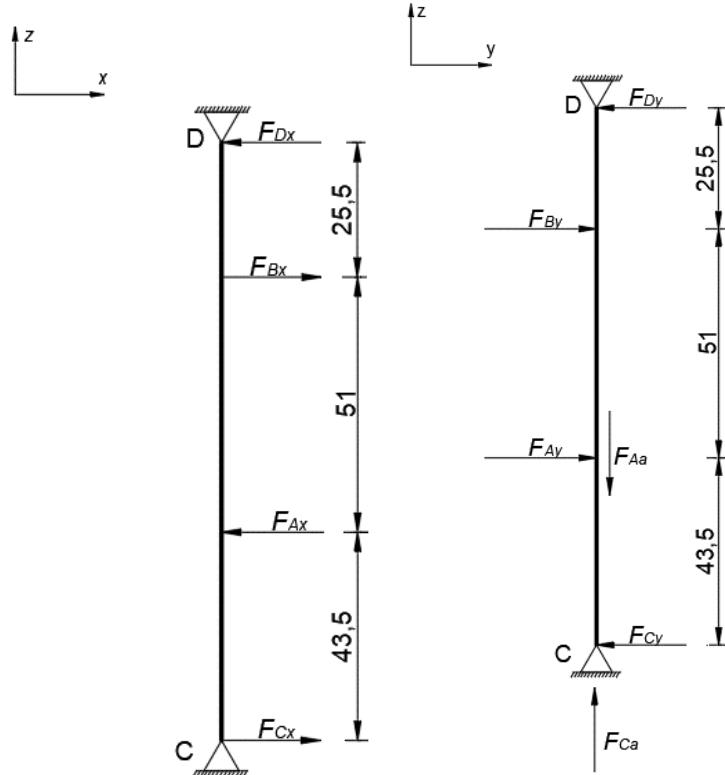
$$s_{0_min} = 2,5 \quad (7.42)$$

Postojeća vrijednost statičke sigurnosti ležaja iznosi:

$$s_0 = \frac{C_0}{P_{rA}} = \frac{2,24}{0,458} = 4,89 > s_{0_min} = 2,5 \quad (7.43)$$

7.11. Proračun osovine

Na Slici 23. prikazano je opterećenje osovine kućišta.



Slika 26. Prikaz opterećenja osovine

Opterećenje osovine određuje se pomoću sljedećih izraza:

$$\begin{aligned}\Sigma M_D &= 0 \\ 25,5 \cdot F_{By} + 76,5 \cdot F_{Ay} &= 120F_{Cy} \\ F_{Cy} &= 308,7 \text{ N},\end{aligned}\tag{7.44}$$

$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ F_{Dy} &= F_{Ay} + F_{By} - F_{Cy} \\ F_{Dy} &= 335,3 \text{ N},\end{aligned}\tag{7.45}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_D &= 0 \\ 25,5 \cdot F_{Bx} - 76,5 \cdot F_{Ax} + 120F_{Cx} &= 0 \\ F_{Cx} &= 91,6 \text{ N},\end{aligned}\tag{7.46}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_C &= 0 \\ 43,5 \cdot F_{Ax} - 94,5 \cdot F_{Bx} + 120 \cdot F_{Dx} &= 0 \\ F_{Dx} &= 91,6 \text{ N},\end{aligned}\tag{7.47}$$

$$F_C = \sqrt{F_{Cx}^2 + F_{Cy}^2} = \sqrt{91,6^2 + 308,7^2} = 322 \text{ N},\tag{7.48}$$

$$F_D = \sqrt{F_{Dx}^2 + F_{Dy}^2} = \sqrt{91,6^2 + 335,3^2} = 347,6 \text{ N}.\tag{7.49}$$

$$F_{Ca} = F_{Aa} = 118,2 \text{ N}\tag{7.50}$$

Najveći moment savijanja u osovini iznosi:

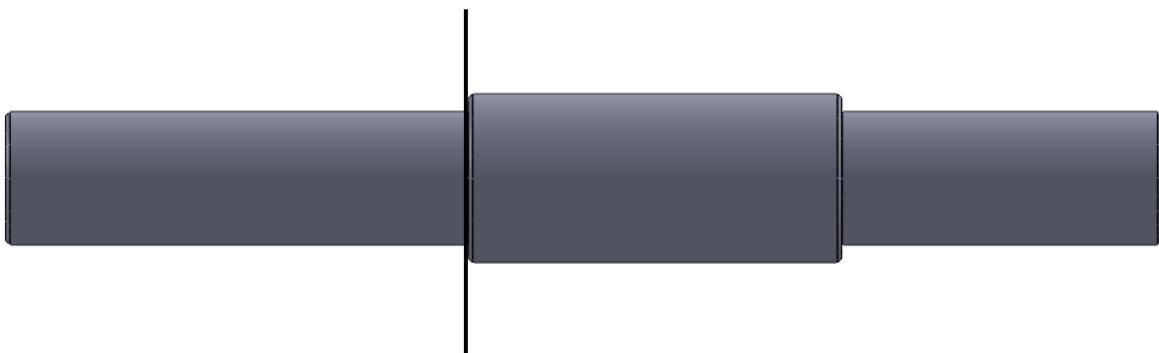
$$M_{f,max} = F_C \cdot 43,5 = 322 \cdot 43,5 = 14007 \text{ Nmm} = 14 \text{ Nm}.\tag{7.51}$$

Sigurnost će se provjeriti na presjeku na kojem se nalazi prijelaz DIN 509-F 0,4 x 0,2, koji je opterećen nešto manjim momentom savijanja, ali zbog pojednostavljenja prepostaviti će se da djeluje najveći moment $M_{f,max}$. Položaj presjeka koji se provjerava prikidan je na Slici 27. Materijal osovine je čelik S235JR, a potrebna sigurnost je jednaka kao i kod vratila. Ostali podatci za proračun postojeće sigurnosti osovine navedeni su u Tablici 8.

Tablica 8. Veličine osovine na kritičnom presjeku

Naziv veličine	Oznaka	Vrijednost	Mjerna jedinica
Manji promjer	d	15	mm
Veći promjer	D	19	mm
Polumjer zakrivljenosti	ρ	0,4	mm
Faktor veličine strojnog dijela	b_I	0,95	

Faktor kvalitete obrade površine	b_2	0,9	
Efektivni faktor zareznog djelovanja kod savijanja	β_{kf}	1,54	
Faktor udara	φ	1	
Trajna dinamička čvrstoća za čisto naizmjениčno naprezanje savijanjem [10]	σ_{fDN}	190	MPa



Slika 27. Položaj kritičnog presjeka na osovini

Sljedećim izrazima određuje se postojeća sigurnost osovine:

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 15^3}{32} = 331,34 \text{ mm}^3, \quad (7.52)$$

$$\sigma = \frac{M_{f,max}}{W} = \frac{14 \cdot 10^3}{331,34} = 42,25 \text{ MPa}, \quad (7.53)$$

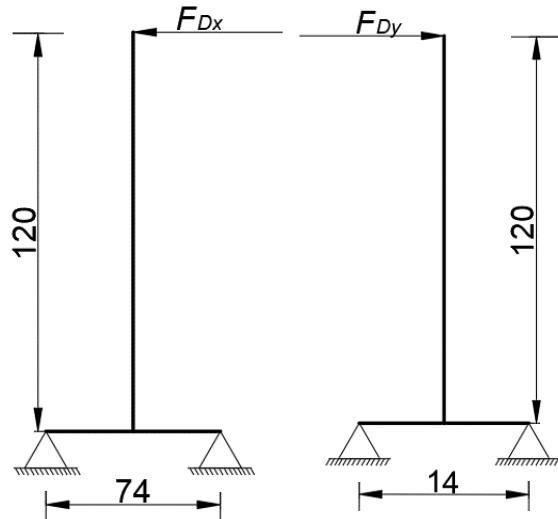
$$S_{post} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\varphi \cdot \beta_{kf} \cdot \sigma} = \frac{190 \cdot 0,95 \cdot 0,9}{1 \cdot 1,54 \cdot 42,25} \quad (7.54)$$

$$S_{post} = 2,49 > S_{potr} = 1,4$$

Osovina zadovoljava uvjet čvrstoće.

7.12. Proračun vijaka nosača osovine

Na Slici 28. prikazano je opterećenje vijaka stupa na kojem se nalazi nosač osovine. Materijal vijaka je 6.8, a površina poprečnog presjeka vijka M6 prema [18] iznosi $A_j = 17,9 \text{ mm}^2$.



Slika 28. Opterećenje vijaka nosača osovine

Najveća aksijalna sila u vijcima određuje se pomoću sljedećih izraza:

$$F_{Vx} = \frac{120}{14} \cdot F_{Dx} = \frac{120}{14} \cdot 335,3 = 2874 \text{ N}, \quad (7.55)$$

$$F_{Vy} = \frac{120}{74} \cdot F_{Dy} = \frac{120}{74} \cdot 91,6 = 148,5 \text{ N}, \quad (7.56)$$

$$F_{V,max} = F_{Vx} + F_{Vy} = 2874 + 148,5 = 3022,2 \text{ N}. \quad (7.57)$$

Izrazi za određivanje dopuštenog i reduciranih naprezanja uz faktor sigurnost $S_v = 2,5$ glase:

$$\sigma_V = \frac{F_{V,max}}{A_j} = \frac{3022,2}{17,9} = 168,84 \text{ MPa}, \quad (7.58)$$

$$\tau = \frac{F_D}{4 \cdot A_j} = \frac{347,6}{4 \cdot 17,9} = 4,85 \text{ MPa}, \quad (7.59)$$

$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{S_v} = \frac{6 \cdot 8 \cdot 10}{2,5} = 192 \text{ MPa}, \quad (7.60)$$

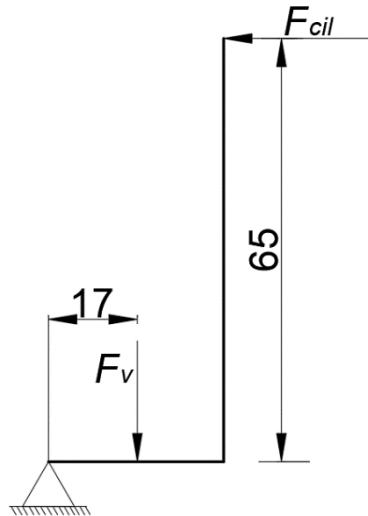
$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_V^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{168,84^2 + 3 \cdot 4,85^2} \quad (7.61)$$

$$\sigma_{red} = 169 \text{ MPa} < \sigma_{dop} = 192 \text{ MPa}.$$

Vijci zadovoljavaju uvjet čvrstoće.

7.13. Proračun vijaka nosača pneumatskog cilindra

Na Slici 29. prikazano je opterećenje vijaka L profila koji služi kao nosač pneumatskog cilindra. Materijal vijaka je 4.6, a površina poprečnog presjeka vijka M8 prema [18] iznosi $A_j = 32,8 \text{ mm}^2$.



Slika 29. Opterećenje vijaka nosača pneumatskog cilindra

Aksijalna sila u vijcima iznosi:

$$\begin{aligned}\Sigma M_o &= 0 \\ 65 \cdot F_{cil} &= 17 \cdot F_V \\ F_V &= \frac{65}{17} \cdot F_{cil} = \frac{65}{17} \cdot 644 = 2462,35 \text{ N.}\end{aligned}\tag{7.62}$$

Izrazi za određivanje dopuštenog i reduciranih naprezanja uz prethodno definiran faktor sigurnosti glase:

$$\sigma_V = \frac{F_V}{2 \cdot A_j} = \frac{2462,35}{2 \cdot 32,8} = 40,3 \text{ MPa},\tag{7.63}$$

$$\tau = \frac{F_{cil}}{2 \cdot A_j} = \frac{644}{2 \cdot 32,8} = 9,82 \text{ MPa},\tag{7.64}$$

$$\sigma_{dop} = \frac{R_e}{S_v} = \frac{4 \cdot 6 \cdot 10}{2,5} = 96 \text{ MPa},\tag{7.65}$$

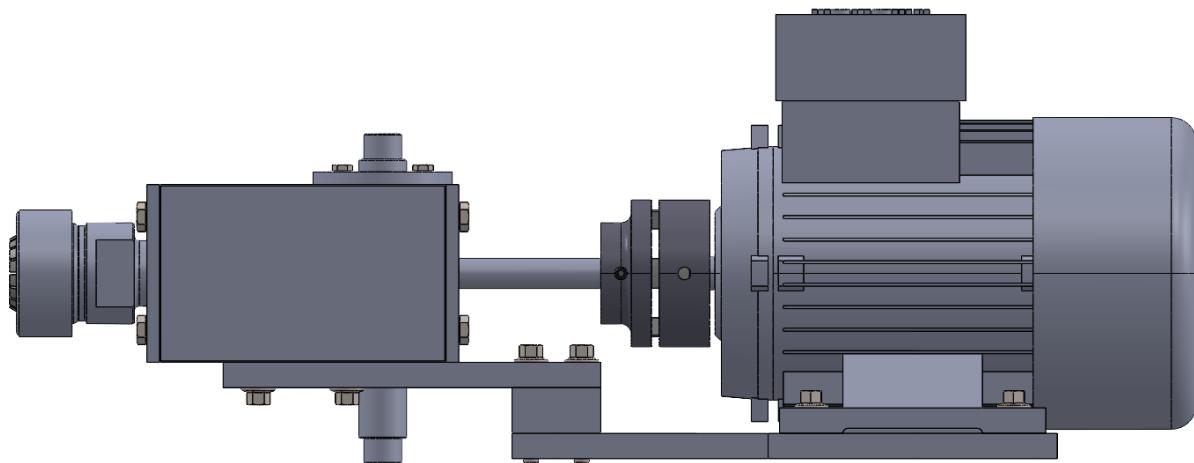
$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_V^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{40,3^2 + 3 \cdot 9,82^2}\tag{7.66}$$

$$\sigma_{red} = 43,74 \text{ MPa} < \sigma_{dop} = 96 \text{ MPa.}$$

Vijci zadovoljavaju uvjet čvrstoće.

7.14. Proračun vijaka nosača elektromotora

Na Slici 30. prikazano je konstrukcijsko rješenje nosača elektromotora.

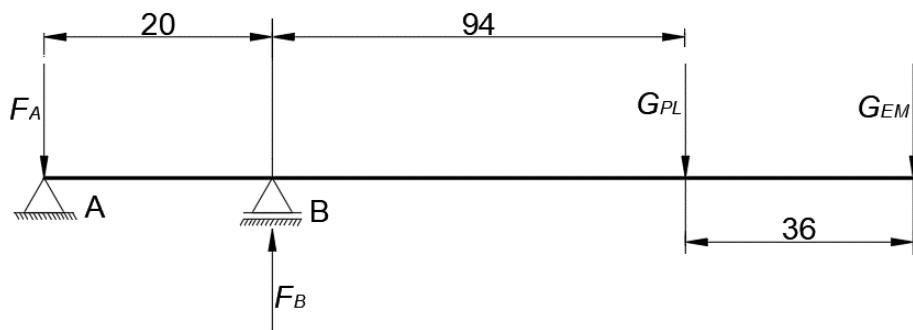


Slika 30. Nosač elektromotora

Na Slici 31. prikazano je opterećenje ploče na kojoj se nalazi elektromotor. Na mjestu svakog oslonca na Slici 31. nalaze se dva vijka. Koriste se vijci M6 čvrstoće 4.6. Mase koje opterećuju ploču iznose:

$m_{EM} = 4,2 \text{ kg}$ – masa elektromotora [14],

$m_{PL} = 1,6 \text{ kg}$ – masa ploče EM 3.



Slika 31. Opterećenje ploče EM 3

Sile u vijcima određuju se prema sljedećim izrazima:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$20 \cdot F_B - 114 \cdot m_{PL} \cdot g - 150 \cdot m_{EM} \cdot g = 0 \quad (7.67)$$

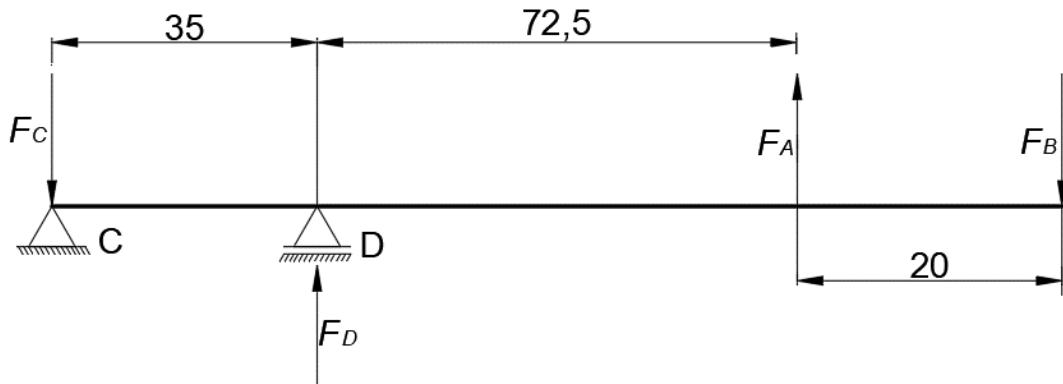
$$F_B = 399 \text{ N},$$

$$\Sigma M_B = 0 \quad (7.68)$$

$$20 \cdot F_A - 94 \cdot m_{PL} \cdot g - 130 \cdot m_{EM} \cdot g = 0$$

$$F_A = 342 \text{ N.}$$

Na Slici 32. prikazano je opterećenje ploče koja povezuje nosivu ploču elektromotora s kućištem. Na mjestu svakog oslonca nalaze se dva vijka. U osloncima C i D koriste se isti vijci kao na osloncima A i B.



Slika 32. Opterećenje ploče EM 3

Sile u vijcima određuju se prema sljedećim izrazima:

$$\begin{aligned} \Sigma M_C &= 0 \\ 35 \cdot F_D + 107,5 \cdot F_A - 127,5 \cdot F_B &= 0 \quad (7.70) \\ F_D &= 406 \text{ N,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_D &= 0 \\ 35 \cdot F_C + 72,5 \cdot F_A - 92,5 \cdot F_B &= 0 \quad (7.71) \\ F_C &= 346 \text{ N.} \end{aligned}$$

Dopušteno naprezanje određeno je izrazom (7.65). Najveće naprezanje u vijcima iznosi:

$$\sigma_V = \frac{F_{V_max}}{2 \cdot A_j} = \frac{F_D}{2 \cdot A_j} = \frac{406}{2 \cdot 17,9} = 11,3 \text{ MPa} < \sigma_{dop} = 96 \text{ MPa.} \quad (7.72)$$

Vijci zadovoljavaju uvjet čvrstoće.

7.15. Proračun sile potrebne za pomak pomičnog dijela

Potrebno je provjeriti iznos sile potrebne za pomicanje pomičnog dijela stroja kako bi se osigurala mogućnost ručnog pomicanja. Sila trenja između ploče pomičnog dijela i temeljne ploče mora biti manja od dozvoljene ručne sile koju čovjek može proizvesti te koja prema [19] iznosi:

$$F_R = 100 \text{ N.}$$

Sila trenja iznosi:

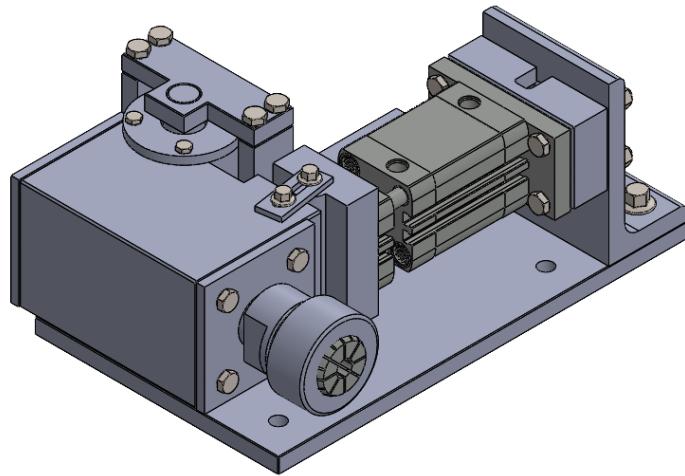
$$F_{tr} = \mu \cdot g \cdot m_p = 0,15 \cdot 9,81 \cdot 11 = 16,2 \text{ N} < F_R = 100 \text{ N}, \quad (7.73)$$

gdje su:

$\mu = 0,15$ -faktor trenja između para čelik/čelik prema [18],

$m_p = 11 \text{ kg}$ – masa pomičnog dijela stroja.

Sila trenja je dovoljno malog iznosa kako bi se pomičan dio stroja mogao ručno pomicati. Pomičan dio stroja prikazan je na Slici 33.



Slika 33. Pomičan dio stroja

7.16. Odabir senzora sile

Kako bi se što preciznije mogla postaviti sila, između pneumatskog cilindra i nosača u obliku L profila na koji se on oslanja, postavlja se senzor sile. Nazivna sila senzora mora biti veća od maksimalne sile cilindra F_{cil} . Odabire se senzor sile C9C proizvođača HBK [20] nazivne sile 1 kN. Maksimalna greška koja se javlja u senzoru iznosi 0,2%, što je unutar dopuštene vrijednosti koju propisuje [1]. Senzor je prikazan na Slici 34.



Slika 34. Senzor sile C9C [20]

8. Postupak ispitivanja

Uzorak se prvo montira na nepomično kućište i osigurava pripadajućom maticom. Pomično kućište pozicionira se na potrebnu udaljenost i pritežu se matice kako bi se kućište osiguralo od aksijalnog pomaka, a zatim se priteže i druga matica stezne čahure. Prije pokretanja uređaja postavlja se zaštitni poklopac. Ispitivanje započinje pokretanjem elektromotora. Nakon što se laserskim tahometrom provjeri je li uzorak postigao željenu brzinu vrtnje, polako se otvaraju ventili i povećava se sila koja djeluje na kućište. Nije propisano vrijeme u kojemu se mora postići potrebna sila, jedino je bitno da tijekom povećavanja sile ne dolazi do nikakvih udara. Nakon loma uzorka izračunava se broj ciklusa koji je odraden te se naprezanje i broj ciklusa zapisuju u tablicu i ucrtavaju na dijagramu spomenutom u poglavljju 2.2. Izraz za izračunavanje broja ciklusa pri brzini vrtnje n_m i vremenu ispitivanja t glasi:

$$N = \frac{n_m \cdot t}{60} \quad (7.73)$$

gdje je brzina vrtnje izražena u min^{-1} , a vrijeme ispitivanja u s. Izraz za određivanje sile koju je potrebno postići u pneumatskom cilindru kako bi se na određenom promjeru uzorka d postiglo željeno savojno naprezanje σ glasi:

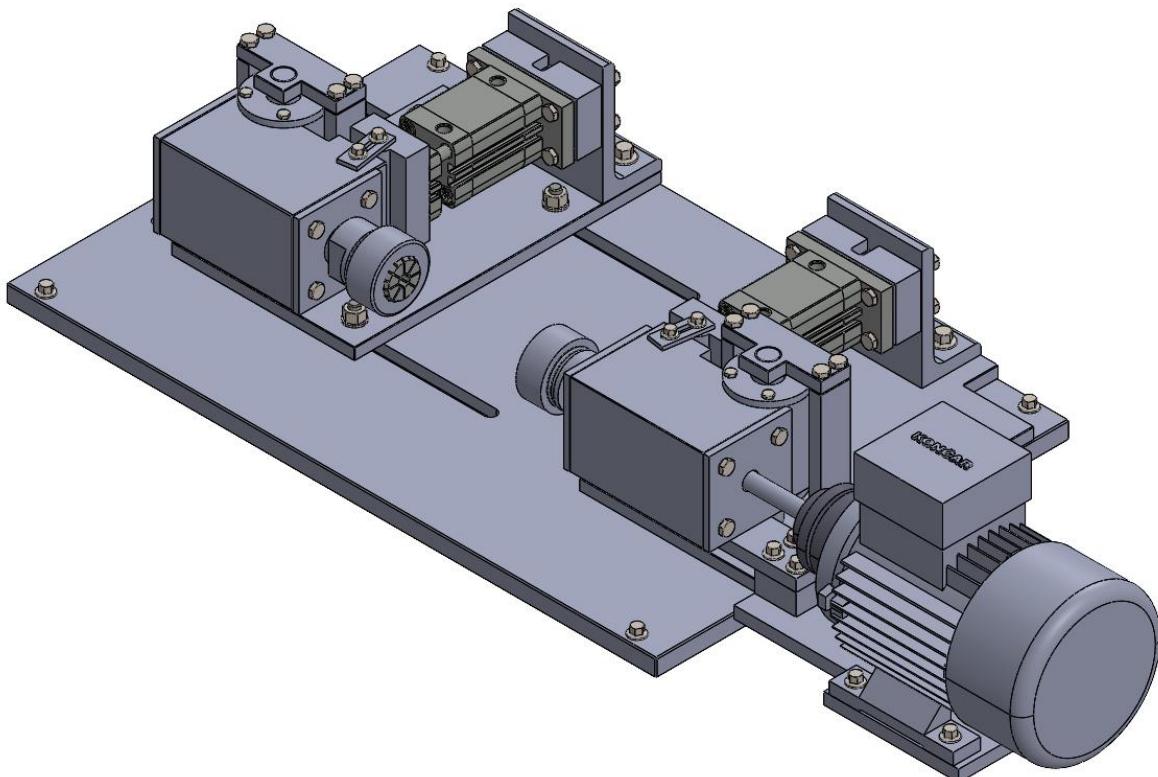
$$F = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot d^3}{2240} \quad (7.74)$$

gdje je naprezanje izraženo u MPa, a promjer uzorka u mm.

9. ZAKLJUČAK

Na Slici 35. prikazan je 3D model završnog stroja bez zaštitnog poklopca. U ovom radu prikazano je konstrukcijsko rješenje uređaja za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju prema normi ISO 1143. Na temelju glavne funkcije uređaja funkcijском dekompozicijom napravljena je morfološka matrica koja predstavlja rješenja za pod funkcije uređaja. Na temelju morfološke matrice napravljena su tri koncepta čija je glavna razlika način prenošenja sile s linearног aktuatora na kućište. Ocjenjivanjem koncepata na temelju 7 kriterija, koncept 2 odabran je za daljnju konstrukcijsku razradu.

Istraživanjem tržišta nije pronađen nijedan uređaj koji koristi pneumatski cilindar kao linearni aktuator. Najveća prednost korištenja pneumatskog cilindra u usporedbi s utezima ili mehaničkim aktuatorima je manja cijena, uz uvjet da korisnik već posjeduje kompresor koji može postići tlak od 8 bara.



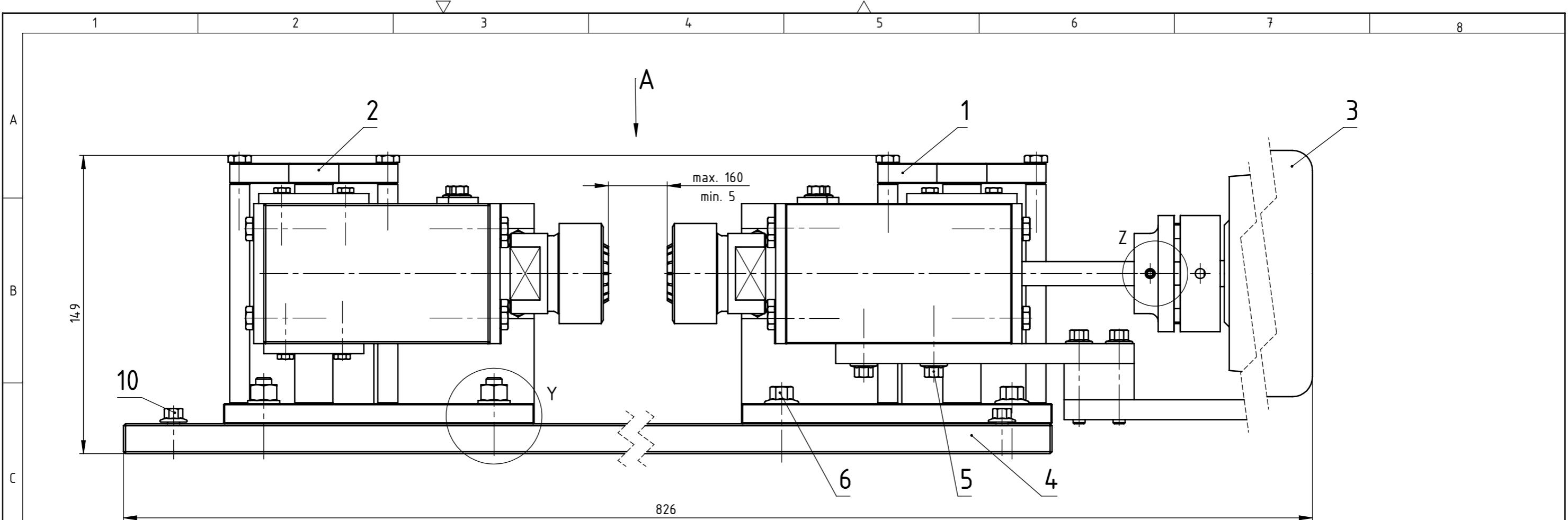
Slika 35. 3D model stroja bez zaštitnog poklopca

LITERATURA

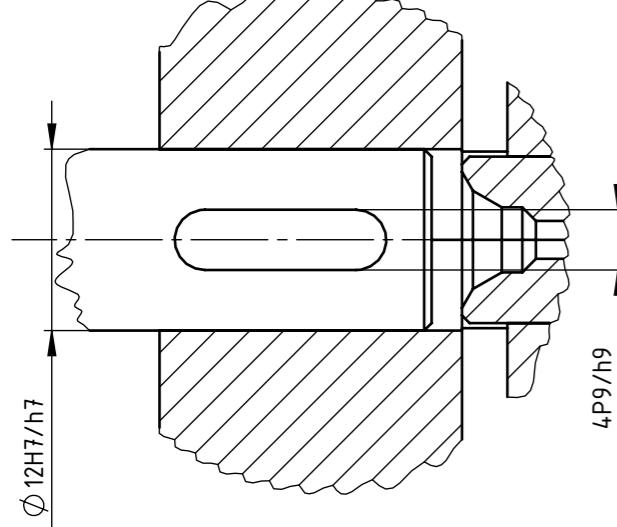
- [1] ISO 1143-2010
- [2] <https://www.admet.com/wp-content/uploads/eXpert-9300-Rotating-Beam-Fatigue-1.pdf>
- [3] <https://raagen.com/rotating-bending-fatigue-test-machine.html>
- [4] <https://www.p-a-hilton.co.uk/products/strength-materials-hsm/rotating-fatigue-machine-analogue-version>
- [5] https://www.zwickroell.com/fileadmin/content/Files/SharePoint/user_upload/PI_EN/16_998_ARBM120_PI_EN.pdf
- [6] <https://www.ducom.com/rotating-beam-fatigue-tester-rbft>
- [7] Oberšmit, E.: Ozubljenja i zupčanici, SNL, Zagreb, 1982.
- [8] https://www.festo.com/hr/hr/a/554243/?tab=ACCESSORIES&jumpToAnchor=true&id_entCode1=ADNGF-32-30-P-A
- [9] SKF rolling bearings catalogue
- [10] Horvat, Z.: Vratilo (Proračun), FSB, Zagreb
- [11] <https://www.techniksusa.com/product/metric-size-er-precision-collets/>
- [12] <https://www.cncpd.com/product/er-32-collet-nut-46132-l/>
- [13] <https://accusizetools.com/products/er32-hand-wrench>
- [14] Končar MES, Katalog elektromotora, Končar MES, Zagreb, 2019.
- [15] Lovato Končar, Frekventni pretvarači, Lovato Končar, 2019.
- [16] <https://www.flender.com/en/Products/Couplings/N-EUPEX-Pin-Coupling/p/ATN02701>
- [17] Vučković K.: Valjni i klizni ležajevi EKII, FSB, Zagreb, 2022.
- [18] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Sajema, Zagreb, 2009.
- [19] https://www.engineeringtoolbox.com/human-force-power-d_2086.html
- [20] https://www.hbm.com/en/3928/c9c-miniature-force-sensor-for-compressive-forces/?product_type_no=Miniature%20Force%20Sensor%20C9C:%20For%20Compressive%20Force
- [21] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.

PRILOZI

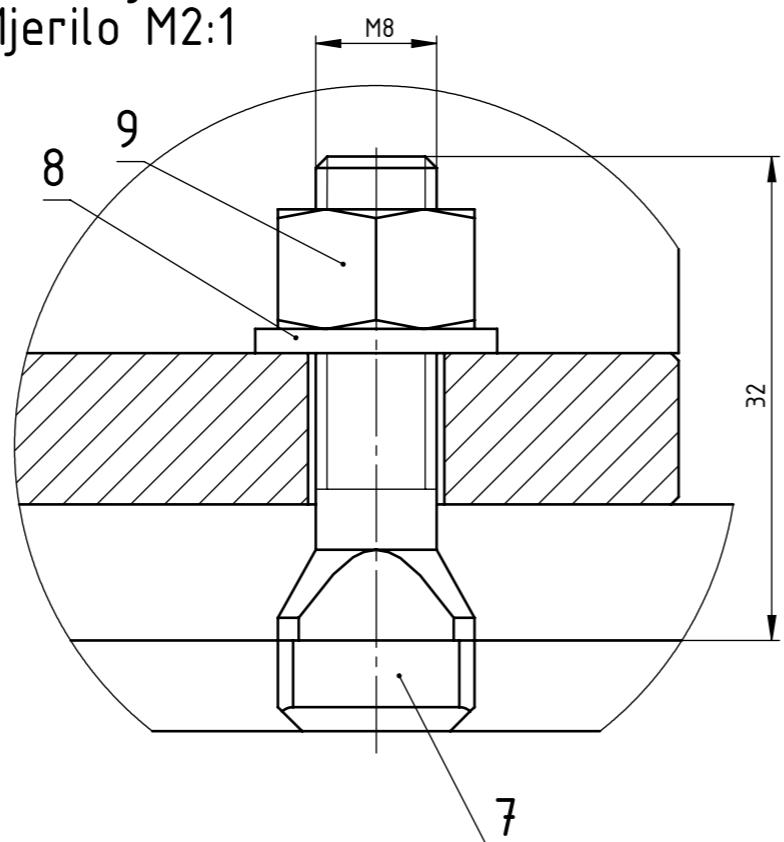
I. Tehnička dokumentacija



Detalj Z
Mjerilo M2:1



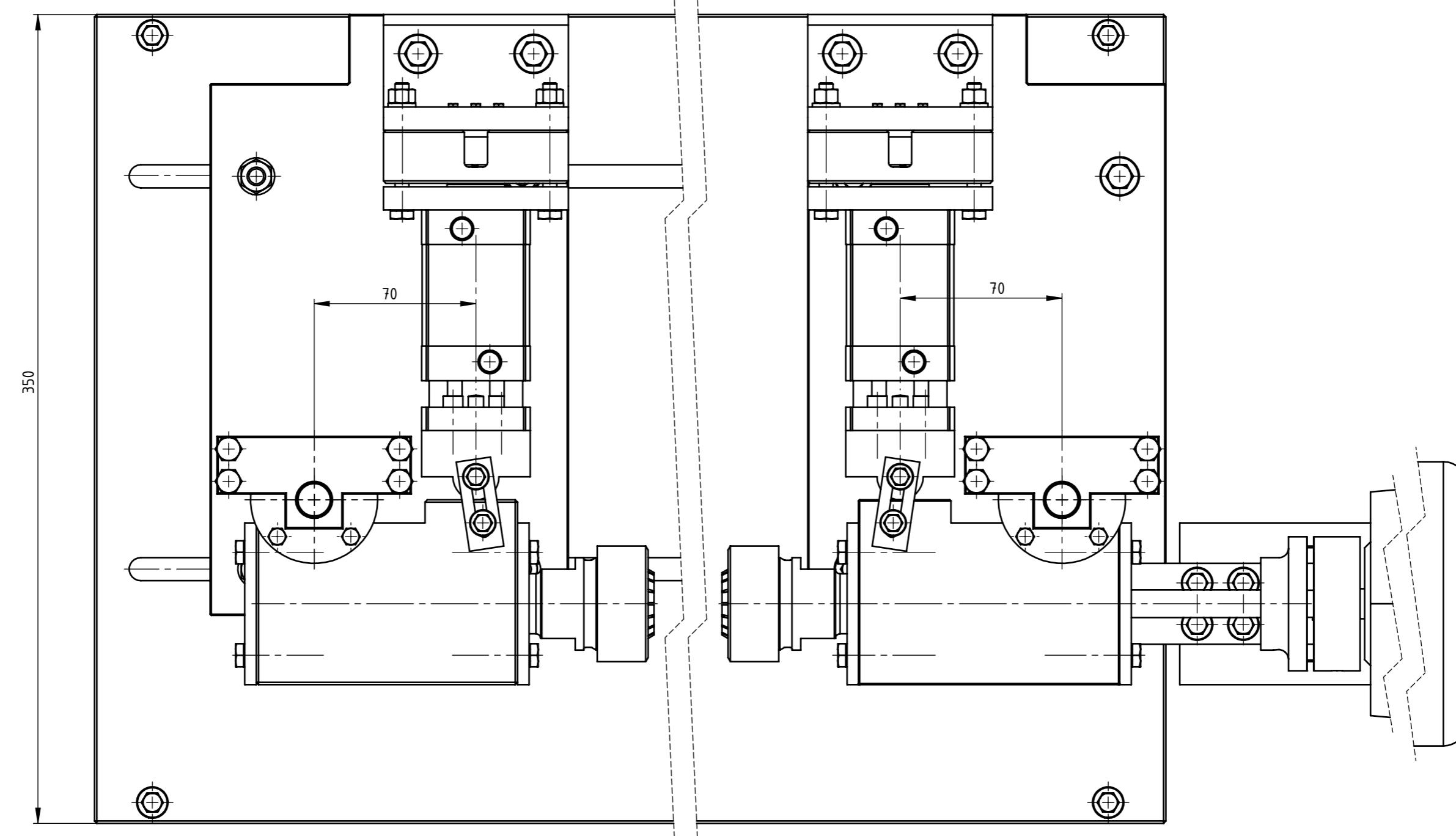
Detalj Y
Mjerilo M2:1



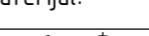
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
12	Frekventni pretvarač	1	VLB3 0004 A480	-	Končar	0,85
11	Poklopac	1	DZ-024	S235JR	628x625x0,8	1,6
10	Pritezni vijak poklopca	4	ISO 4162	4.6	M6x12	-
9	Matica M8	4	ISO 4034	4	M8	-
8	Podložna pločica	4	DIN 125 A	4	Ø 16/Ø 8,4x1,6	-
7	Vijak s T glavom	4	DIN 787	4.6	M8x32	-
6	Pritezni vijak M8	4	ISO 4162	4.6	M8x20	-
5	Pritezni vijak M6	4	ISO 4162	4.6	M6x20	-
4	Temeljna ploča	1	DZ-031	S235JR	550x350x10	21,8
3	Sklop elektromotora	1	DZ-006	-	384x177x123	6,9
2	Sklop pomičnog dijela	1	DZ-003	-	290x155x134	11
1	Sklop nepomičnog dijela	1	DZ-002	-	290x215x134	11,05
Poz. Naziv dijela Kom. Crtež broj Norma Materijal Sirove dimenzije Proizvođač Masa						
Broj naziva - code Datum Ime i prezime Potpis						
Projektirao 17.2.2024. Domagoj Želežić						
Razradio 17.2.2024. Domagoj Želežić						
Crtao 17.2.2024. Domagoj Želežić						
Pregledao prof. Krešimir Vučković						
Mentor						
ISO - tolerancije Objekt: Objekt broj:						
4P9/h9 +0,018 -0,042						
Ø 12H7/h7 +0,036 0						
Napomena:						
Materijal: Materijal: Masa: 53,2 kg						
Mjerilo originala M1:2 Naziv: Stroj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju Pozicija:						
Format: A3 Listova: 2 List: 1						
Crtež broj: DZ-001						

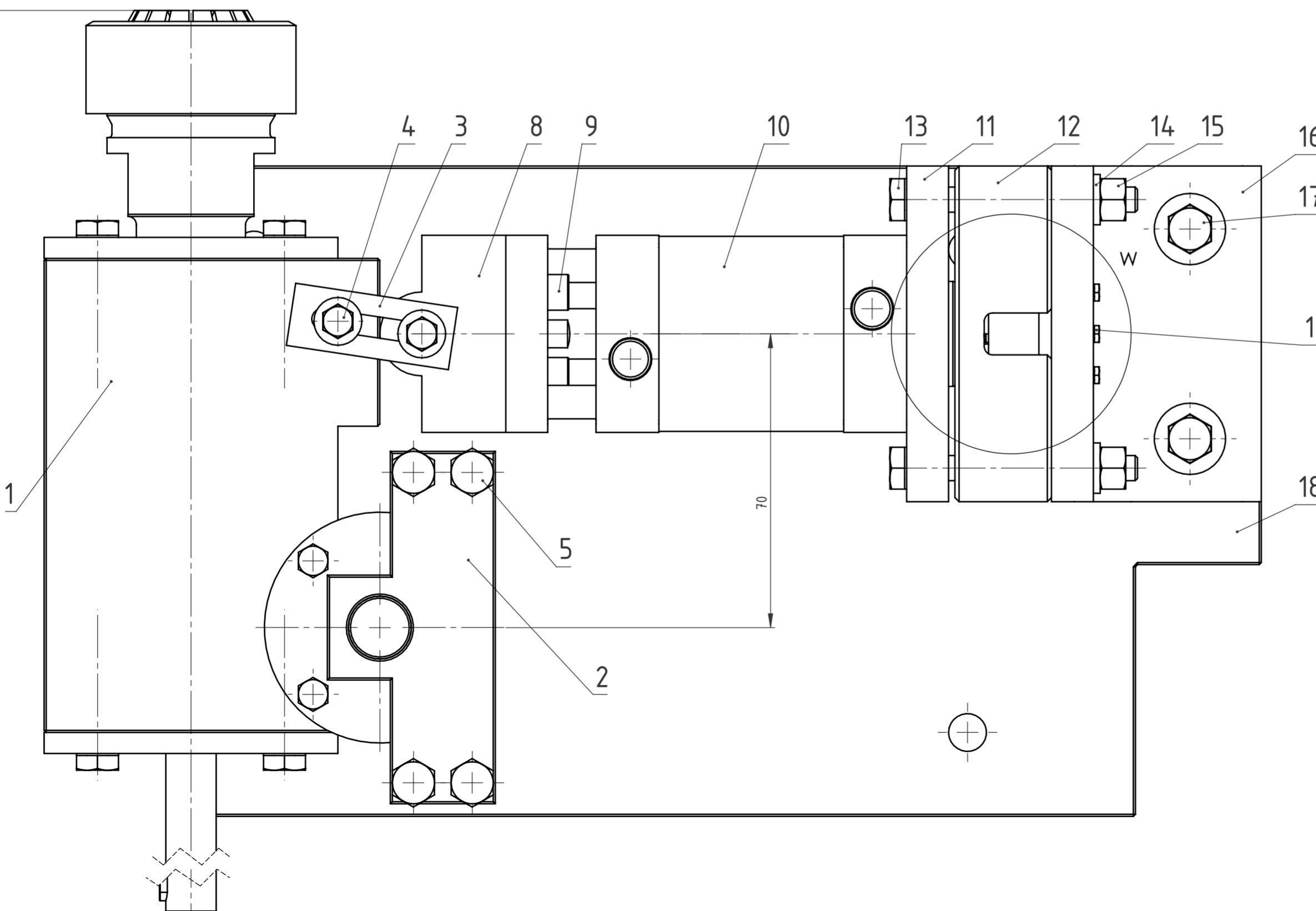
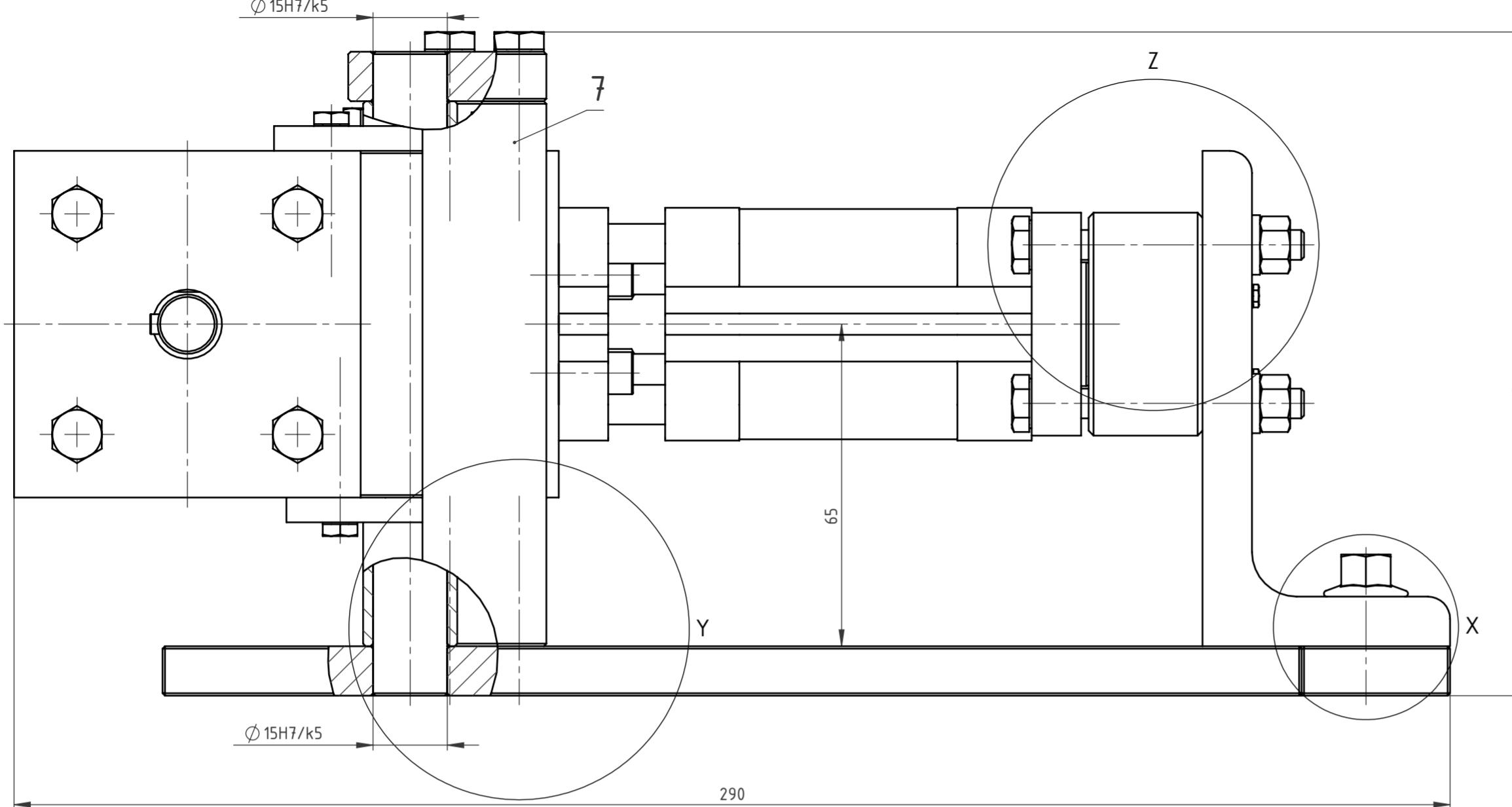
1 2 3 4 5 6 7 8

Pogled A



Design by CADLab

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
Projektirao		17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Razradio		17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Crtao		17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Pregledao			prof. Krešimir Vučković			
Mentor						
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
4P9/h9	+0,018			R. N. broj:		
	-0,042					
Ø 12H7/h7	+0,036	Napomena:			Kopija	
	0					
		Materijal:	Masa: 53,2 kg			
			Naziv: Stroj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju	Pozicija:	Format: A3	
		Mjerilo originala				Listova: 2
		M1:2			Crtež broj: DZ-001	List: 2



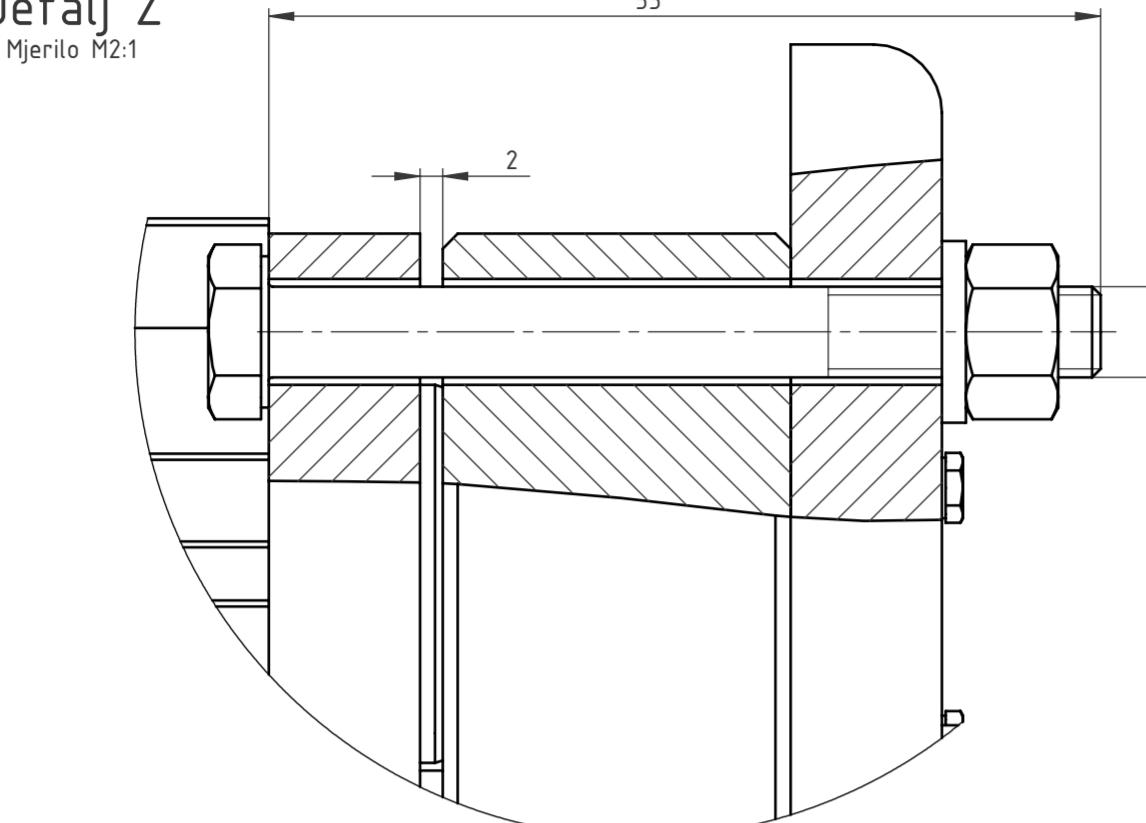
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis			
Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić				
Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić				
Crtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić				
Pregledao		prof. Krešimir Vučković				
ISO - tolerancije	Objekt:				Objekt broj:	
Ø15H7/k5 +0,017 -0,009	Službeni stroj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju				R. N. broj:	
Ø30H7/e7 +0,082 -0,04	Napomena:					
	Materijal:	Masa: 11,05 kg				
	Mjerilo originala	Naziv: Sklop nepomičnog dijela			Pozicija:	Format: A2
	M1:1				2	Listova: 2
						List: 1

FSB Zagreb

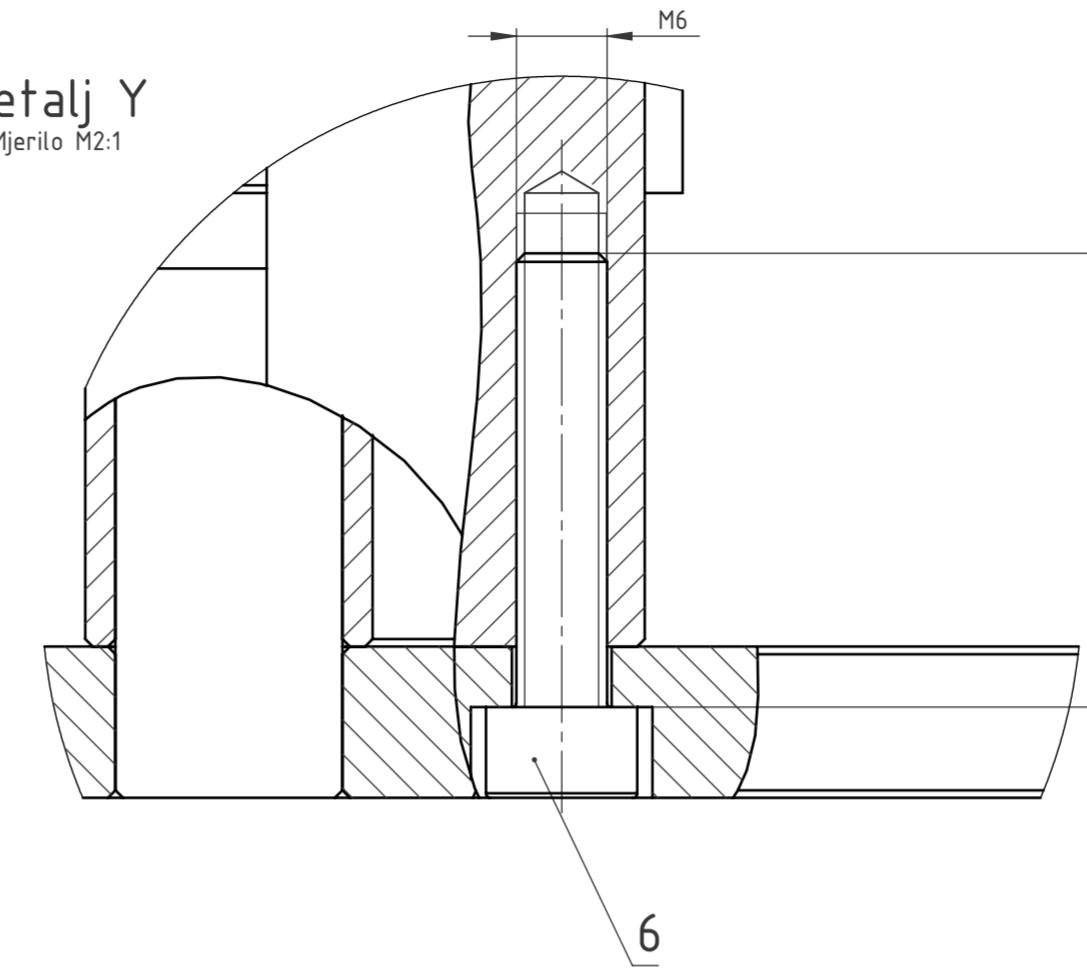
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

A

Detalj Z



Detalj Y



B

C

D

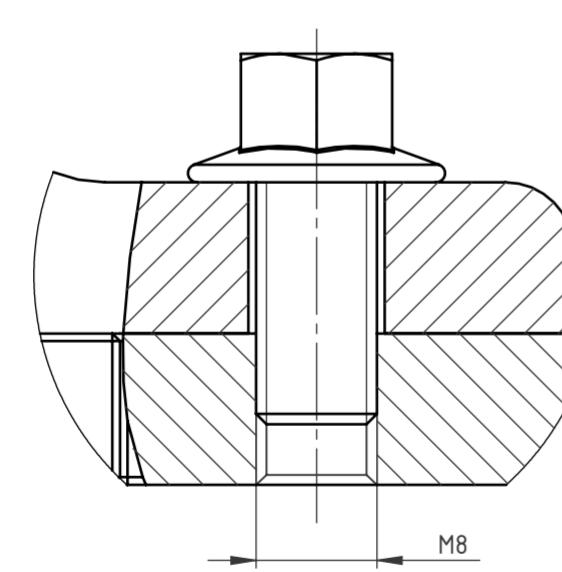
E

F

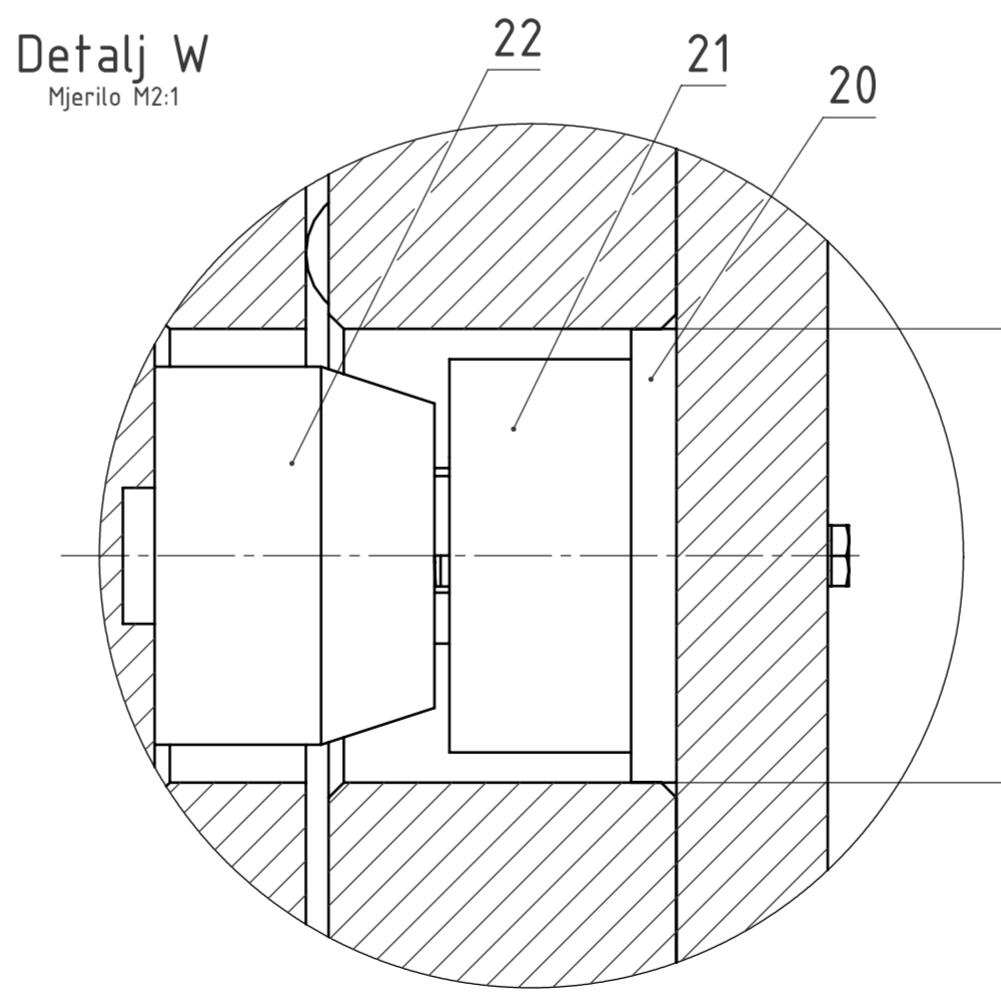
G

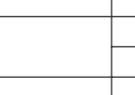
H

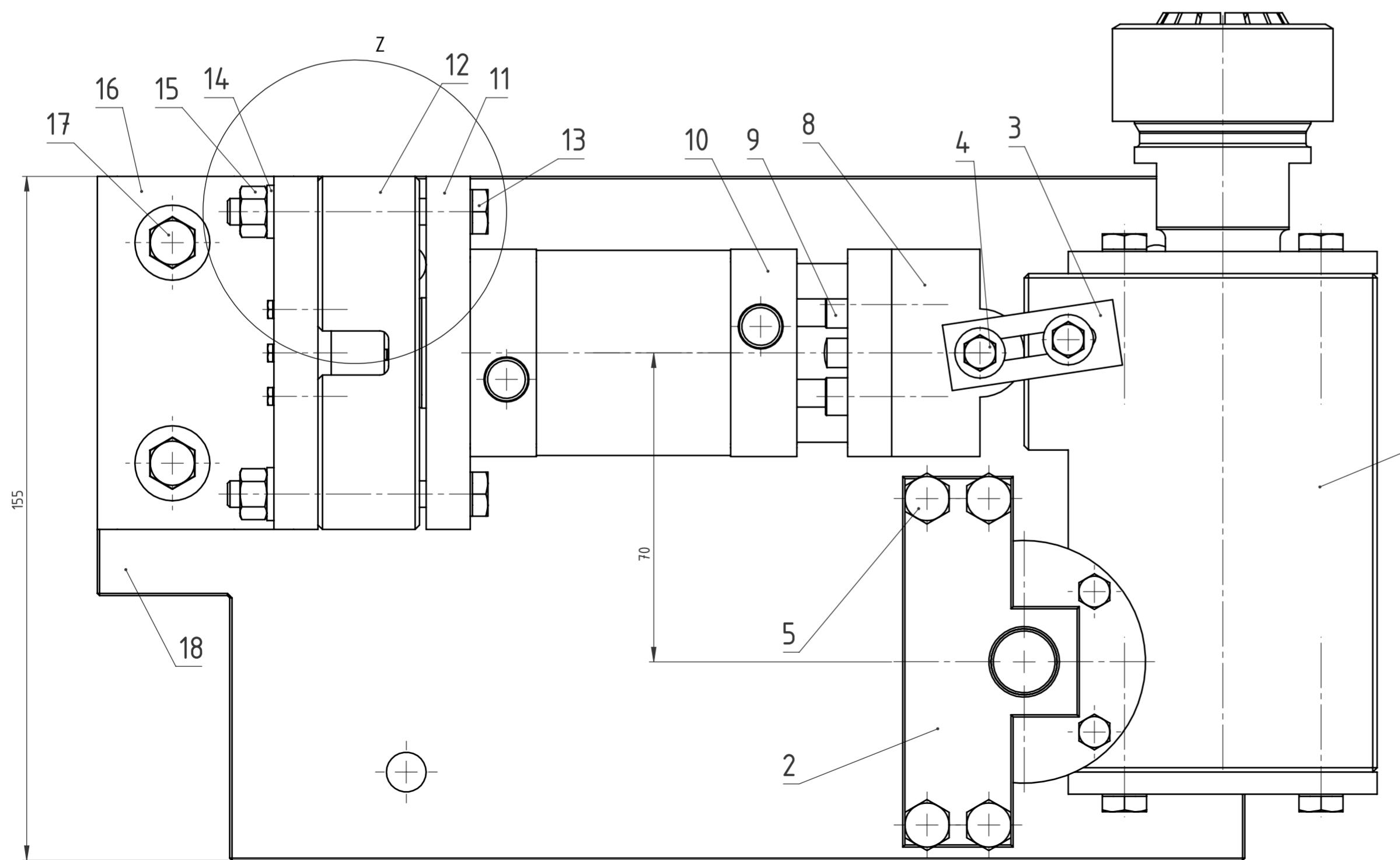
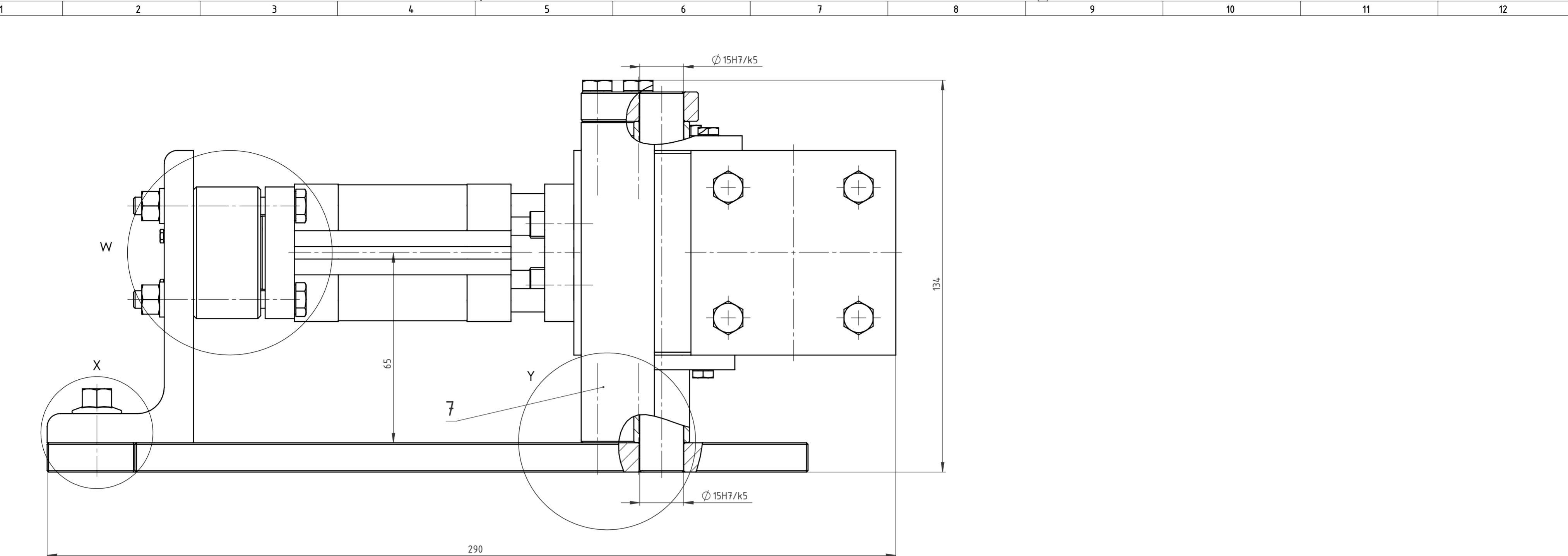
Detalj X



Detalj W



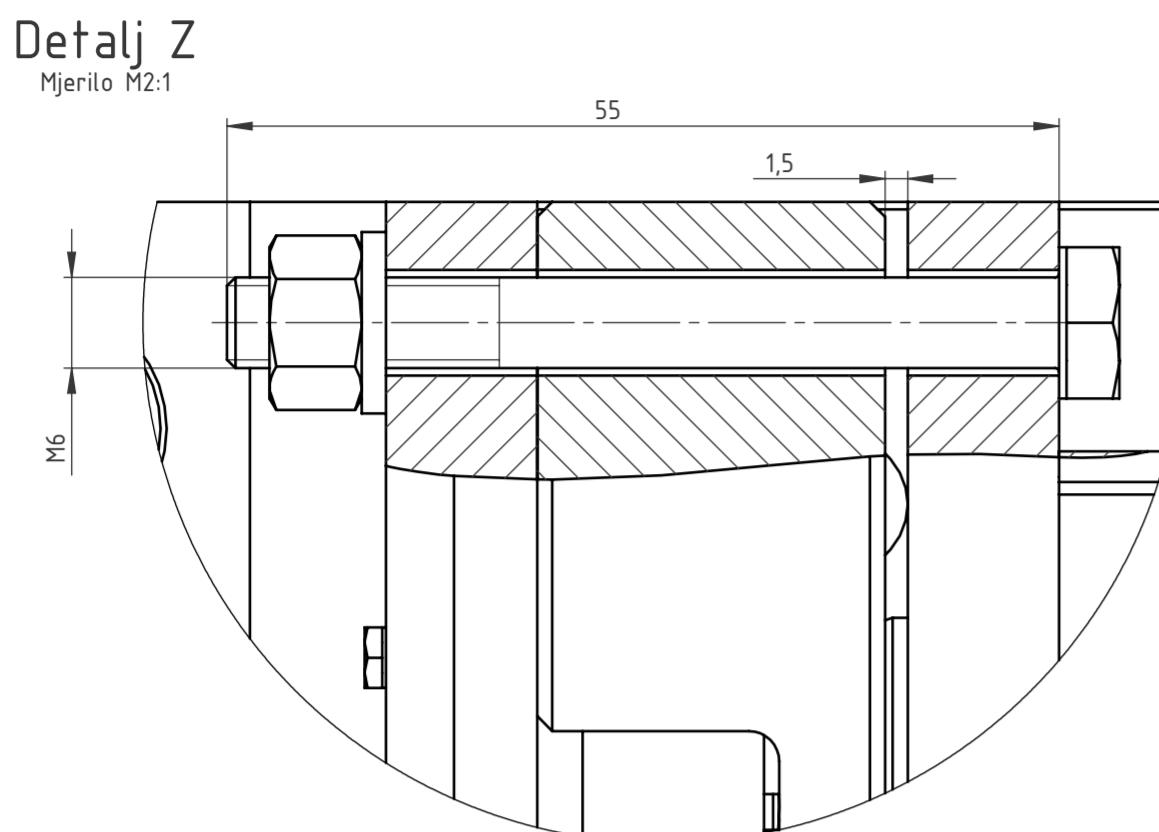
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
Crtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
Pregledao		prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
Ø 15H7/k5 +0,017 -0,009	Službeni stroj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju		R. N. broj:	
Ø 30H7/e7 +0,082 +0,04	Napomena:			Kopija
	Materijal:	Masa: 11,05 kg		
	 Mjerilo originala	Naziv: Sklop nepomičnog dijela	Pozicija: 2	Format: A2
	M1:1			Listova: 2
		Crtanje broj: DZ-002		List: 2



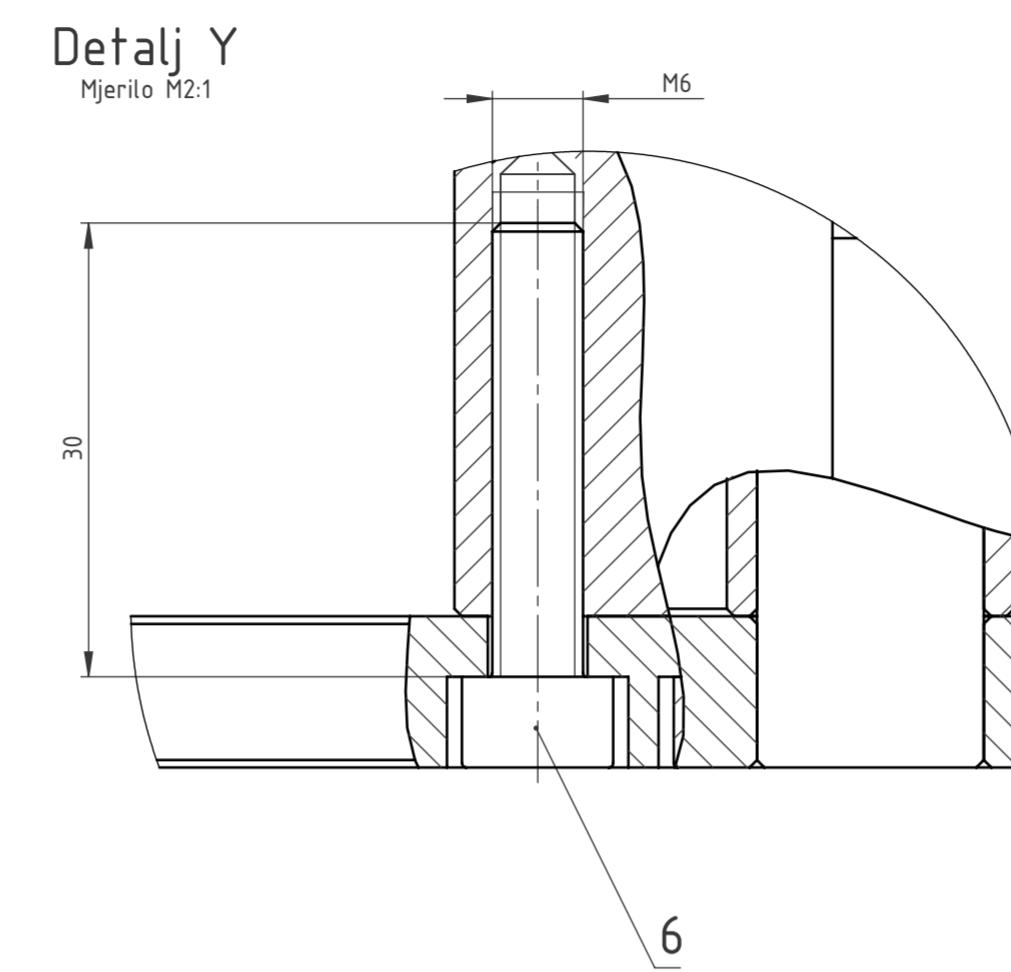
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis			
Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić				
Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić				
Crtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić				
Pregledao		prof. Krešimir Vučković				
ISO - tolerancije	Objekt:				Objekt broj:	
Ø 15H7/k5 +0,017 -0,009	Sroj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju				R. N. broj:	
Ø 30H7/e7 +0,082 +0,04	Napomena:					
		Materijal:	Masa: 11 kg			
				Naziv: Sklop pomicnog dijela		
				Pozicija: 3		
				Format: A2		
				Mjerilo originala M1:1		
				Listova: 2		
				Crtež broj: DZ-003		
				List: 1		

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

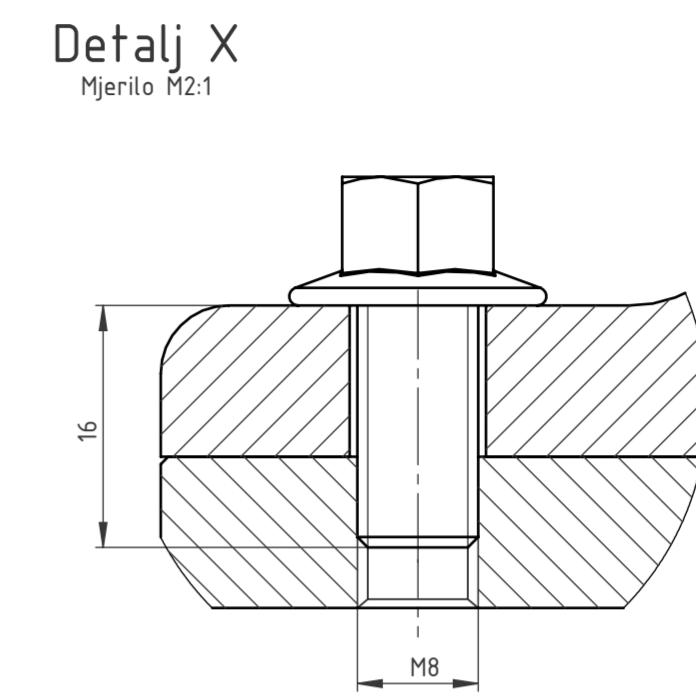
A



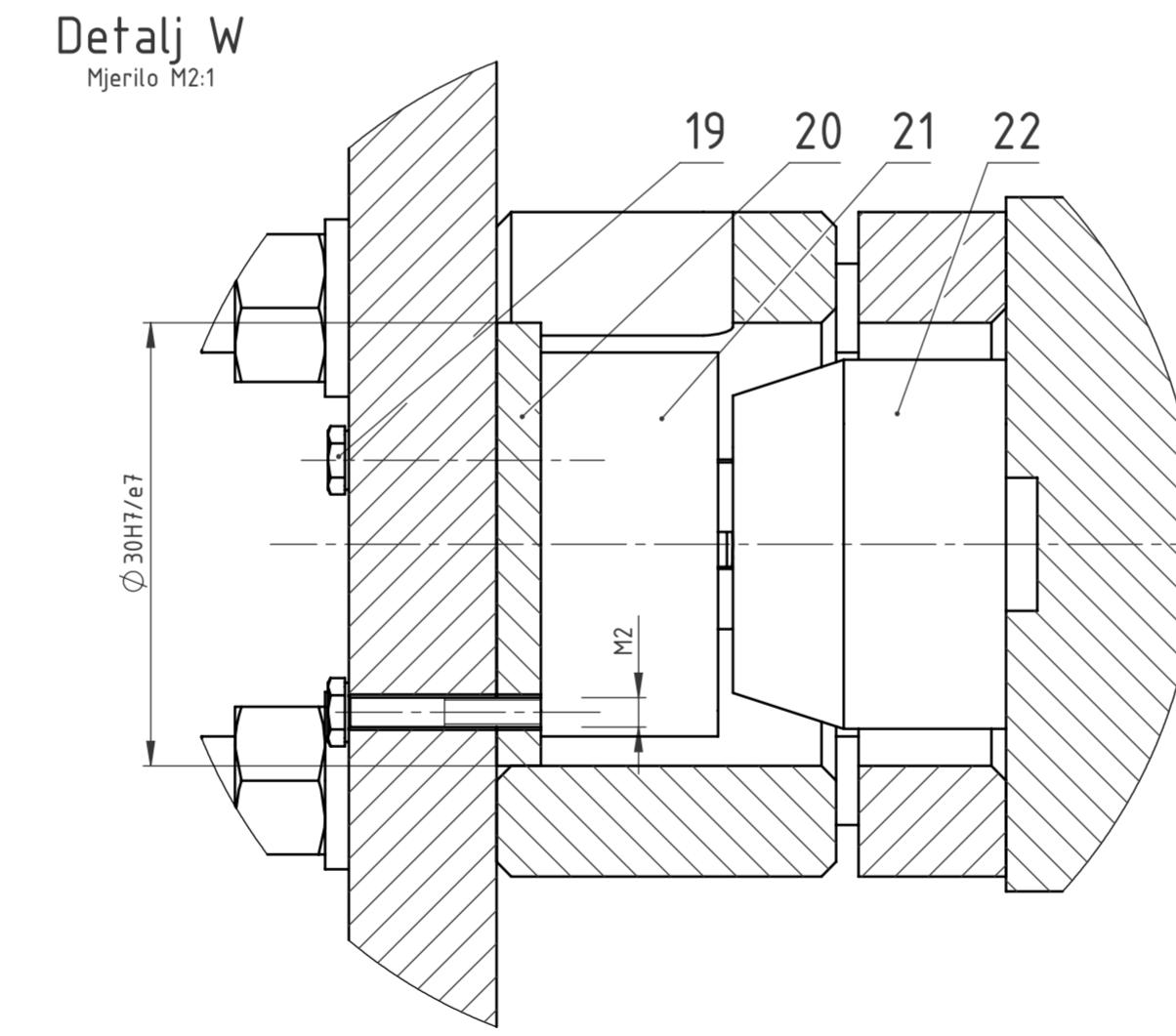
B



D



E



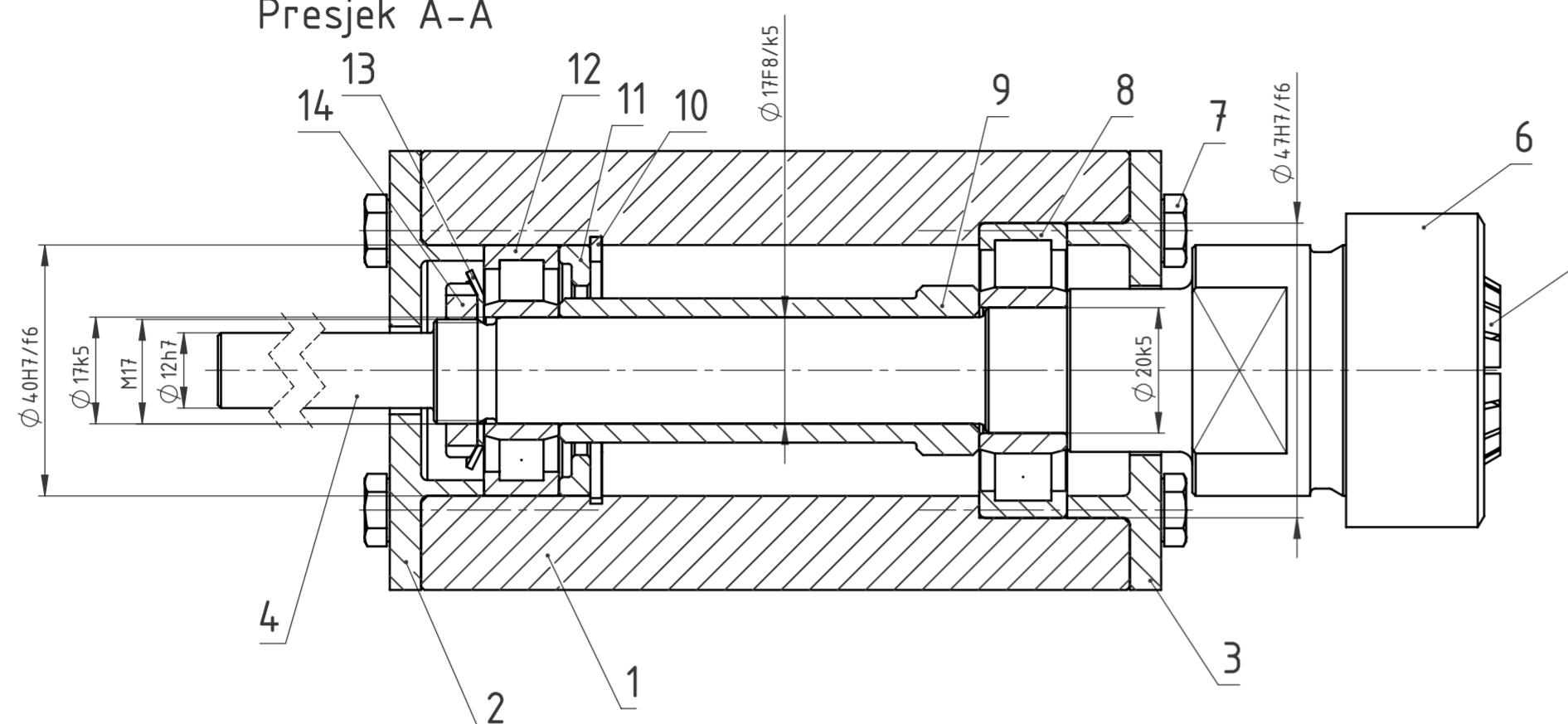
G

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
Crtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
Pregledao	prof. Krešimir Vučković			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:	
Ø 15H7/k5	+0,017 -0,009	Sroj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju	R. N. broj:	
Ø 30H7/e7	+0,082 +0,04	Napomena:		Kopija
		Materijal:	Masa: 11 kg	
		Mjerilo originala	Naziv: Sklop pomičnog dijela	Pozicija: 3
		M1:1		Format: A2
			Listova: 2	
			Crtanje broj: DZ-003	List: 2

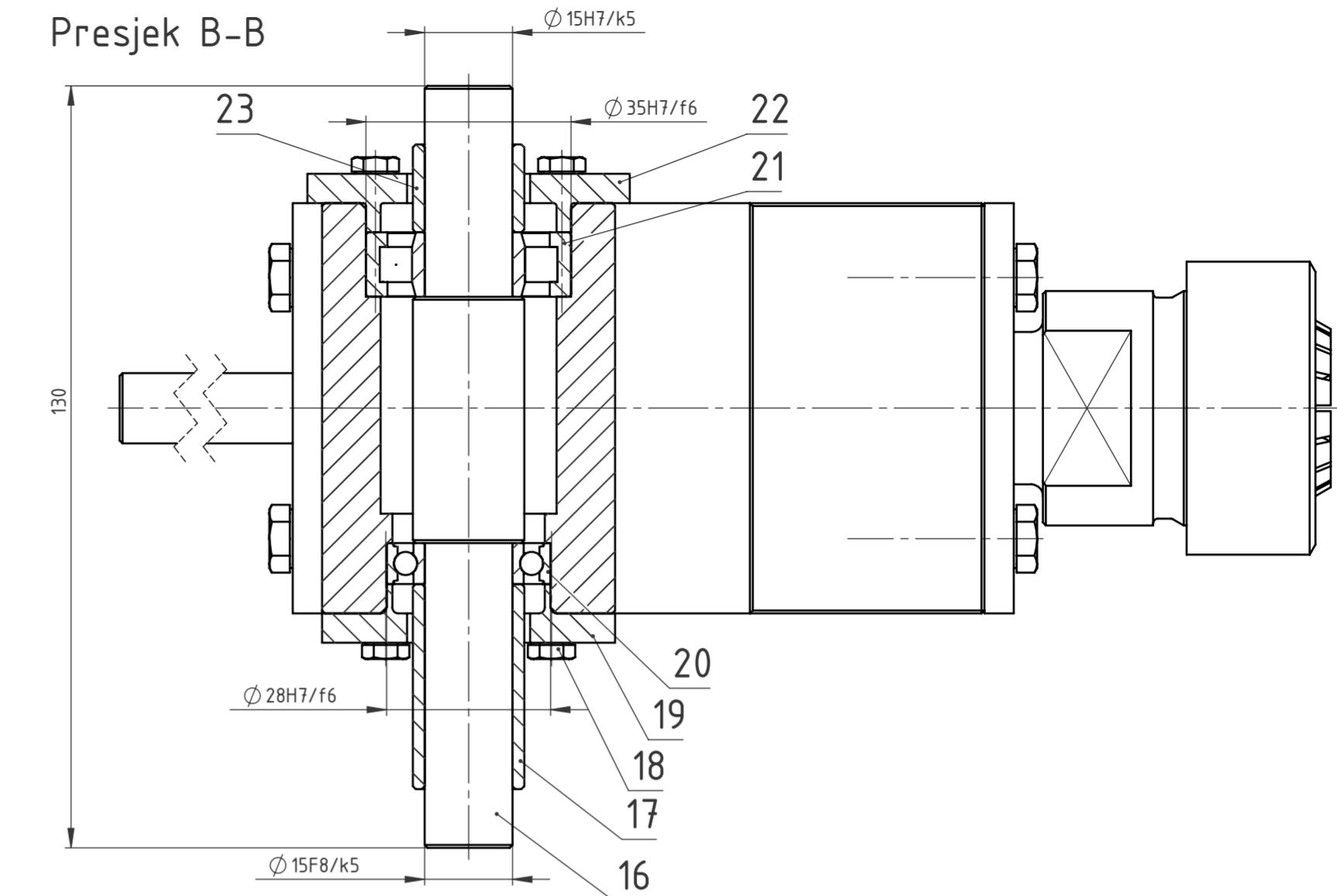
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

A

Presjek A-A



Presjek B-B



B

C

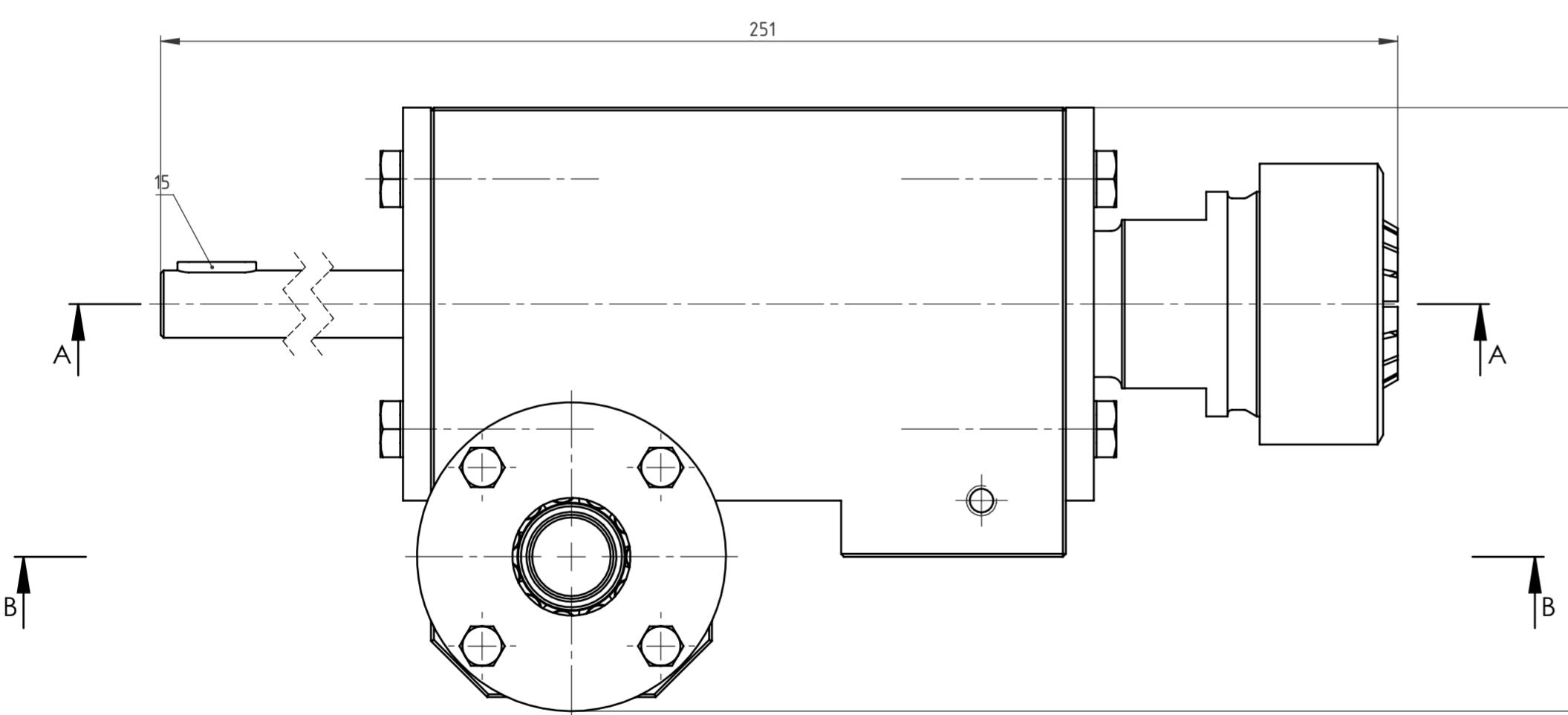
D

E

F

G

H



23	Odstojna čahura osovine 1	1	DZ-012	S235JR	$\varnothing 19x15$	-
22	Prolazni poklopac osovine 1	1	DZ-025	S235JR	$\varnothing 55/\varnothing 35x10$	0,1
21	Ležaj NU 202 ECP	1	NU 202 ECP	-	$\varnothing 35/\varnothing 15x7$	-
20	Ležaj 61902 2RS1	1	61902	-	$\varnothing 28/\varnothing 15x7$	-
19	Prolazni poklopac osovine 2	1	DZ-026	S235JR	$\varnothing 50/\varnothing 28x10$	-
18	Prtezni vijak M4	8	ISO 4014	4.6	M4x25	-
17	Odstojna čahura osovine 2	1	DZ-013	S235JR	$\varnothing 19x35$	-
16	Osovina	1	DZ-017	S235JR	$\varnothing 19x130$	0,2
15	Pero	1	DIN 6885 C	C45	14x4x4	-
14	Matica ležaja	1	DIN 5406	-	KM3	-
13	Zvjezdasti lim	1	DIN 981	-	MB3	-
12	Ležaj NU 203 ECP	1	NU 203 ECP	-	$\varnothing 40/\varnothing 17x12$	-
11	Prsten ležaja	1	DZ-029	S235JR	$\varnothing 40/\varnothing 27x5$	-
10	Uskočnik	1	DIN 471	-	$\varnothing 42,5x1,85$	-
9	Odstojna čahura vratila	1	DZ-014	S235JR	$\varnothing 27/\varnothing 17x67$	0,1
8	Ležaj NU 204 ECP	1	NU 204 ECP	-	$\varnothing 47/\varnothing 20x14$	-
7	Prtezni vijak M6	8	ISO 4014	4.6	M6x30	-
6	Matica stezne čahure	1	ISO 15488 32	-	-	-
5	Stezna čahura	1	ISO 15488 32	-	-	-
4	Vratilo 1	1	DZ-032	E360	$\varnothing 40x242$	0,55
3	Prolazni poklopac vratila	1	DZ-027	S235JR	$\square 70/\varnothing 47x15$	0,2
2	Prolazni poklopac izlaznog vratila	1	DZ-028	S235JR	$\square 70/\varnothing 40x15$	0,2
1	Kućište 1	1	DZ-008	S235JR	113x105x70	3,8

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
		Projektirao	17.2.2024. Domagoj Želežić			
		Razradio	17.2.2024. Domagoj Želežić			
		Crtao	17.2.2024. Domagoj Želežić			
		Pregledao	prof. Krešimir Vučković			

ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
$\varnothing 15F8/k5$ +0,042 +0,007	Sklop nepomičnog dijela	
$\varnothing 17k5$ +0,009 +0,001	Napomena:	R. N. broj:
$\varnothing 17F8/k5$ +0,042 +0,007	Materijal:	Masa: 5,15 kg

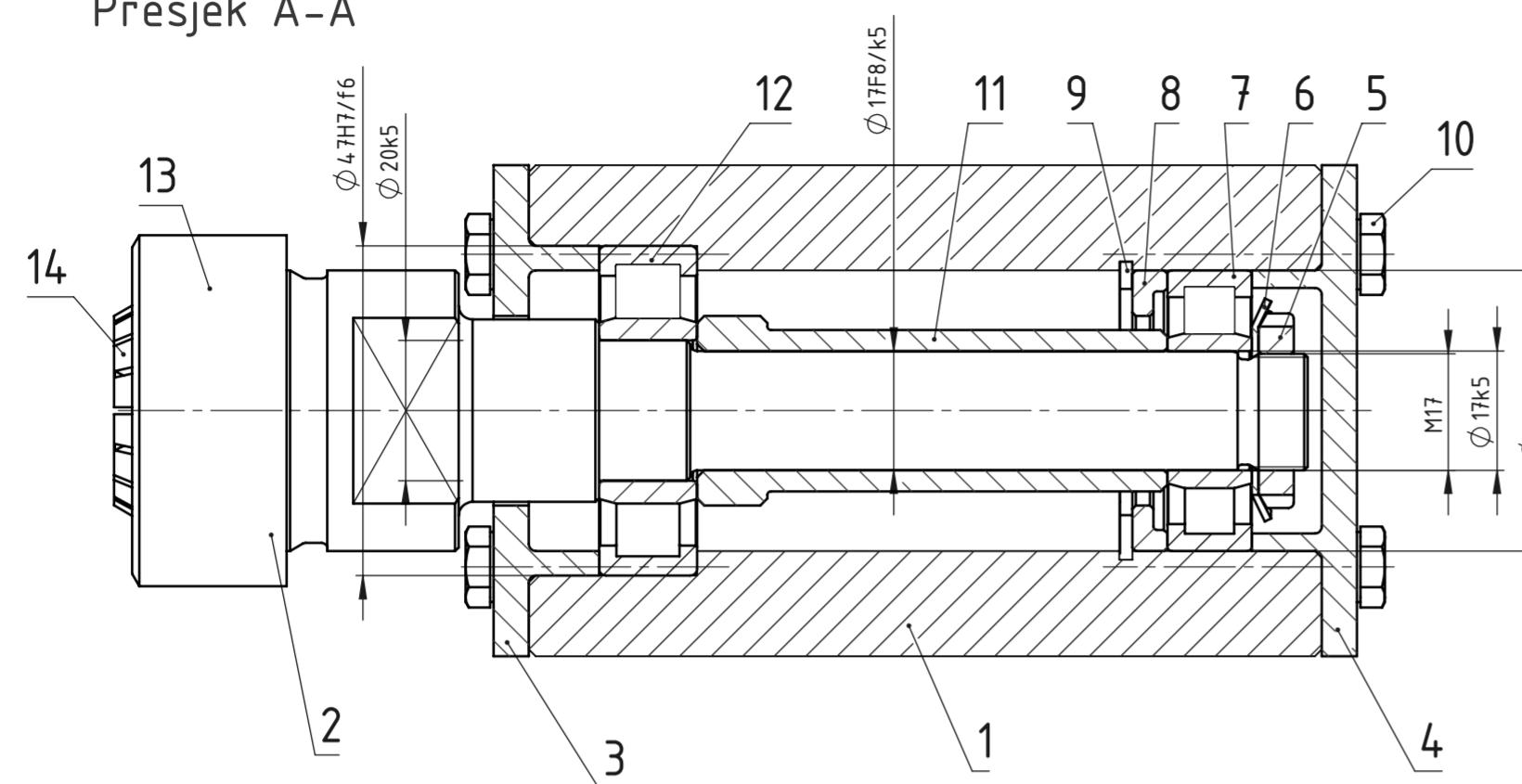
ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
$\varnothing 20k5$ +0,011 +0,002	Sklop nepomičnog dijela	
$\varnothing 28H7/f6$ +0,054 +0,002	Napomena:	R. N. broj:
$\varnothing 35H7/f6$ +0,066 +0,025	Materijal:	Masa: 5,15 kg

ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
$\varnothing 40H7/f6$ +0,066 +0,025	Sklop nepomičnog dijela	
$\varnothing 47H7/f6$ +0,066 +0,025	Napomena:	R. N. broj:
	Mjerilo originala	prof. Krešimir Vučković
	Matična skala	1
		Format: A2
		Listova: 1
		List: 1

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

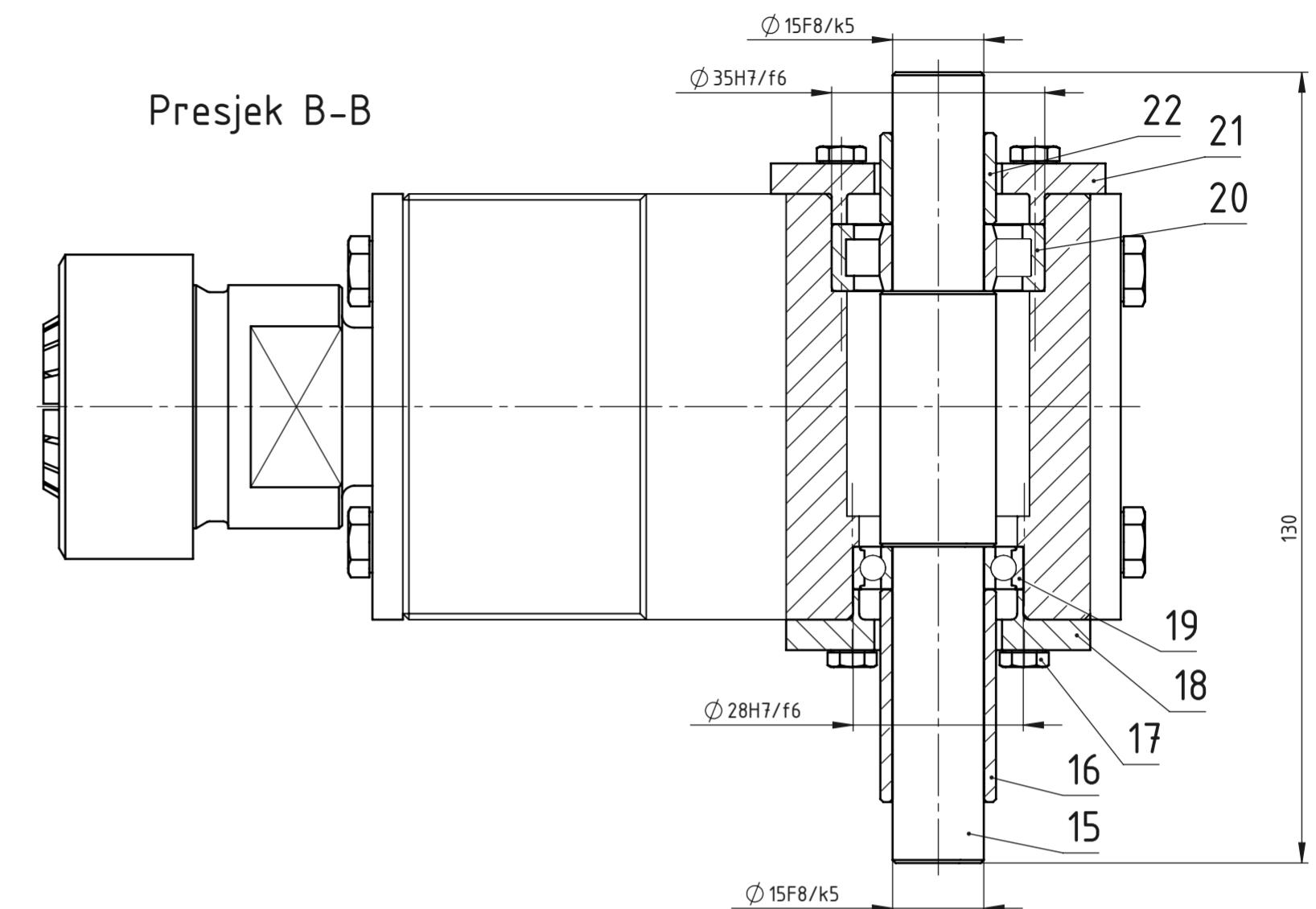
A

Presjek A-A

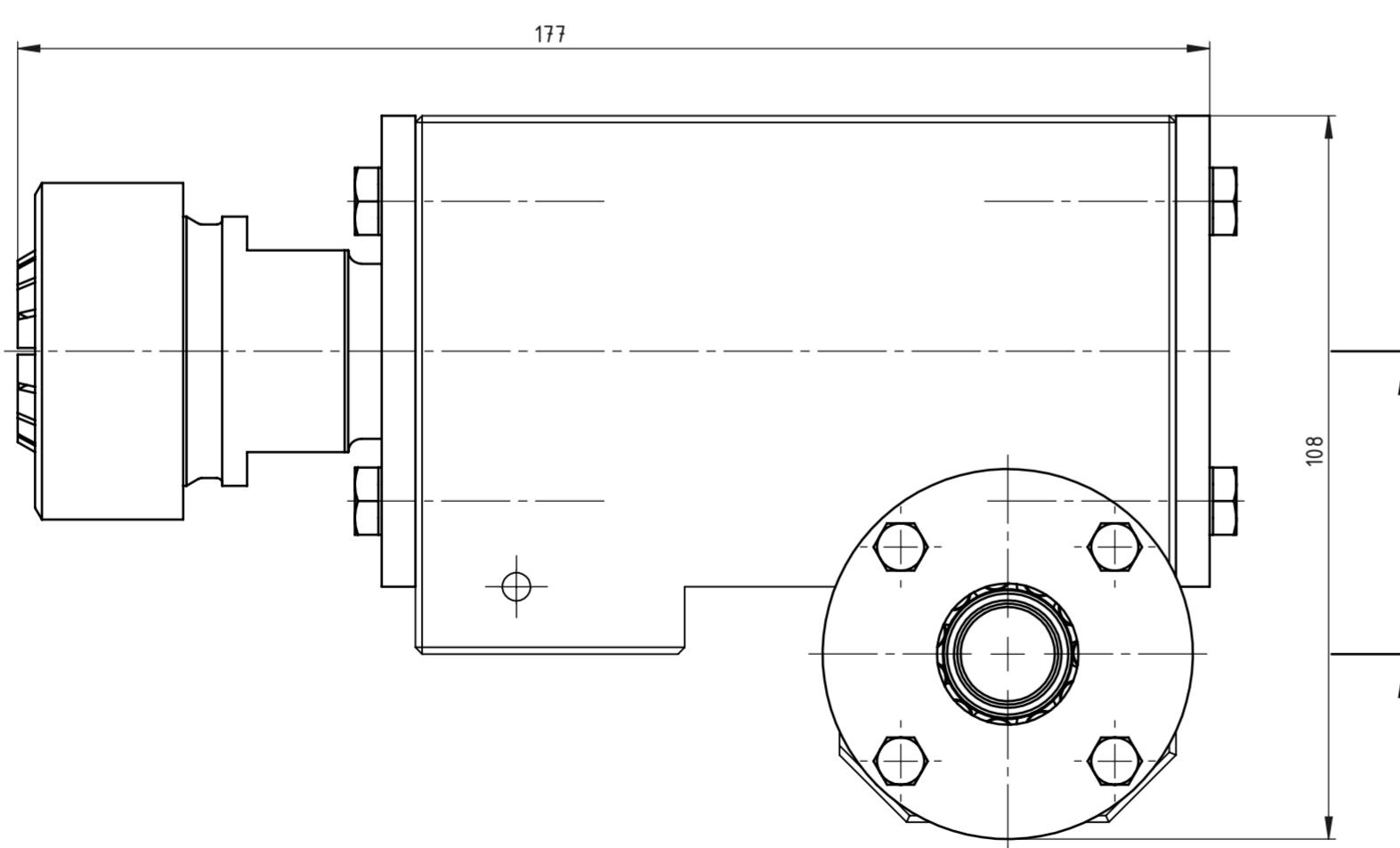


B

Presjek B-B



C



D

E

F

G

H

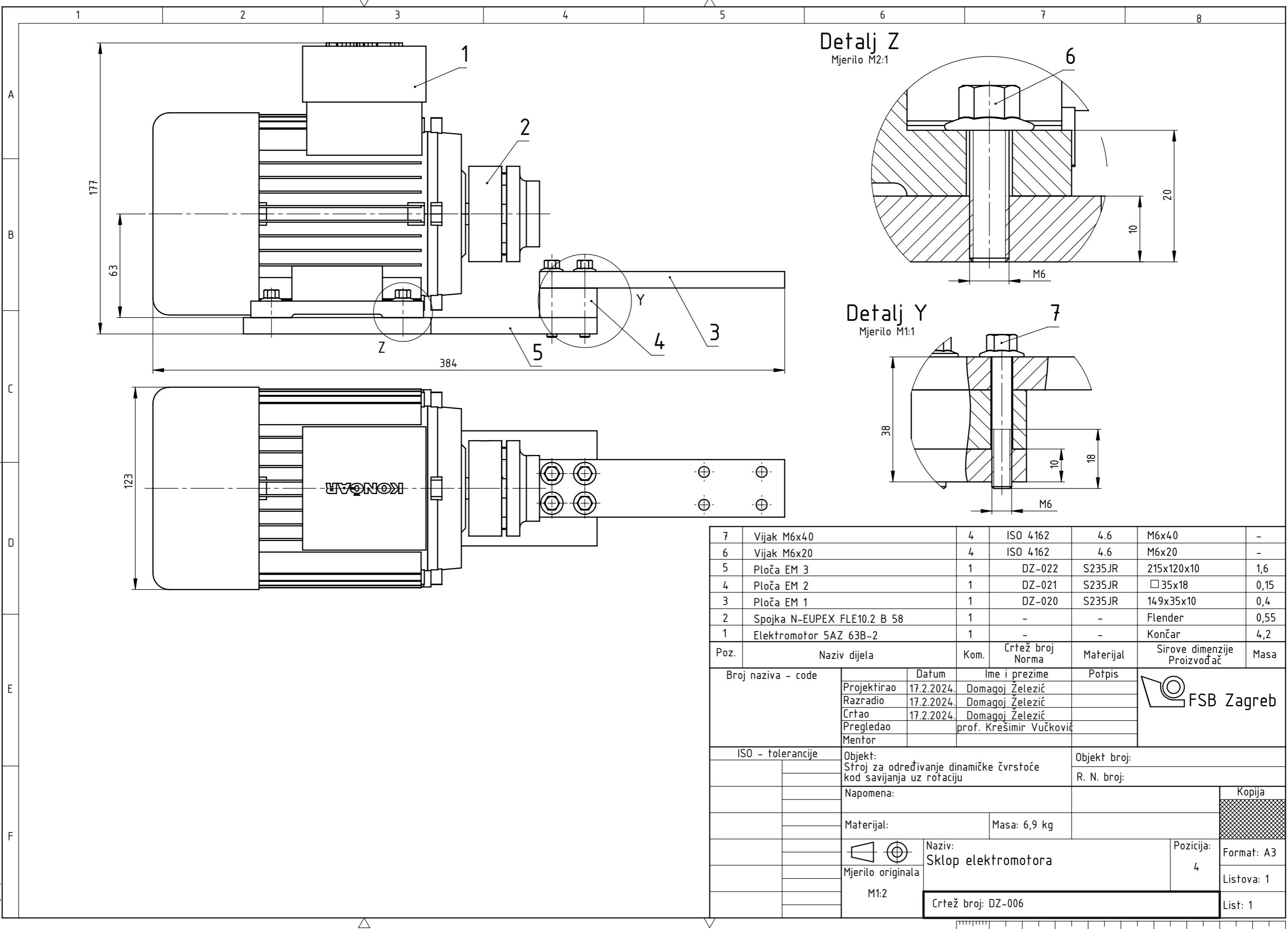
22	Odstojna čahura osovine 1	1	DZ-012	S235JR	$\phi 19 \times 15$	-
21	Prolazni poklopac osovine 1	1	DZ-025	S235JR	$\phi 55 / \phi 28 \times 10$	0,1
20	Ležaj NU 202 ECP	1	NU 202 ECP	-	$\phi 35 / \phi 15 \times 11$	-
19	Ležaj 61902 2RS1	1	61902	-	$\phi 28 / \phi 15 \times 7$	-
18	Prolazni poklopac osovine 2	1	DZ-026	S235JR	$\phi 50 / \phi 28 \times 10$	-
17	Pritezni vijak M4	8	ISO 4014	4.6	M4x25	-
16	Odstojna čahura osovine 2	1	DZ-013	S235JR	$\phi 17 \times 35$	-
15	Osovina	1	DZ-017	S235JR	$\phi 19 \times 130$	0,2
14	Stezna čahura	1	ISO 15488 32	-	-	-
13	Matica stezne čahure	1	ISO 15488 32	-	-	-
12	Ležaj NU 204 ECP	1	NU 204 ECP	-	$\phi 47 / \phi 20 \times 14$	-
11	Odstojna čahura vratila	1	DZ-014	S235JR	$\phi 27 / \phi 17 \times 7$	0,1
10	Pritezni vijak M6	8	ISO 4014	4.6	M6x30	-
9	Uskočnik	1	DIN 471	-	$\phi 42,5 \times 1,85$	-
8	Prsten ležaja	1	DZ-029	S235JR	$\phi 40 / \phi 27 \times 5$	-
7	Ležaj NU 203 ECP	1	NU 203 ECP	-	$\phi 40 / \phi 17 \times 12$	-
6	Zvjezdasti lim	1	DIN 5406	-	MB3	-
5	Matica ležaja	1	DIN 981	-	KM3	-
4	Zatvoreni poklopac vratila	1	DZ-034	S235JR	$\square 70 / \phi 40 \times 15$	0,2
3	Prolazni poklopac vratila	1	DZ-027	S235JR	$\square 70 / \phi 47 \times 15$	0,2
2	Vratilo 2	1	DZ-033	E360	$\phi 40 \times 161$	0,5
1	Kućište 2	1	DZ-009	S235JR	113x105x70	3,8
Poz.						
Naziv dijela						
Kom.						
Crtež broj Norma						
Datum						
Ime i prezime						
Projektirao						
Razradio						
Crtao						
Pregledao						
Objekt broj:						
R. N. broj:						
Objekt:						
Sklop pomčnog dijela						
Napomena:						
Materijal:						
Masa: 5,1 kg						
ISO - tolerancije						
$\phi 15F8/f5$						
+0,042						
+0,007						
$\phi 17k5$						
+0,009						
+0,001						
$\phi 17F8/k5$						
+0,042						
+0,007						
$\phi 20k5$						
+0,011						
+0,002						
$\phi 28H7/f6$						
+0,054						
+0,002						
$\phi 35H7/f6$						
+0,066						
+0,025						
Mjerilo originala						
M1:1						
Naziv:						
Sklop kućišta 2						
Pozicija:						
Format: A2						
1						
Listova: 1						
List: 1						

FSB Zagreb

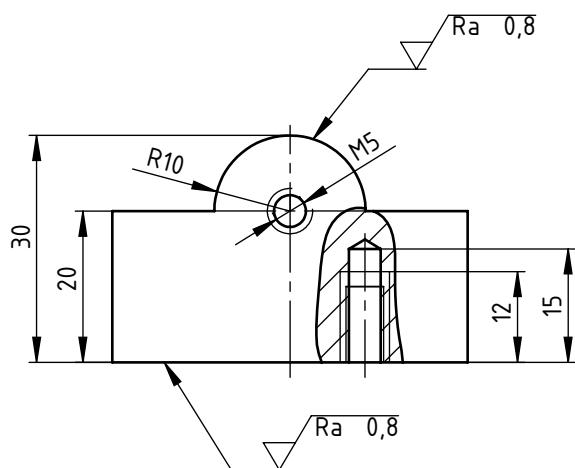
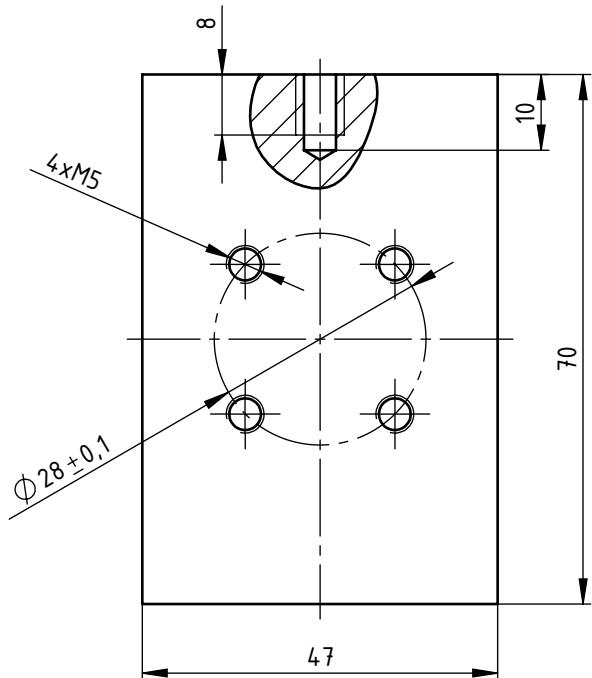
$\phi 40H7/f6$ +0,066 +0,025
 $\phi 47H7/f6$ +0,066 +0,025

$\phi 28H7/f6$ +0,054 +0,002
 $\phi 35H7/f6$ +0,066 +0,025

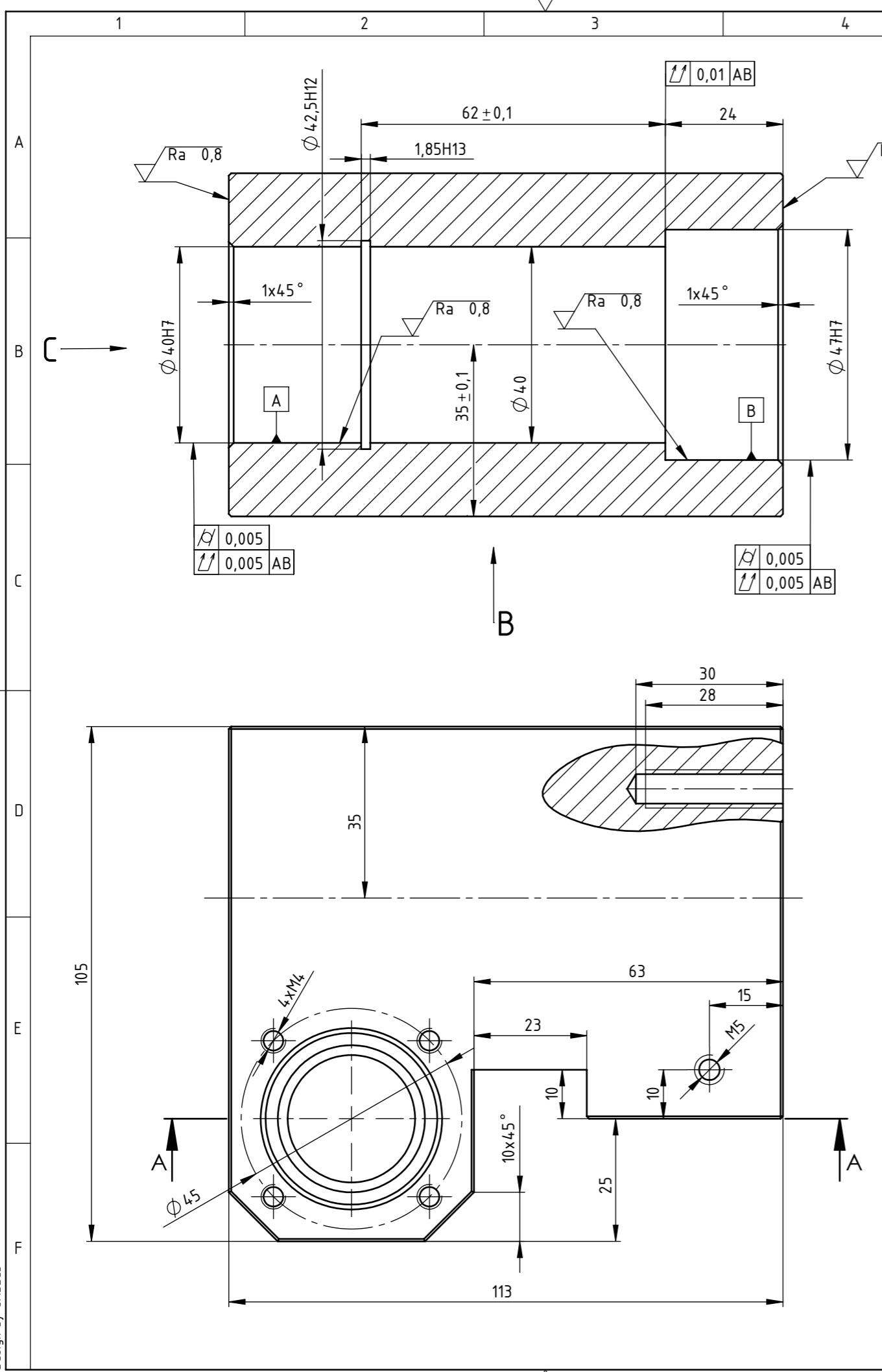
Mjerilo originala M1:1 Crtič broj: DZ-005



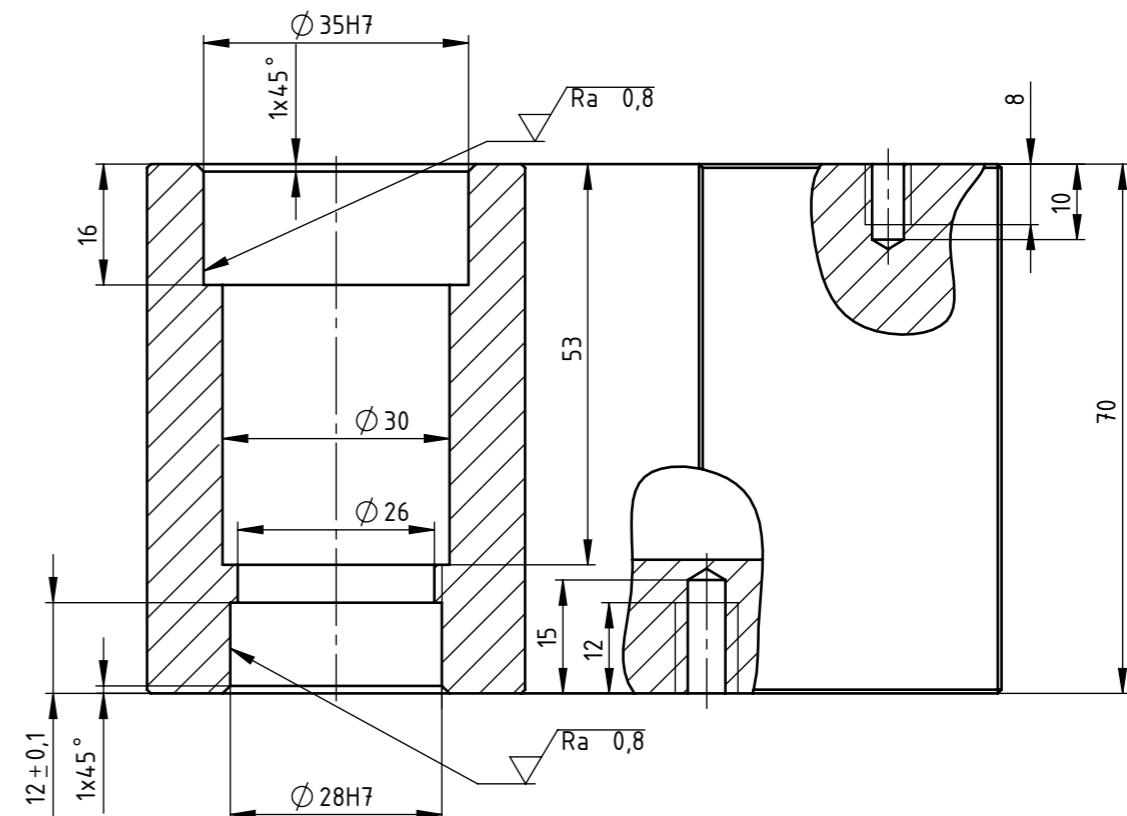
$\sqrt{Ra} 6,3$ ($\sqrt{Ra} 0,8$)



Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis
	Projektirao 17.2.2024.	Domagoj Želežić	
	Razradio 17.2.2024.	Domagoj Želežić	
	Črtao 17.2.2024.	Domagoj Želežić	
	Pregledao	prof. Krešimir Vučković	
ISO - tolerancije		Objekt: Sklop nepomičnog/pomičnog dijela	Objekt broj: R. N. broj:
		Napomena: Pobrusiti oštре rubove.	Kopija
		Materijal: S235JR	Masa: 0,6 kg
		Mjerilo originala M1:1	Naziv: Gurajuća pločica Pozicija: 8 Format: A4 Listova: 1
		Crtež broj: DZ-007	
Design by CADLab			



Presjek A-A



Napomena: Sva nekotirana skošenja su $0,5 \times 45^\circ$.

Pobrusiti oštreye rubo

Svi navozi M4 su jednake duljine.

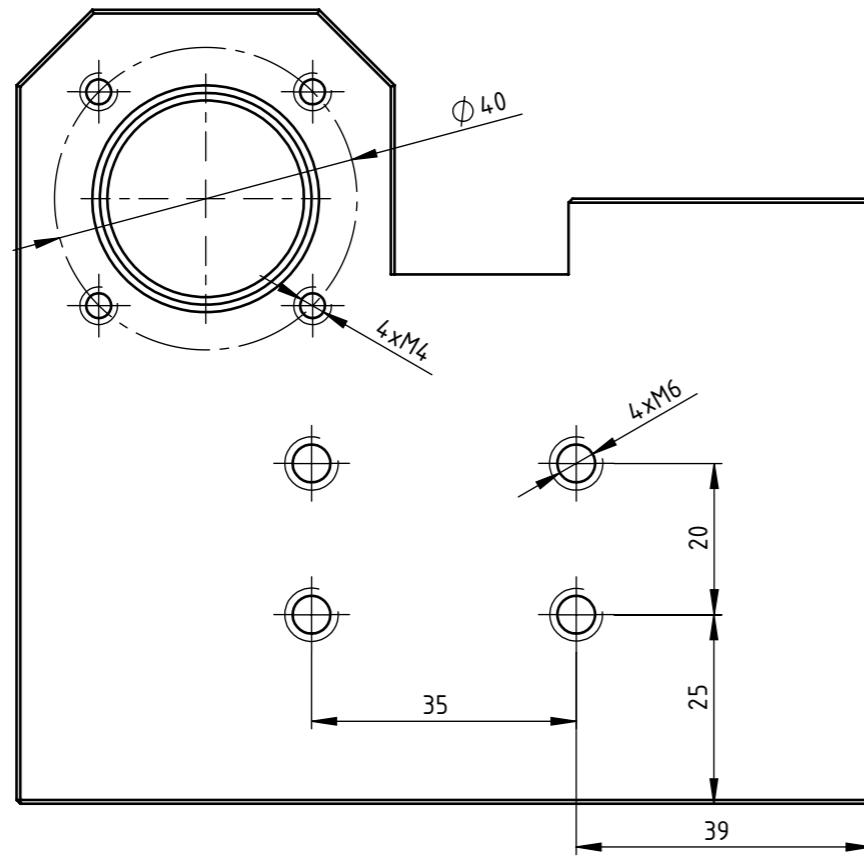
Navoji M6 se nalaze s obje strane kućišta i iste su duljine

Navedeno se nađe u objektu kućista 1 iste sa datume:					
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	
		Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	 FSB Zagreb
		Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
		Crtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
		Pregledao		prof. Krešimir Vučković	
Mentor					
ISO - tolerancije		Objekt:	Objekt broj:		
1,85H13	+0,14	Sklop kućišta 1	R. N. broj:		
	0				
Ø 28H7	+0,021	Napomena:		Kopija	
	0				
Ø 35H7	+0,025	Materijal: S235JR	Masa: 3,8 kg		
	0				
Ø 40H7	+0,025		Naziv: Kućište 1	Pozicija:	
	0			1	
Ø 42,5H11	+0,16	Mjerilo originala		Format: A3	
	0				
Ø 47H7	+0,025	M1:1	Crtež broj: DZ-008	Listova: 2	
	0				
List: 1					

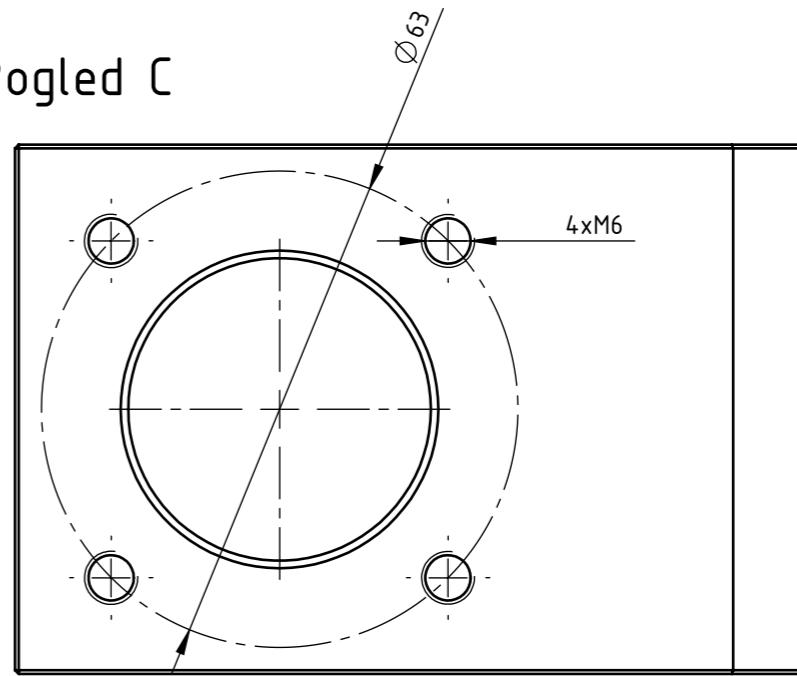
1 2 3 4 5 6 7 8

A
B
C
D
E
F

Pogled B

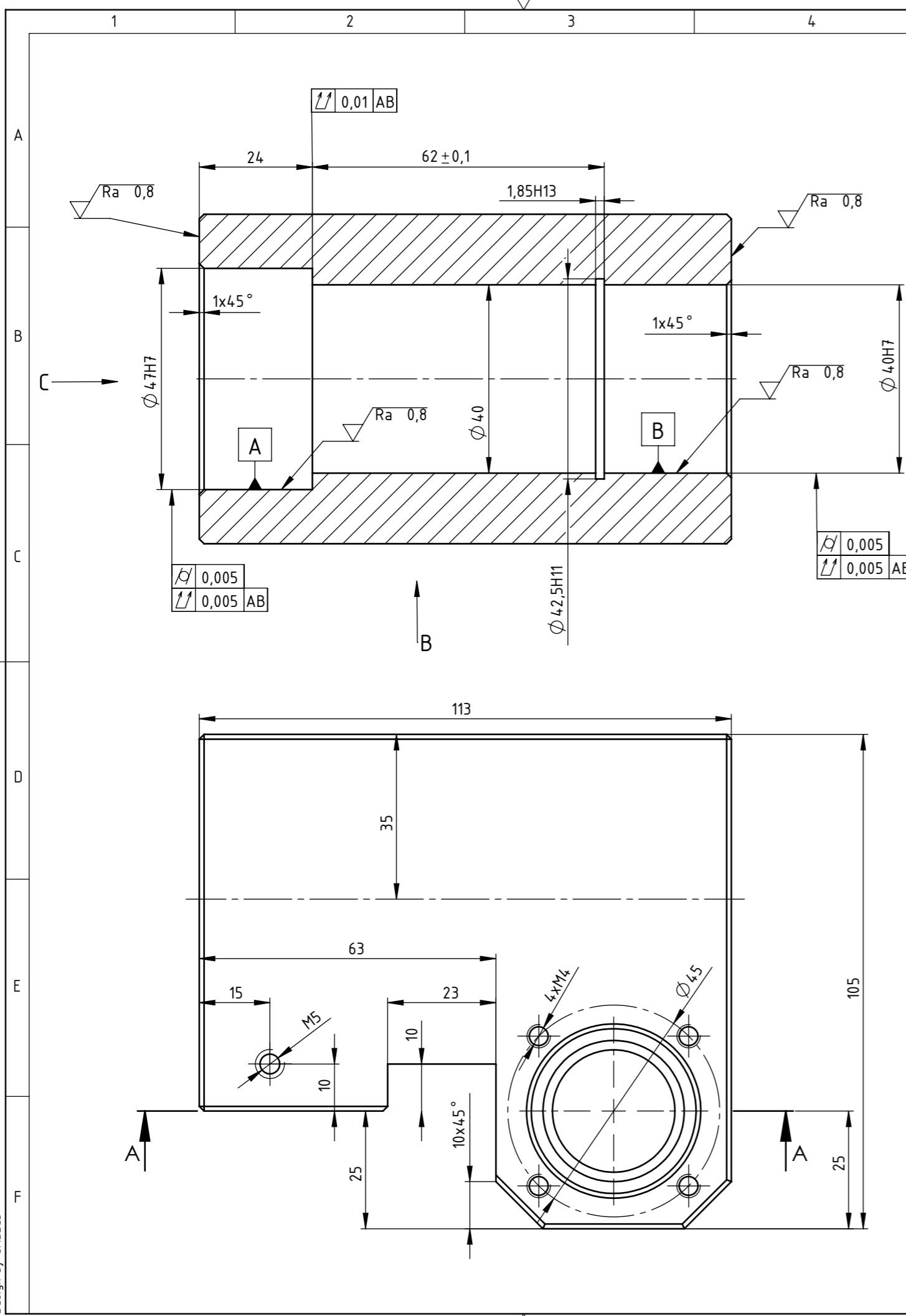


Pogled C

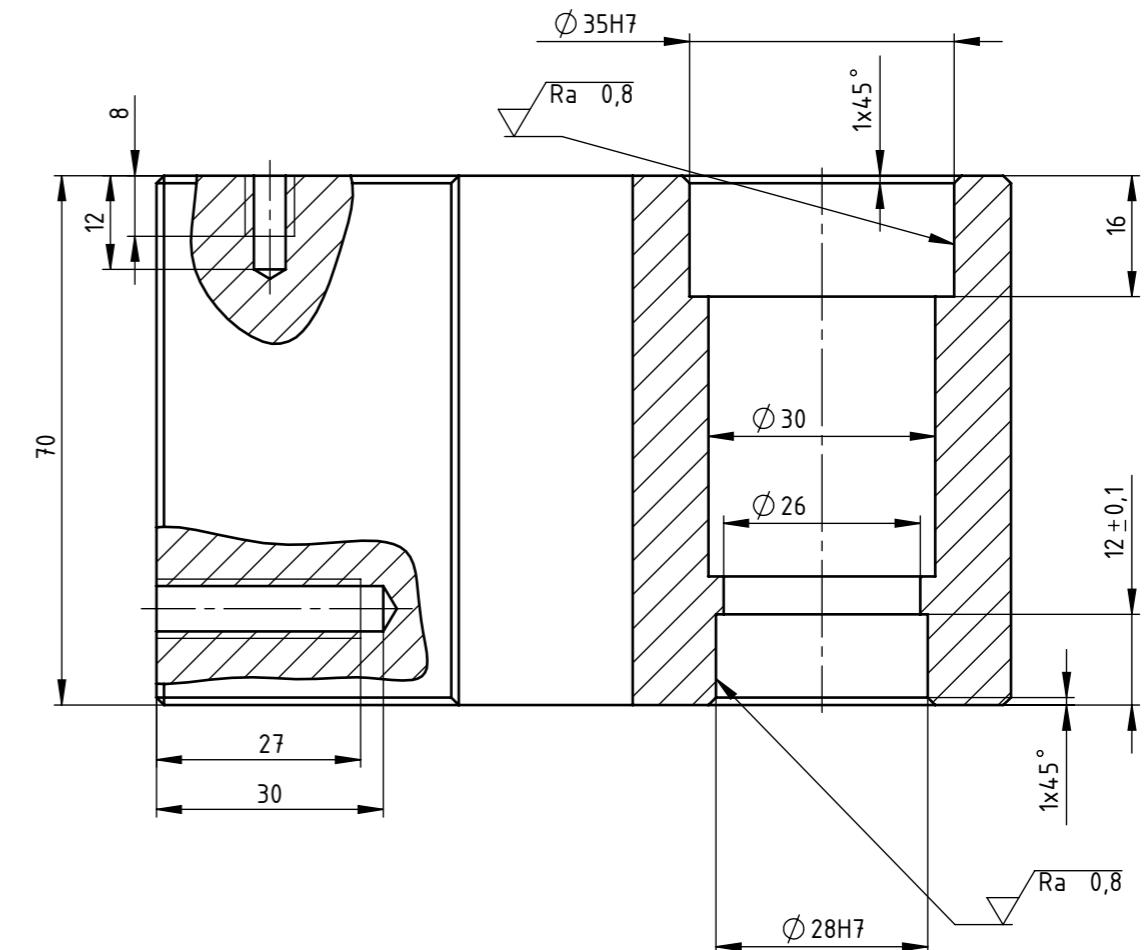


Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Crtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Pregledao		prof. Krešimir Vučković	
Mentor			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:
1,85H13	+0,14 0	Sklop kućišta 1	R. N. broj:
$\phi 28H7$	+0,021 0	Napomena:	
$\phi 35H7$	+0,025 0	Materijal: S235JR	Masa: 3,8 kg
$\phi 40H7$	+0,025 0	Naziv: Kućište 1	Pozicija: 1
$\phi 42,5H11$	+0,16 0	Mjerilo originala M1:1	Format: A3
$\phi 47H7$	+0,025 0		Listova: 2
			List: 2
		Crtanje broj: DZ-008	

FSB Zagreb



Presjek A-A

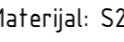


Napomena: Sva nekotirana skošenja su $0,5 \times 45^\circ$.

Pobrusiti oštreye rubove.

Svi navozi M4 su jednake duljine.

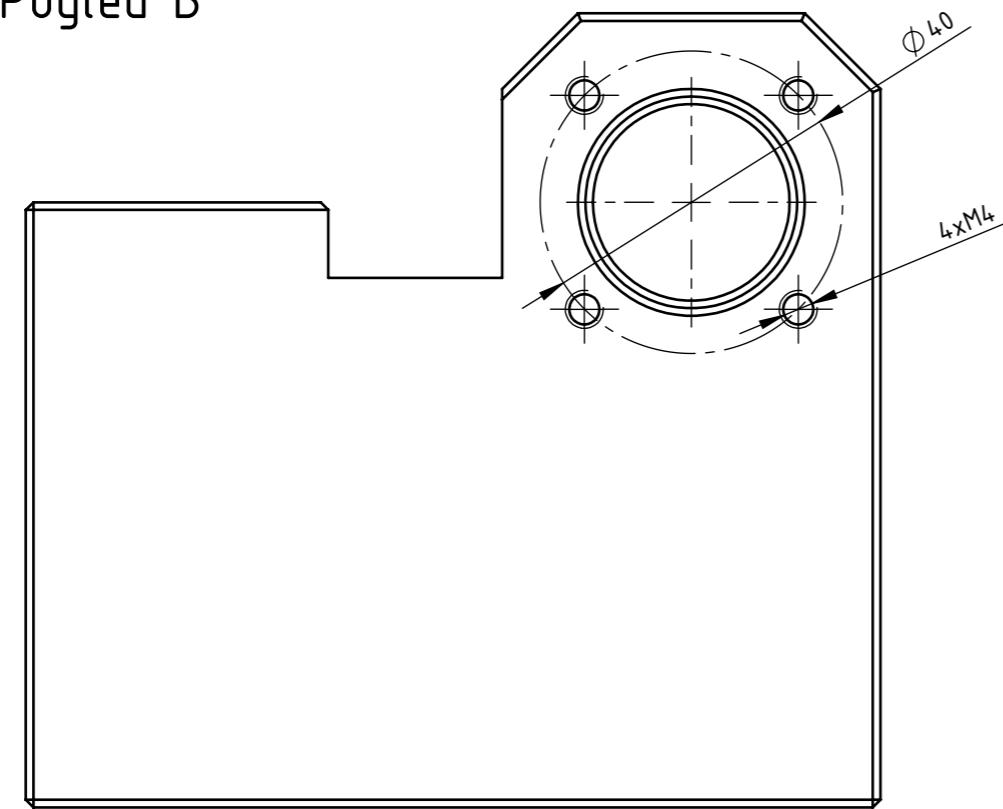
Navoji M6 se nalaze s obje strane kućišta i iste su duljine.

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
Projektirao		17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Razradio		17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Crtao		17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Pregledao			prof. Krešimir Vučković			
Mentor						
ISO - tolerancije		Objekt: Sklop kućišta 2		Objekt broj:		
1,85H13	+0,14			R. N. broj:		
	0					
\emptyset 28H7	+0,021	Napomena:			Kopija	
	0					
\emptyset 35H7	+0,025	Materijal: S235JR		Masa: 3,8 kg		
	0					
\emptyset 40H7	+0,025		Naziv: Kućište 2		Pozicija:	
	0					1
\emptyset 42,5H11	+0,16	 Mjerilo originala			Format: A3	
	0					
\emptyset 47H7	+0,025			Crtanje broj: DZ-009		Listova: 2
	0					
					List: 1	

1 2 3 4 5 6 7 8

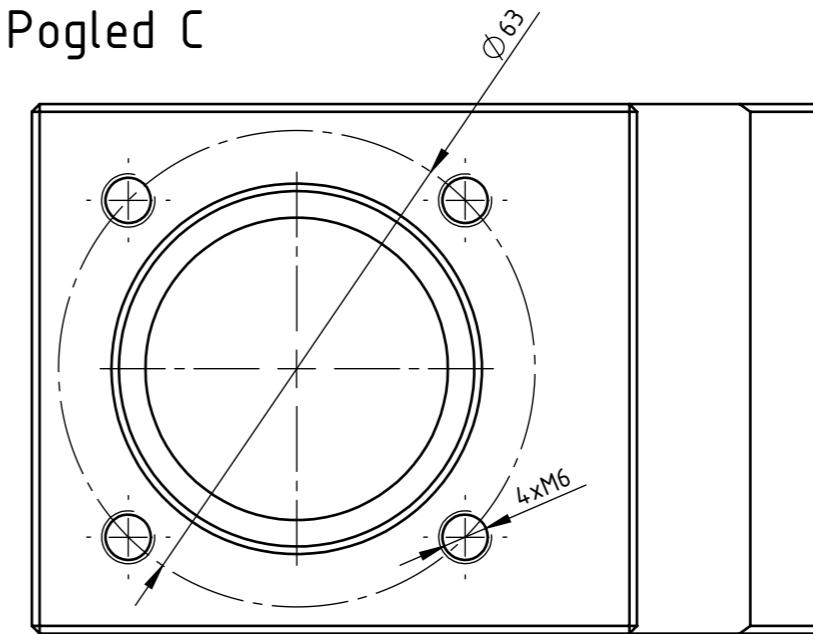
A

Pogled B



B

Pogled C



C

D

E

Design by CADlab

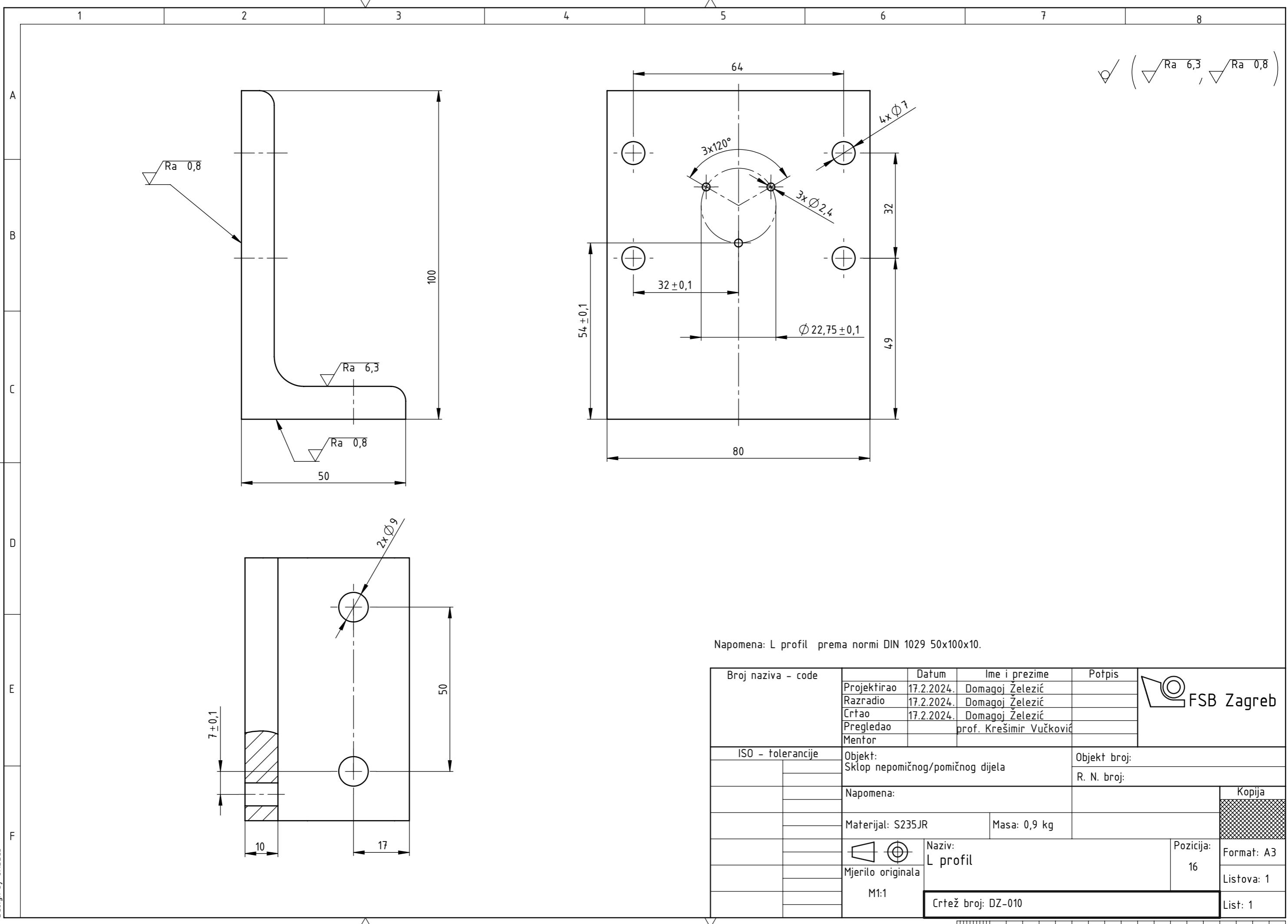
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Crtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Pregledao		prof. Krešimir Vučković	
Mentor			

ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
1,85H13	+0,14 0	Sklop kućišta 2
Ø 28H7	+0,021 0	Napomena:
Ø 35H7	+0,025 0	Materijal: S235JR
Ø 40H7	+0,025 0	Masa: 3,8 kg
Ø 42,5H11	+0,16 0	
Ø 47H7	+0,025 0	

Mjerilo originala	Naziv:	Pozicija:
M1:1	Kućište 2	1
		Format: A3
		Listova: 2
		List: 2

Crtež broj: DZ-009

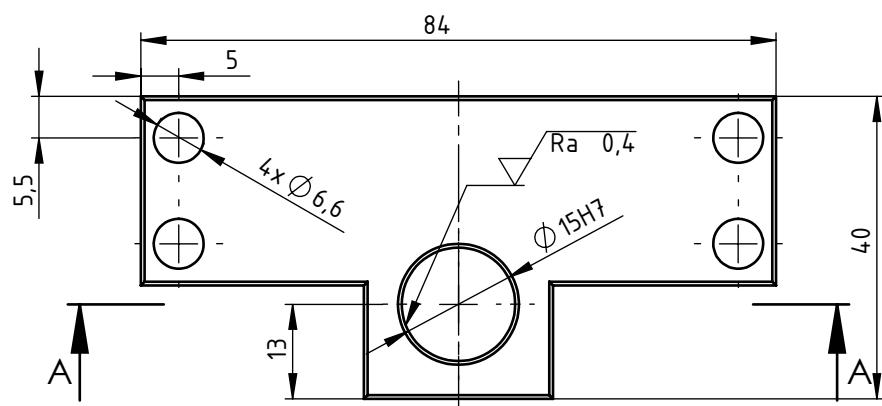
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100



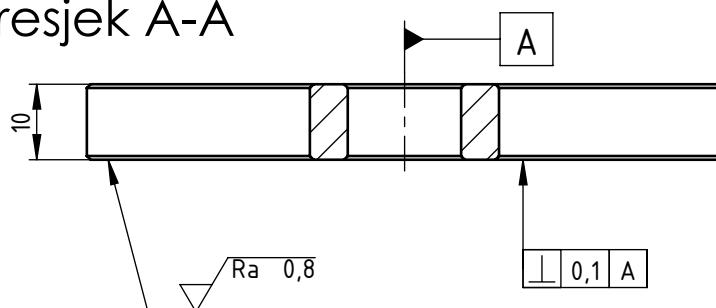
Napomena: L profil prema normi DIN 1029 50x100x10.

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
	Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao		prof. Krešimir Vučković		
Mentor					
ISO - tolerancije	Objekt: Sklop nepomičnog/pomičnog dijela		Objekt broj:		
			R. N. broj:		
	Napomena:			Kopija	
	Materijal: S235JR		Masa: 0,9 kg		
	  Mjerilo originala		Naziv: L profil	Pozicija: 16	
	M1:1		Crtanje broj: DZ-010	Format: A3 Listova: 1	
				List: 1	

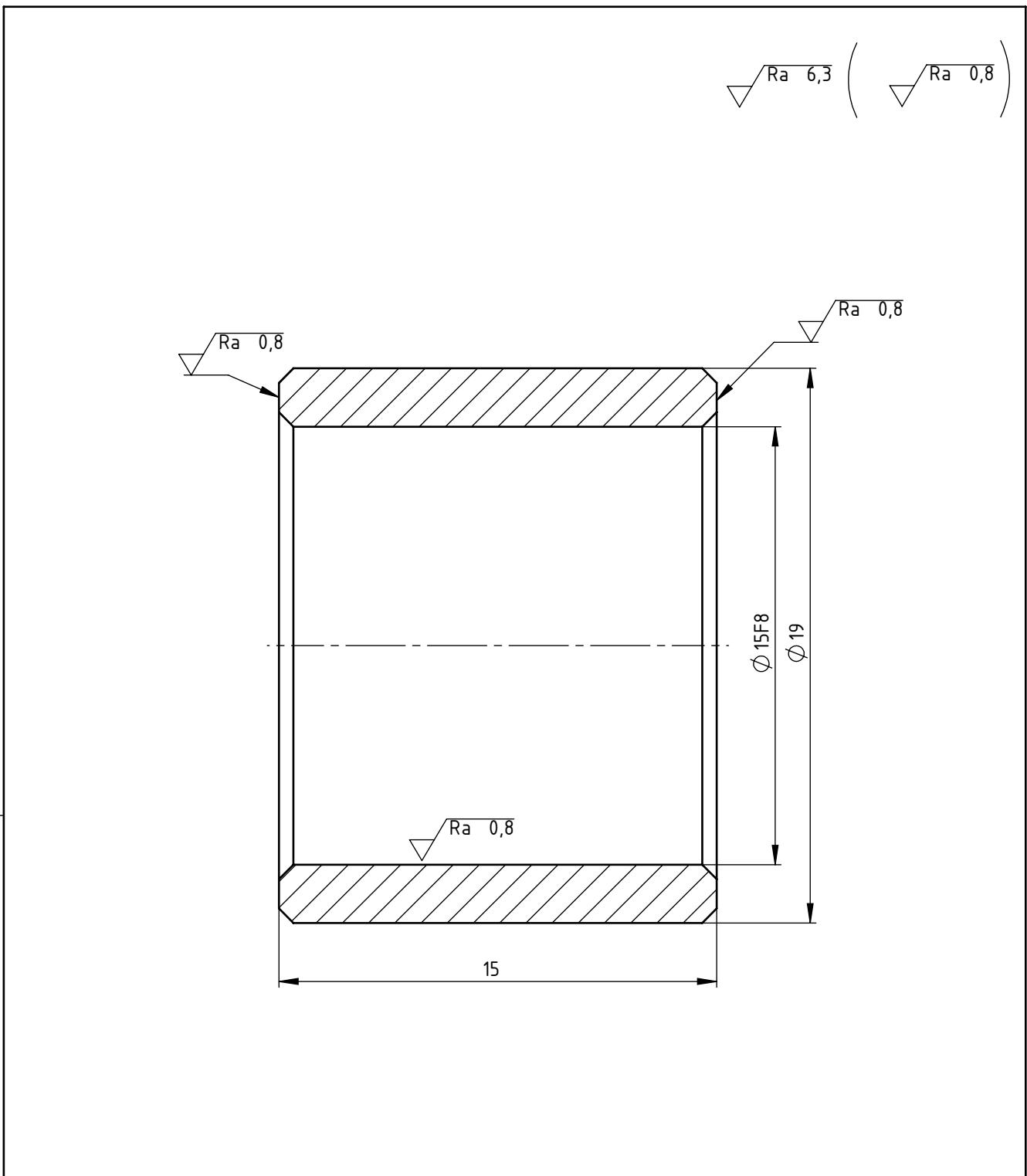
$$\text{Ra } 6,3 \left(\begin{array}{c} \text{Ra } 0,8 \\ / \\ \text{Ra } 0,4 \end{array} \right)$$



Presjek A-A

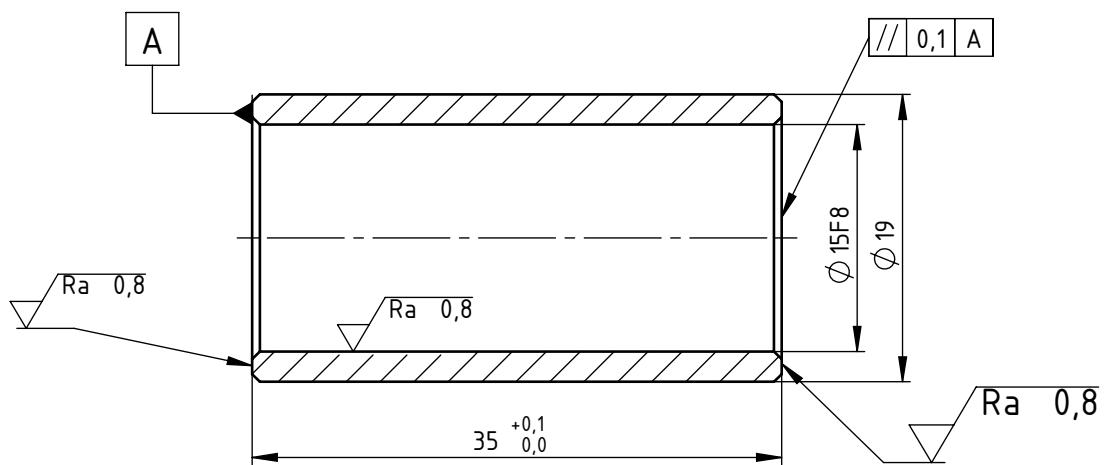


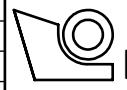
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
Projektirao		17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Razradio		17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Črtao		17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Pregledao			prof. Krešimir Vučković			
ISO - tolerancije		Objekt: Sklop pomičnog/nepomičnog dijela		Objekt broj:		
$\varnothing 15H7$ $+0,018$ 0			R. N. broj:			
	Napomena: Sva skošenja su $0,5 \times 45^\circ$.				Kopija	
	Materijal: S235JR		Masa: 0,2 kg			
	 	Naziv: Nosač osovine			Pozicija: 2	Format: A4
	Mjerilo originala					Listova: 1
	M1:1		Crtež broj: DZ-011			List: 1

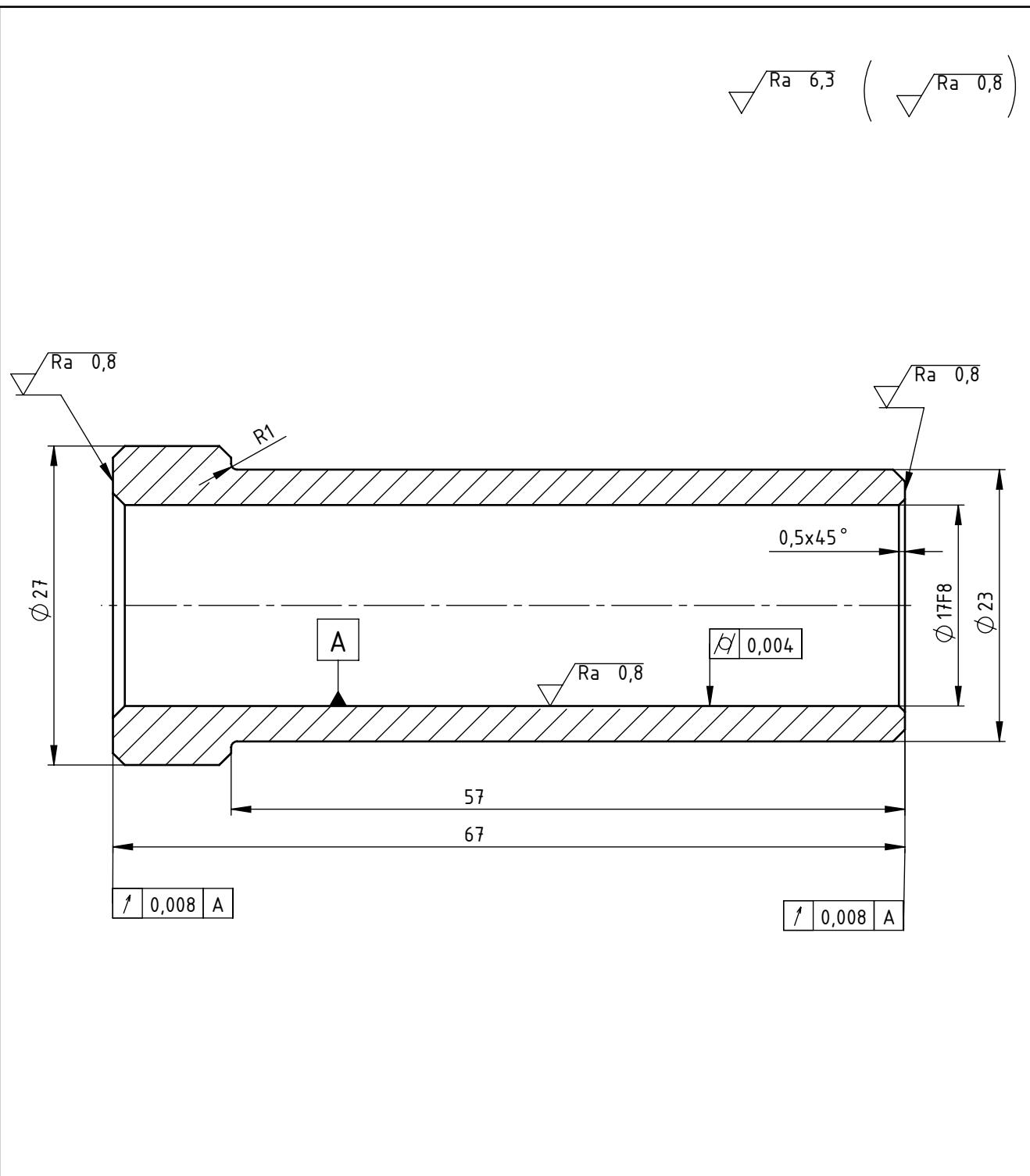


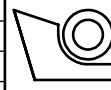
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
		Projektirao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
		Razradio 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
		Črtao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
		Pregledao	prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije		Objekt: Sklop kućišta 1/2		Objekt broj:	
$\phi 15F8$				R. N. broj:	
		Napomena: Sva skošenja iznose $0,5 \times 45^\circ$.			Kopija
		Materijal: S35JR		Masa:	
		 Mjerilo originala M5:1		Naziv: Odstojna čahura osovine 1	Pozicija: 23 22
					Format: A4
					Listova: 1
				Crtež broj: DZ-012	
Design by CADLab				List: 1	

$\nabla \text{Ra } 6,3$ ($\nabla \text{Ra } 0,8$)

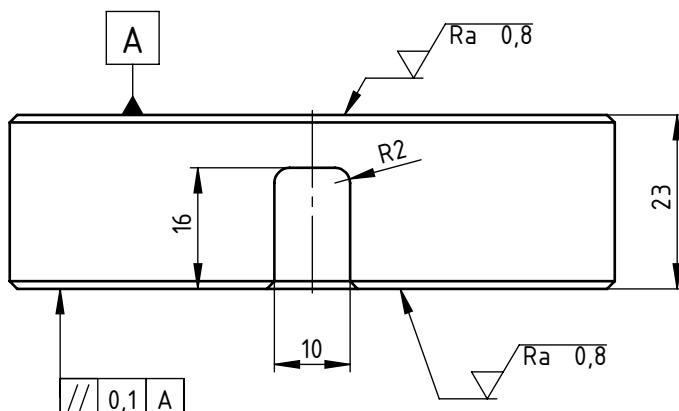
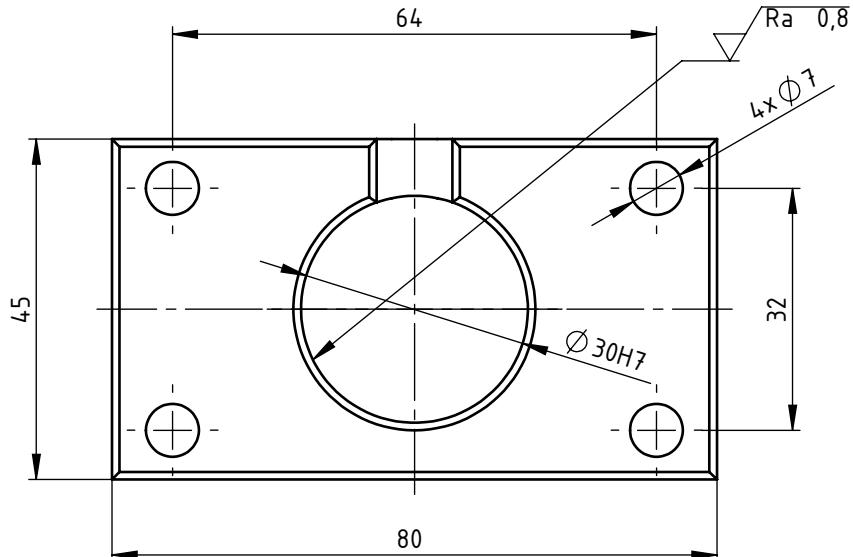


Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Železić		
	Razradio	17.2.2024.	Domagoj Železić		
	Črtao	17.2.2024.	Domagoj Železić		
	Pregledao		prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije	Objekt: Sklop kućišta 1/2		Objekt broj:		
Ø 15F8	+0,043 +0,016		R. N. broj:		
	Napomena: Sva skošenja su $0,5 \times 45^\circ$.				Kopija
	Materijal: S235JR		Masa:		
	 Mjerilo originala M2:1	Naziv: Odstojna čahura osovine 2			Pozicija: 17 16
Design by CADLab		Crtež broj: DZ-013			Format: A4 Listova: 1 List: 1



Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao		prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije		Objekt: Sklop kućišta 1/2		Objekt broj:	
$\varnothing 17F8$ +0,043 +0,016				R. N. broj:	
		Napomena: Sva skošenja su 1x45°.			Kopija
		Materijal: S235JR		Masa: 0,1 kg	
		 Mjerilo originala M2:1		Naziv: Odstojna čahura vratila	Pozicija: 9 11
		Crtež broj: DZ-014			Format: A4
					Listova: 1
Design by CADLab					List: 1

∇ Ra 6,3 (∇ Ra 0,8)

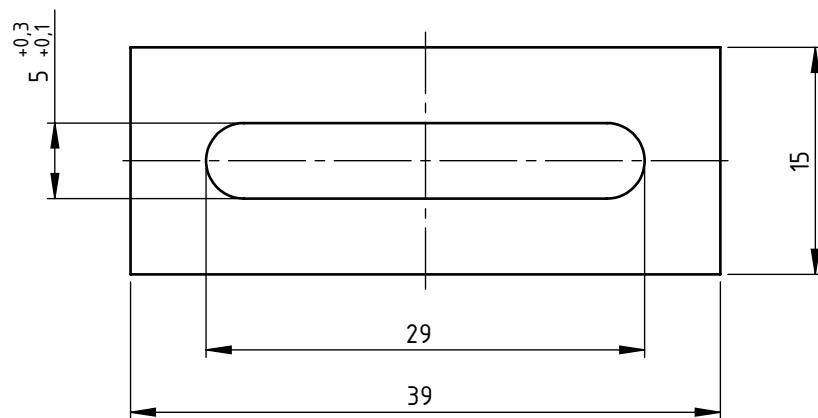


Napomena: Sva skošenja su 1x45°.

Pobrusiti oštре rubove.

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao		prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije	Objekt: Sklop nepomičnog/pomičnog dijela		Objekt broj:		
Ø 30H7	+0,021		R. N. broj:		
	0				
		Napomena:			Kopija
		Materijal: S235JR	Masa: 0,4 kg		
Design by CADlab		Naziv: Odstojnik cilindra	Pozicija: 12	Format: A4	
	Mjerilo originala M1:1			Listova: 1	
		Crtež broj: DZ-015		List: 1	

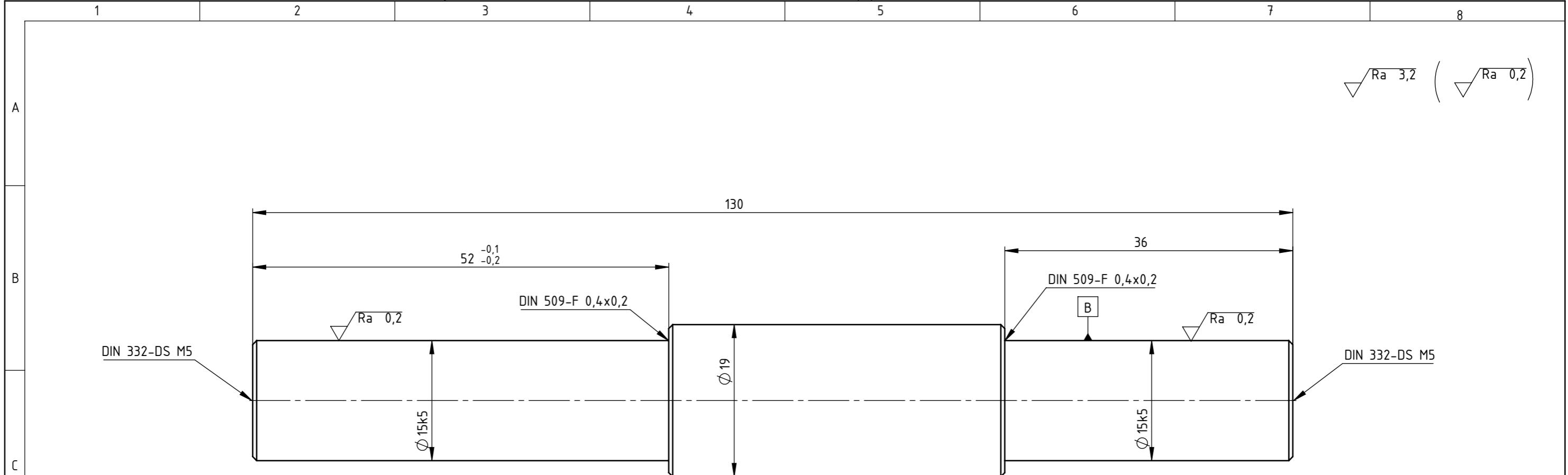
Ra 6,3



Napomena: Pobrusiti oštре rubove.
Debljina pločice t=3 mm.

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Projektirao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao	prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije	Objekt: Sklop nepomičnog/pomičnog dijela	Objekt broj:		
		R. N. broj:		
	Napomena:			Kopija
	Materijal: S235JR	Masa:		
		Naziv: Osiguravajuća pločica	Pozicija: 3	Format: A4
Design by CADlab	Mjerilo originala M1:2	Crtež broj: DZ-016		Listova: 1
				List: 1

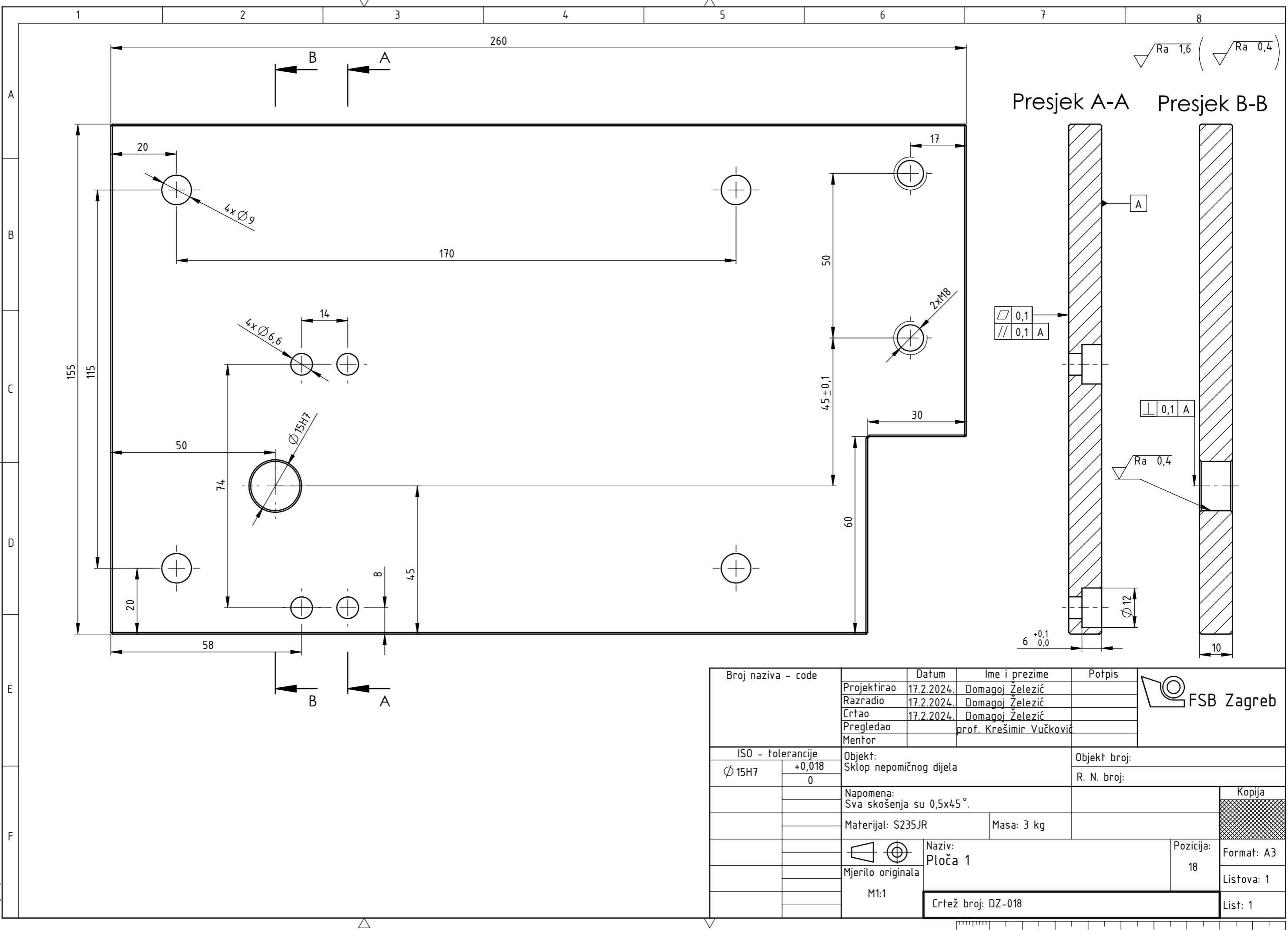
1 2 3 4 5 6 7 8

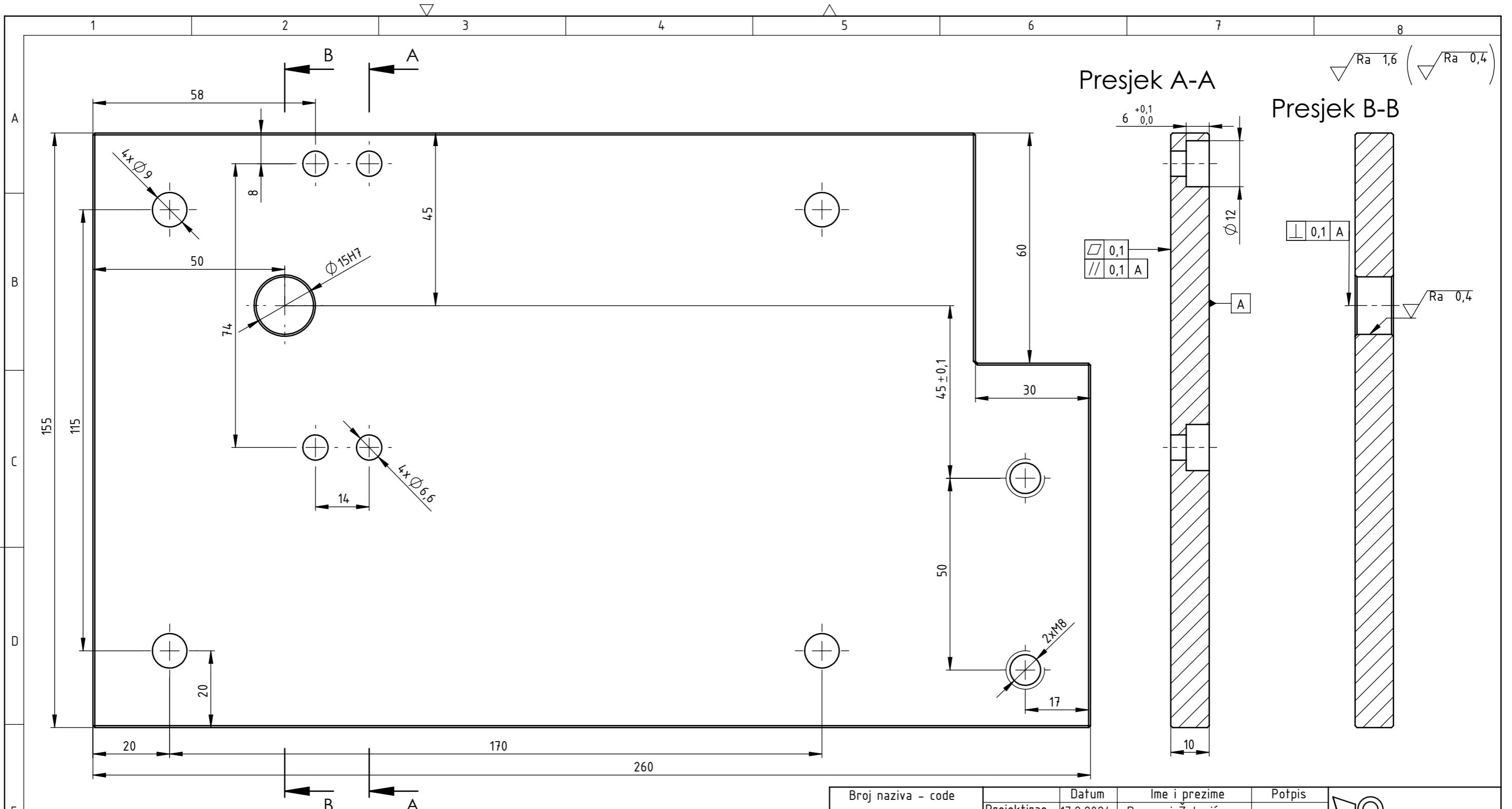


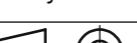
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Crtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Pregledao		prof. Krešimir Vučković	
Mentor			

ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
$\phi 15k5$	+0,009 +0,001	Sklop kućišta 1/2
		R. N. broj:
	Napomena: Sva skošenja su $0,5 \times 45^\circ$.	
	Materijal: S235JR	Masa: 0,2 kg
		Kopija

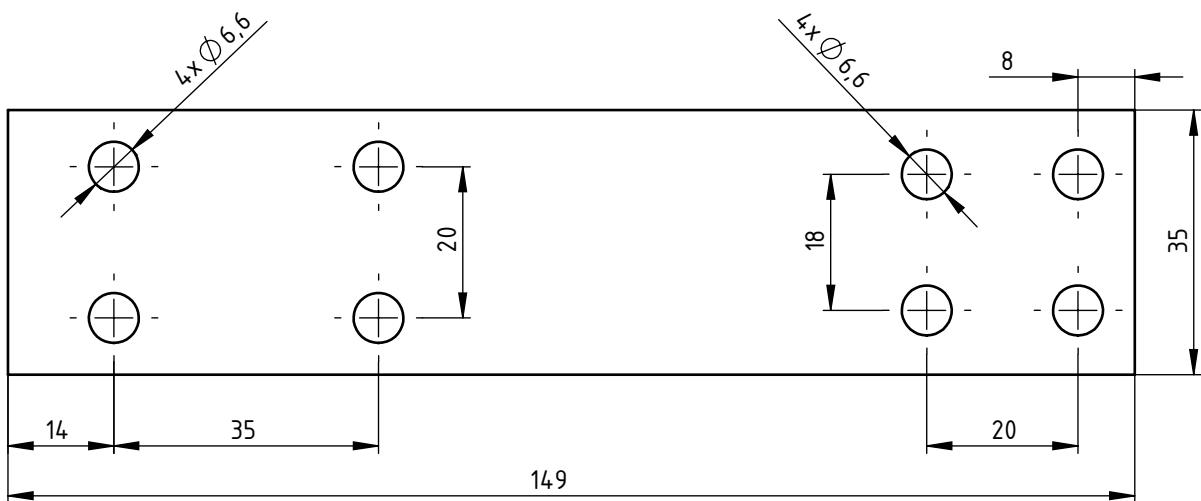
Mjerilo originala	Naziv:	Pozicija:	Format: A3
M2:1	Osovina	16 15	Listova: 1
			List: 1
	Crtanje broj: DZ-017		





Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
		Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
		Črtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
		Pregledao		prof. Krešimir Vučković		
		Mentor				
ISO - tolerancije		Objekt: Sklop pomičnog dijela		Objekt broj:		
∅ 15H7	+0,018			R. N. broj:		
	0					
	Napomena: Sva skošenja su 0,5x45°.				Kopija	
	Materijal: S235JR			Masa: 3 kg		
	 Mjerilo originala M1:1	Naziv: Ploča 2			Pozicija:	
					18	Format: A3
		Crtež broj: DZ-019				Listova: 1

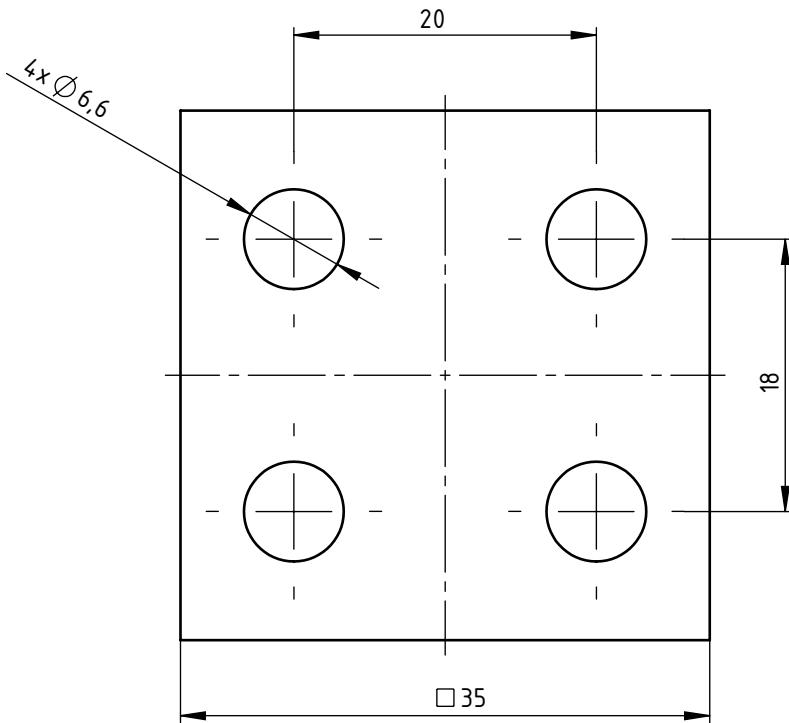
Ra 6,3



Napomena: Sve rubove pobrusiti.
Debljina ploče t=10 mm.

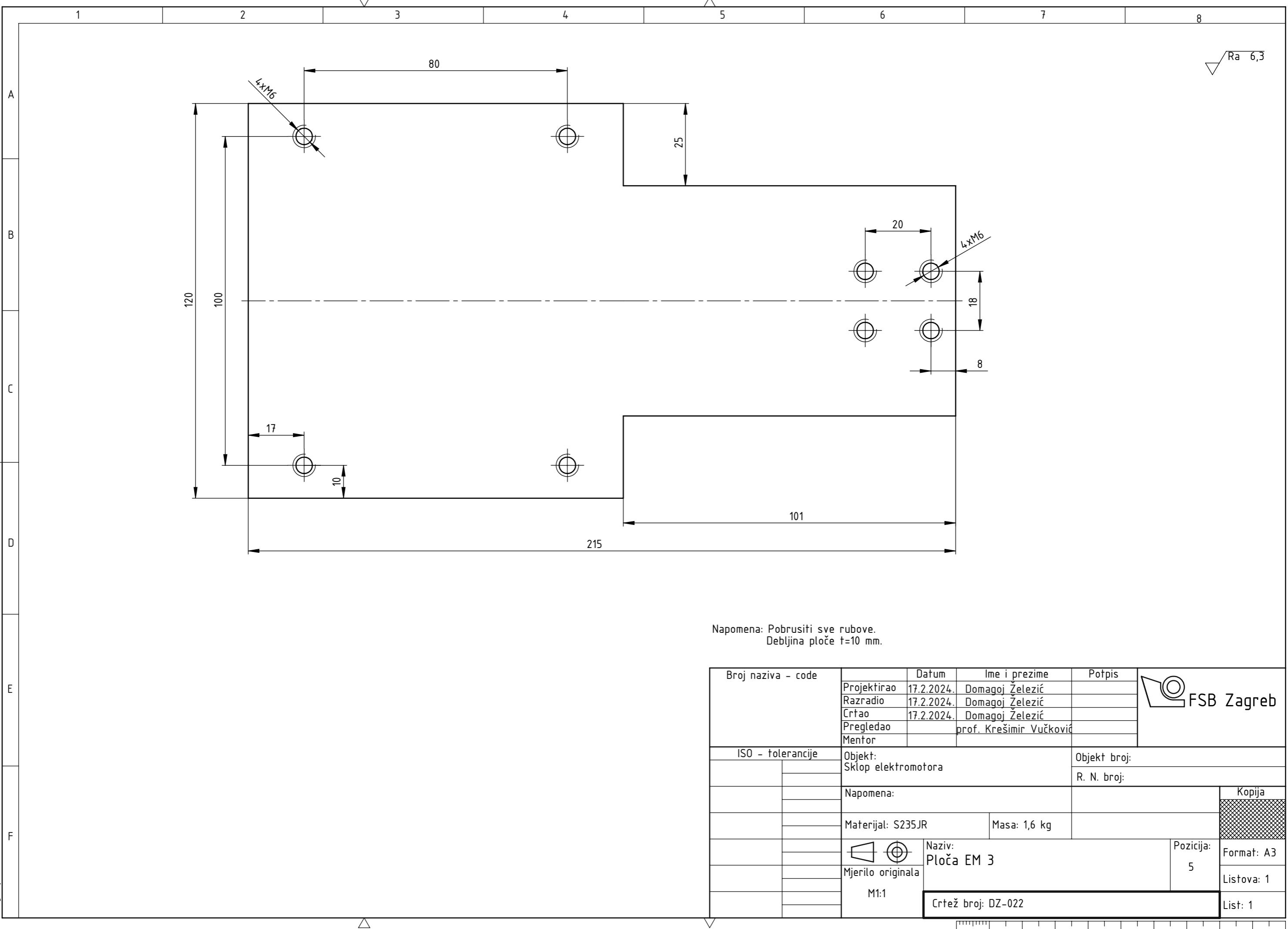
Broj naziva - code	Date	Name	Signature	FSB Zagreb
	Projektirao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao prof. Krešimir Vučković			
ISO - tolerancije	Objekt: Sklop elektromotora	Objekt broj:		
		R. N. broj:		
	Napomena:			Kopija
	Materijal: S235JR	Masa: 0,4 kg		
	Mjerilo originala M1:1	Naziv: Ploča EM 1	Pozicija: 3	Format: A4 Listova: 1
Design by CADLab		Crtež broj: DZ-020		List: 1

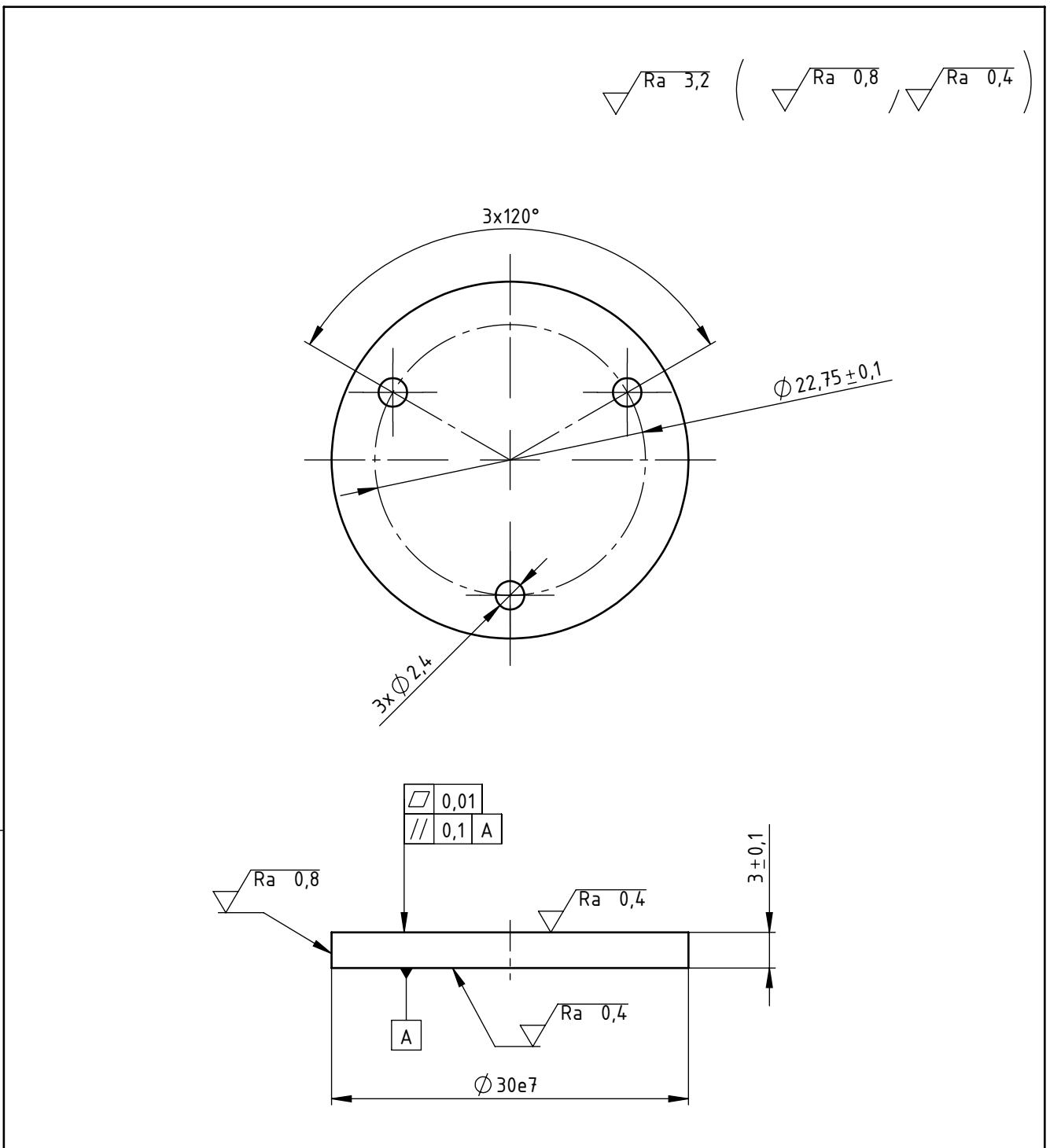
Ra 6,3



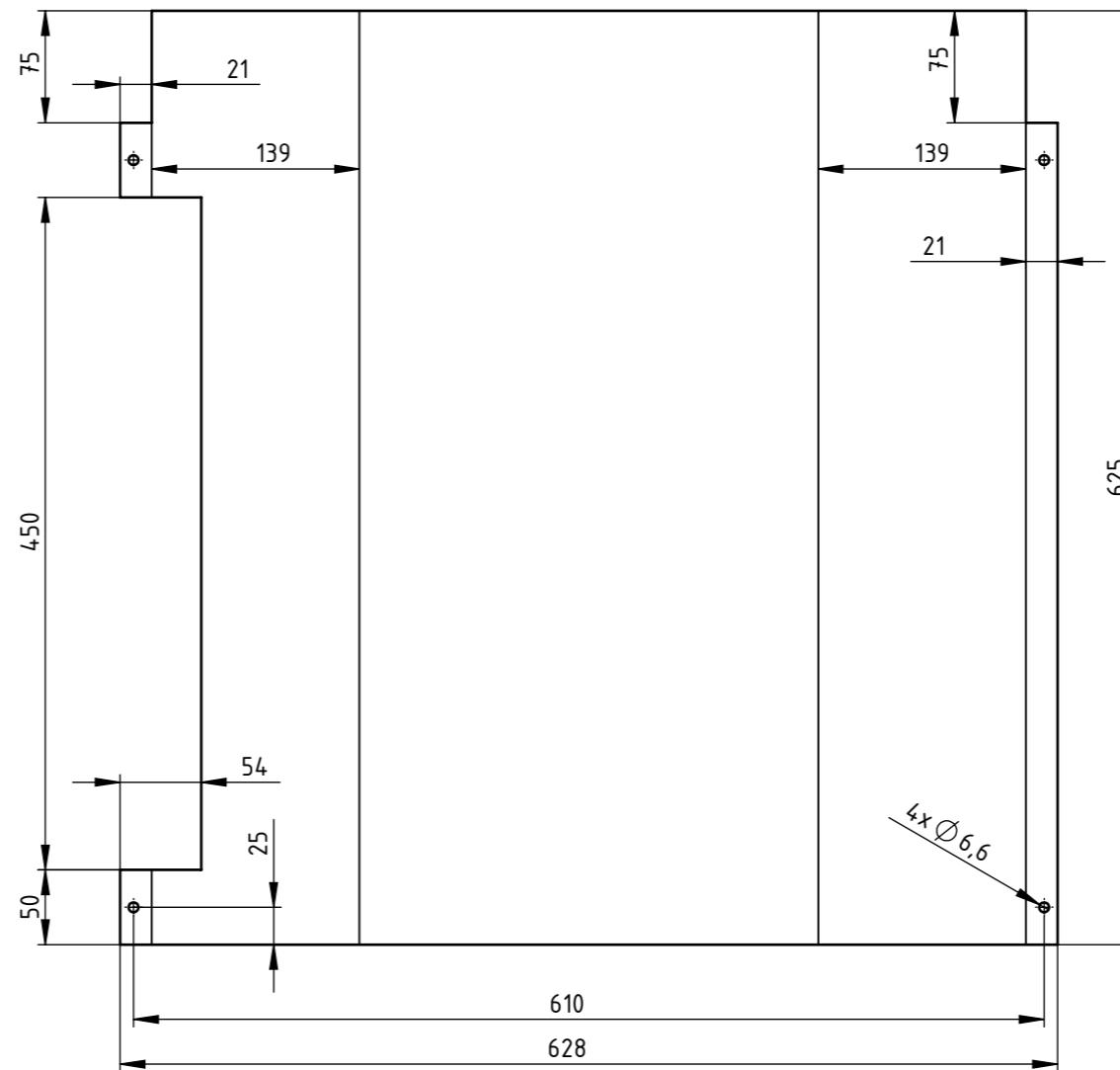
Napomena: Pobrusiti sve rubove.
Debljina ploče t=18 mm.

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Projektirao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao	prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije	Objekt: Sklop elektromotora	Objekt broj:		
		R. N. broj:		
	Napomena:			Kopija
	Materijal: S235JR	Masa: 0,15 kg		
		Naziv: Ploča EM 2	Pozicija: 4	Format: A4
Design by CADLab	Mjerilo originala M2:1	Crtež broj: DZ-021		Listova: 1
				List: 1

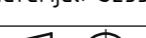




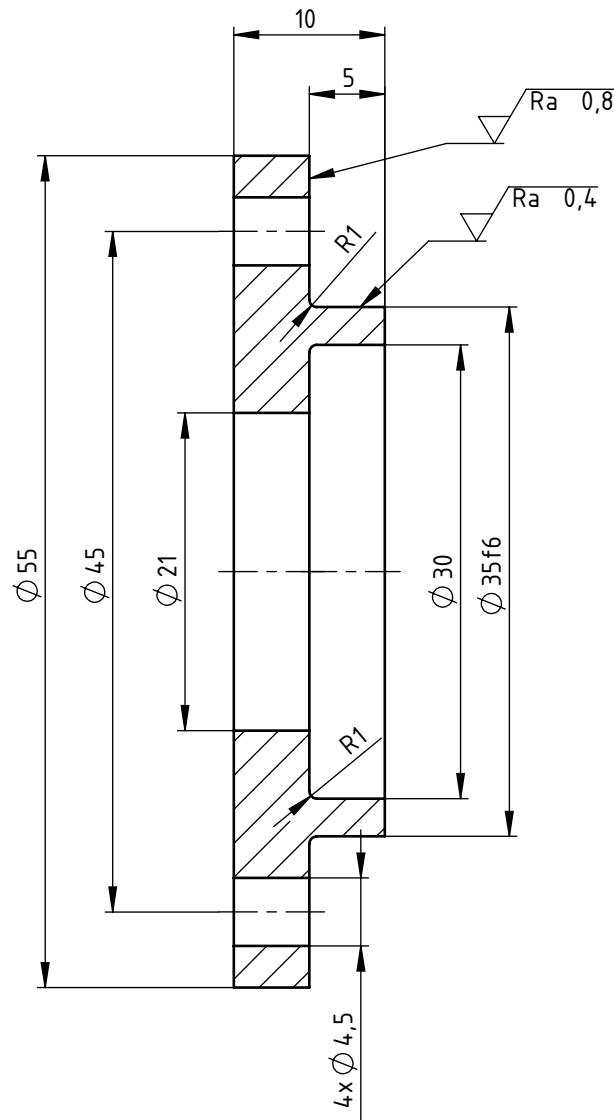
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao		prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:		
Ø 30e7	-0,04	Sklop nepomičnog/pomičnog dijela			
	-0,061			R. N. broj:	
		Napomena: Pobrusiti oštре rubove.			Kopija
		Materijal: S235JR	Masa:		
Design by CADLab		Naziv: Podložna pločica senzora	Pozicija: 20	Format: A4	
				Listova: 1	
	M 2:1	Crtež broj: DZ-023			List: 1



Napomena: Debljina lima $t=0,8\text{mm}$.
Perforirani lim $1,1 \times 2$

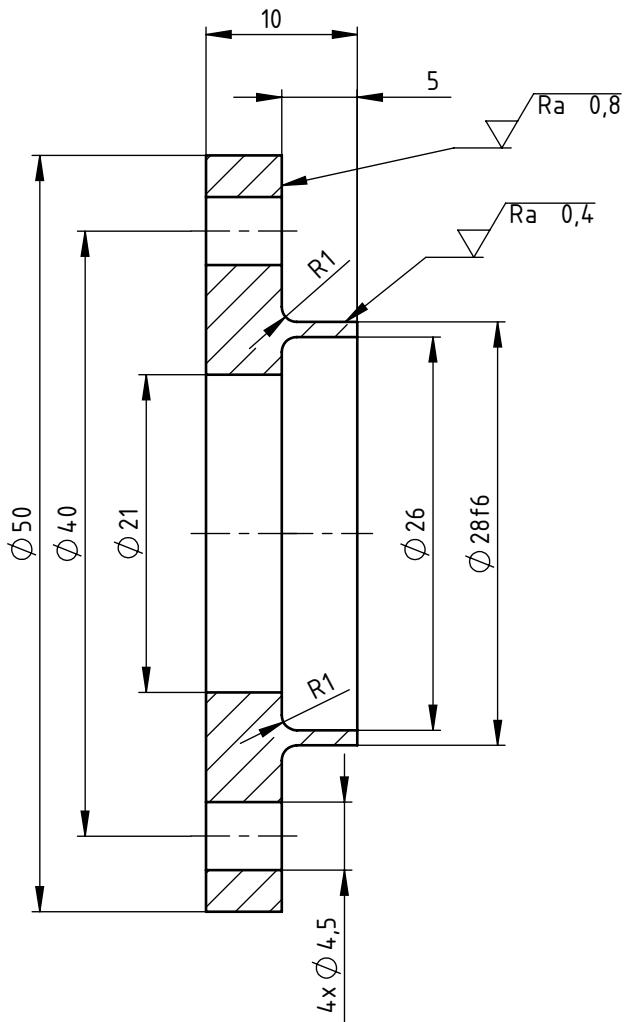
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
	Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
	Crtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
	Pregledao		prof. Krešimir Vučković	
	Mentor			
ISO - tolerancije	Objekt: Stroj za određivanje dinamičke čvrstoće kod savijanja uz rotaciju	Objekt broj:		
		R. N. broj:		
	Napomena:			Kopija
	Materijal: S235JR	Masa: 1,6 kg		
		Naziv: Poklopac	Pozicija: 11	
	Mjerilo originala M1:5		Format: A3	
			Listova: 1	
			List: 1	
		Crtež broj: DZ-024		

$\sqrt{\text{Ra}} \ 6,3$ ($\sqrt{\text{Ra}} \ 0,8$ / $\sqrt{\text{Ra}} \ 0,4$)



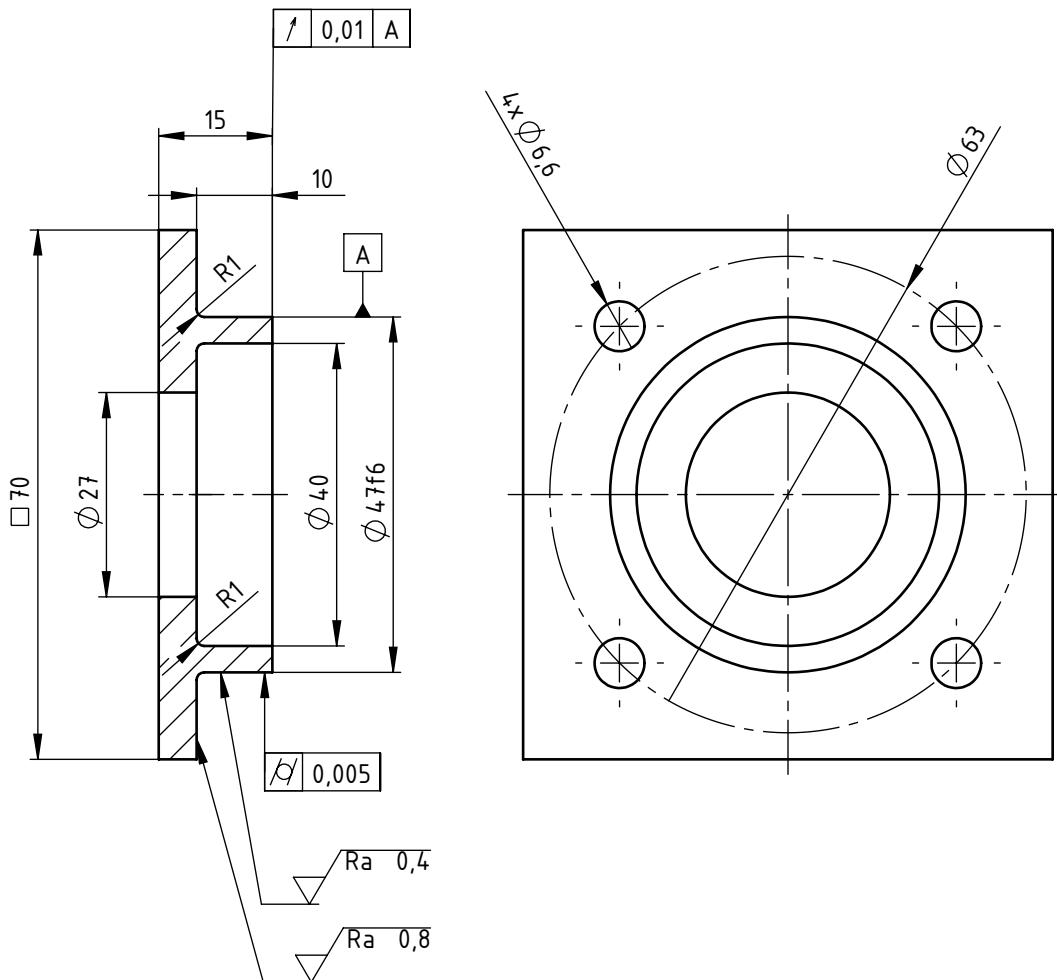
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao	prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije	Objekt: Sklop kućišta 1/2	Objekt broj:		
$\varnothing 35f6$	-0,025 -0,041	R. N. broj:		
	Napomena: Pobrusiti oštре rubove.			Kopija
	Materijal: S235JR	Masa: 0,1 kg		
Design by CADLab	 Mjerilo originala M2:1	Naziv: Prolazni poklopac osovine 1	Pozicija: 22 21	Format: A4 Listova: 1
		Crtež broj: DZ-025		List: 1

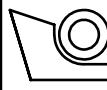
$\sqrt{Ra} 6,3 \left(\sqrt{Ra} 0,8 / \sqrt{Ra} 0,4 \right)$



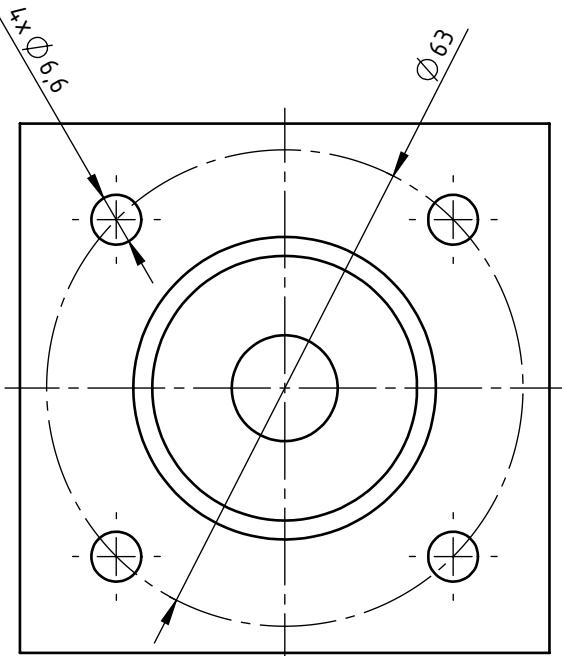
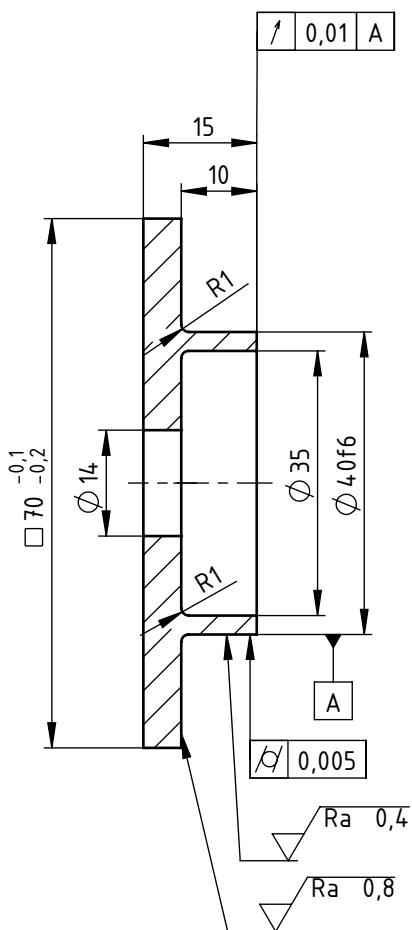
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Črtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Pregledao		prof. Krešimir Vučković			
ISO - tolerancije		Objekt: Sklop kućišta 1/2		Objekt broj:	
$\phi 28f6$	-0,02 -0,033			R. N. broj:	
		Napomena: Pobrusiti oštре rubove.			Kopija
		Materijal: S235JR		Masa:	
			Naziv: Prolazni poklopac osovine 2	Pozicija: 19 18	Format: A4
Design by CADLab		Mjerilo originala M2:1			Listova: 1
			Crtež broj: DZ-026		List: 1

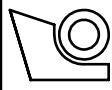
$\sqrt{Ra} 6,3$ ($\sqrt{Ra} 0,8$, $\sqrt{Ra} 0,4$)



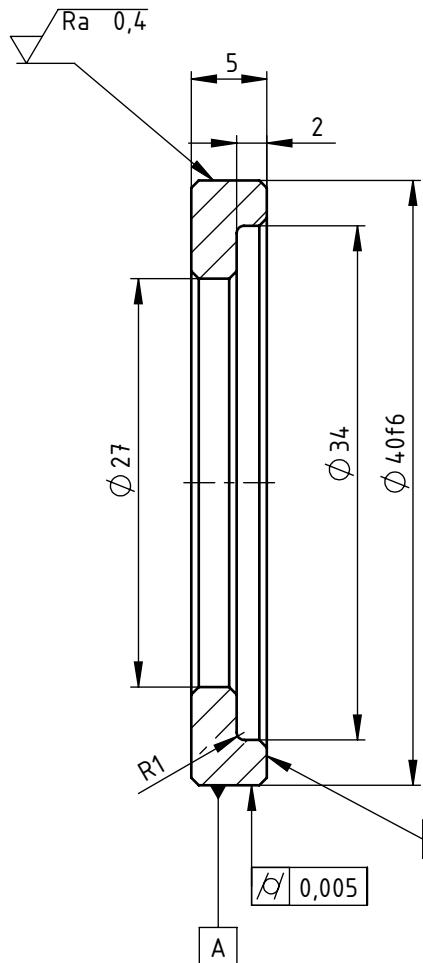
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao		prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije	Objekt: Sklop kućišta 1/2		Objekt broj:		
$\phi 47f6$	-0,025 -0,041		R. N. broj:		
		Napomena: Pobrusiti oštре rubove.			Kopija
		Materijal: S235JR	Masa: 0,2 kg		
Design by CADlab		Naziv: Prolazni poklopac vratila	Pozicija: 3	Format: A4	
		Mjerilo originala M1:1		Listova: 1	
			Crtež broj: DZ-027		List: 1

$\nabla \text{Ra } 6,3$ ($\nabla \text{Ra } 0,8$, $\nabla \text{Ra } 0,4$)

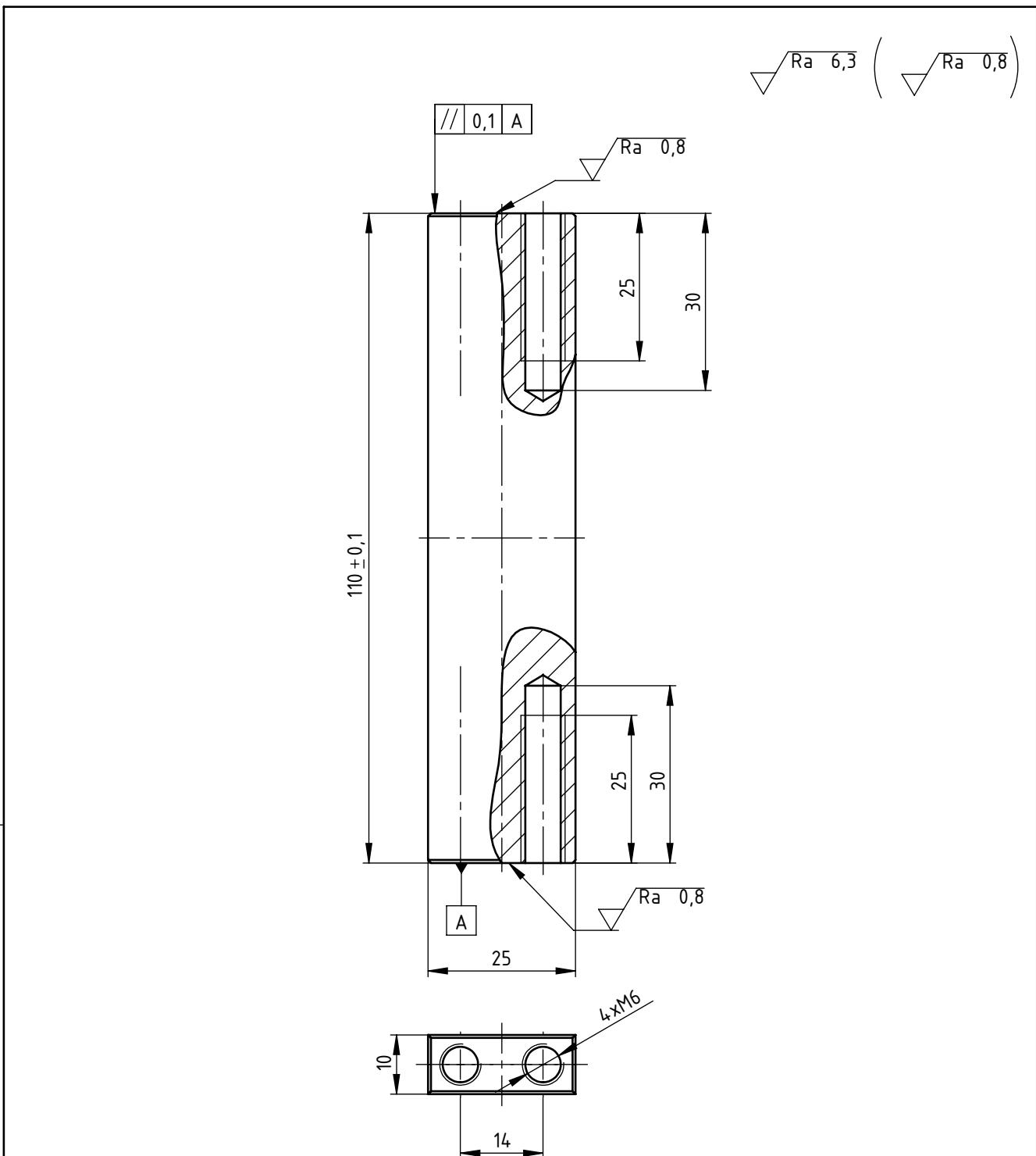


Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao	prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije	Objekt: Sklop kućišta 1	Objekt broj:		
$\phi 40f6$	-0,025 -0,041	R. N. broj:		
	Napomena: Pobrusiti oštре rubove.			Kopija
	Materijal: S235JR	Masa: 0,2 kg		
Design by CADLab	Mjerilo originala M1:1	Naziv: Prolazni poklopac izlaznog vratila	Pozicija: 2	Format: A4
				Listova: 1
		Crtež broj: DZ-028		List: 1

$\nabla \text{Ra } 6,3$ ($\nabla \text{Ra } 0,4$)



Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Črtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić			
Pregledao		prof. Krešimir Vučković			
ISO - tolerancije		Objekt: Sklop kućišta 1/2	Objekt broj:		
$\phi 40f6$	-0,025 -0,041		R. N. broj:		
		Napomena: Sva skošenja su $0,5 \times 45^\circ$.			Kopija
		Materijal: S235JR	Masa:		
Design by CADLab	 Mjerilo originala	Naziv: Prsten ležaja	Pozicija: 11 8	Format: A4	
					Listova: 1
		M2:1	Crtež broj: DZ-029		List: 1

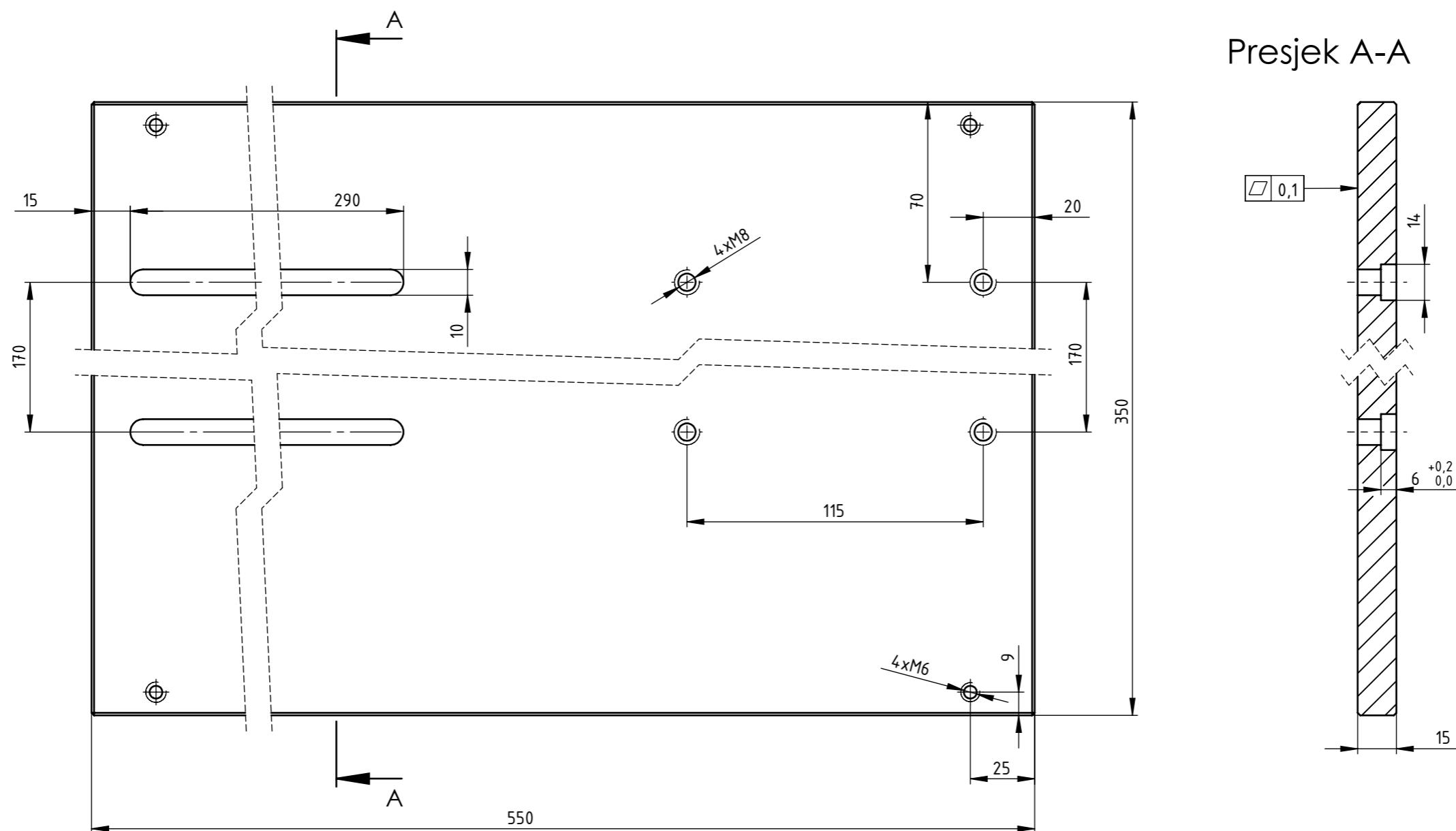


Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao	prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije		Objekt: Sklop nepomičnog/pomičnog dijela	Objekt broj:	
			R. N. broj:	
		Napomena: Sva skošenja su $0,5 \times 45^\circ$.		Kopija
		Materijal: S235JR	Masa: 0,2 kg	
 Mjerilo originala		Naziv: Stup	Pozicija: 7	Format: A4
 M1:1		Crtež broj: DZ-030		Listova: 1
Design by CADlab				

1 2 3 4 5 6 7 8

Ra 3,2

Presjek A-A



A

B

C

D

E

Design by CADlab

Broj naziva - code

	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Razradio	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Crtao	17.2.2024.	Domagoj Želežić	
Pregledao		prof. Krešimir Vučković	
Mentor			

FSB Zagreb

ISO - tolerancije

Objekt:
Stroj za određivanje dinamičke čvrstoće
kod savijanja uz rotaciju

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:
Sva skošenja su 1x45°.

Materijal: S235JR Masa: 21,8 kg

Kopija

Naziv:
Temeljna ploča

Pozicija:

Format: A3

Mjerilo originala M1:2

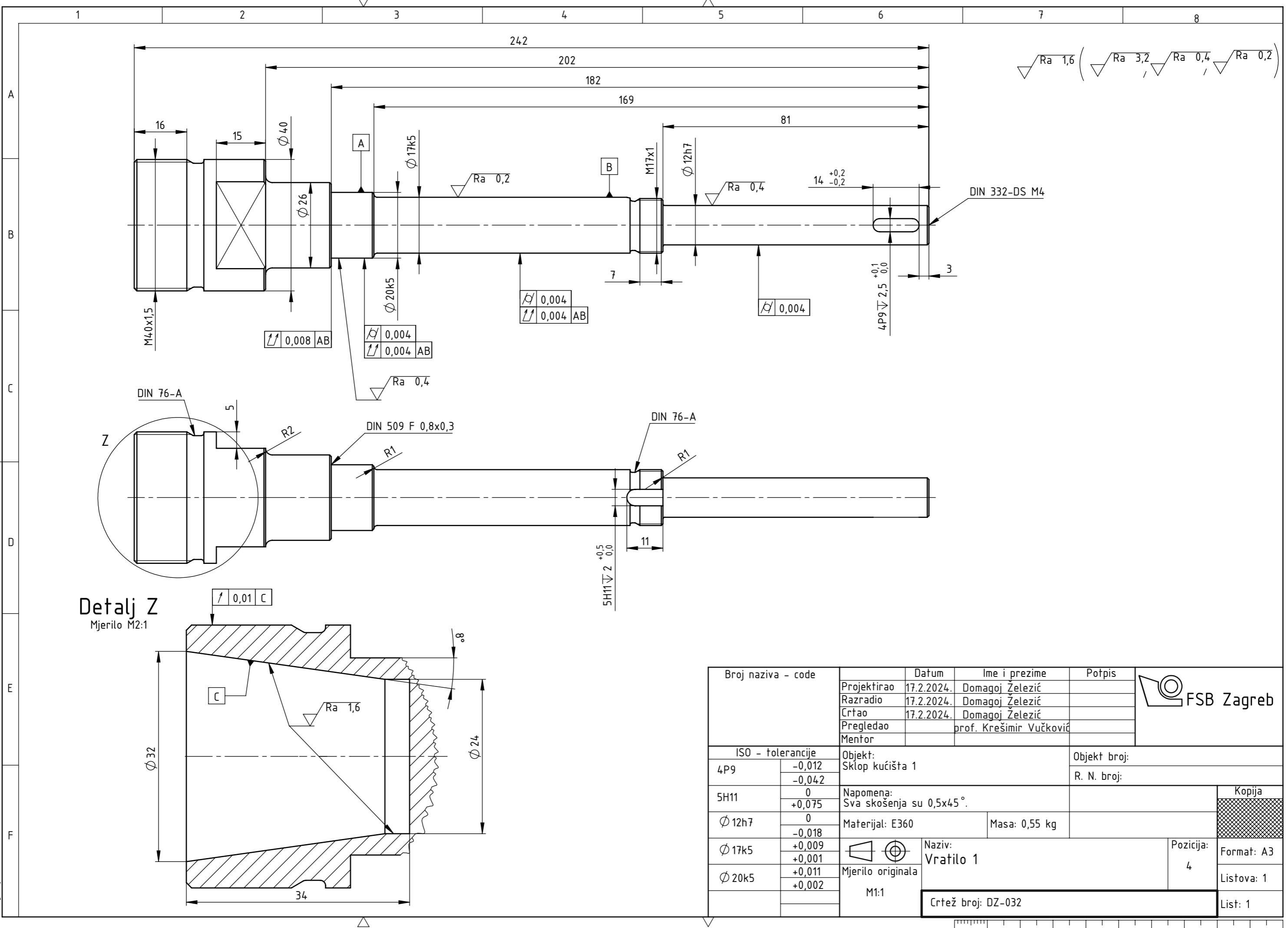
4

Listova: 1

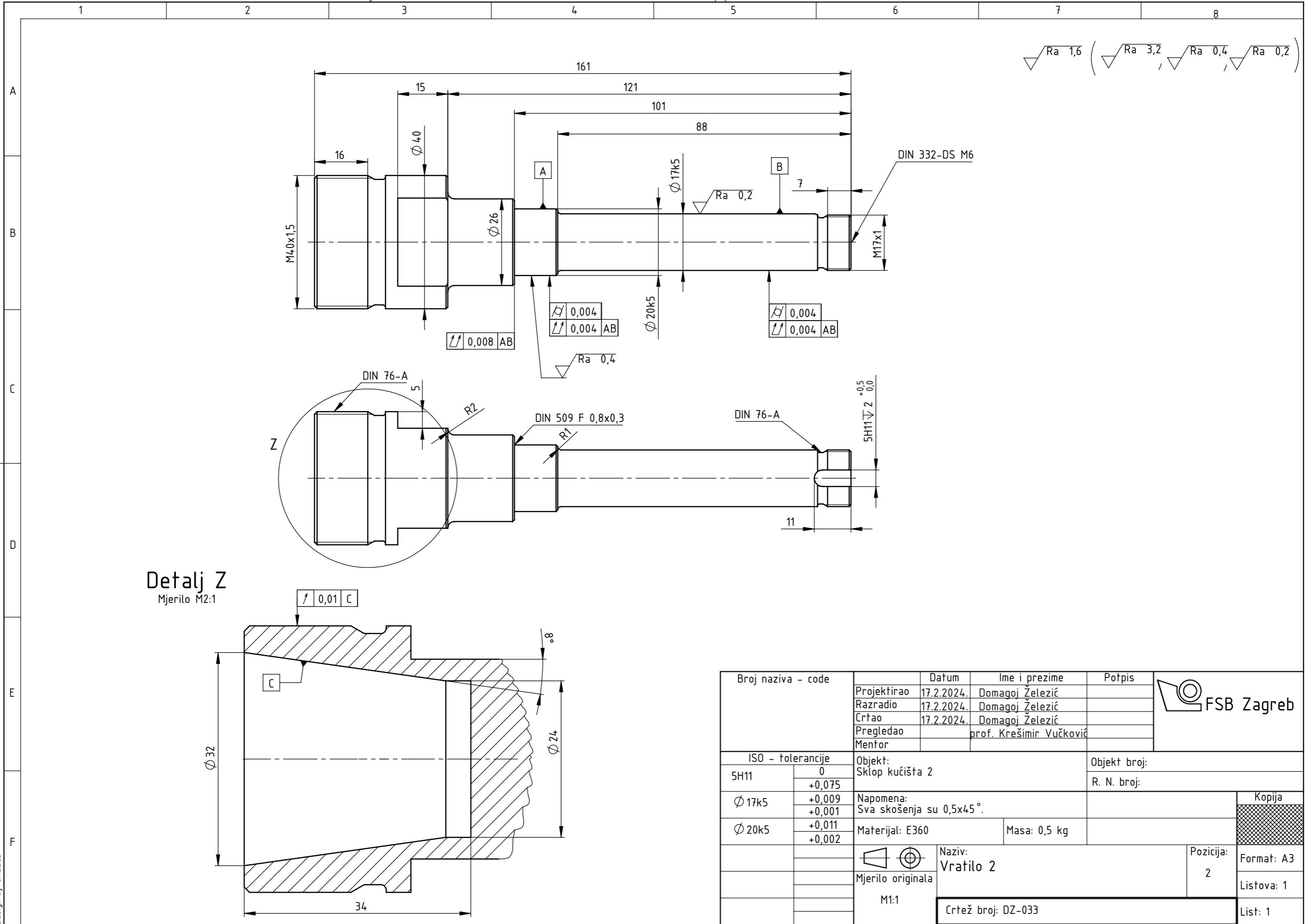
Crtež broj: DZ-031

List: 1

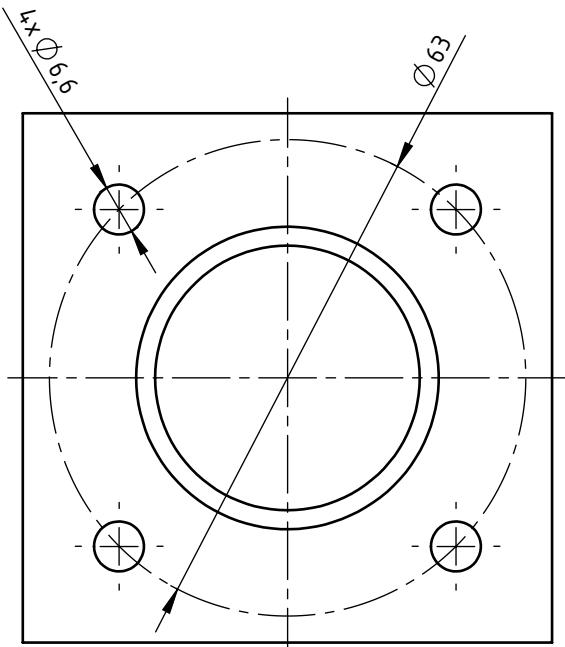
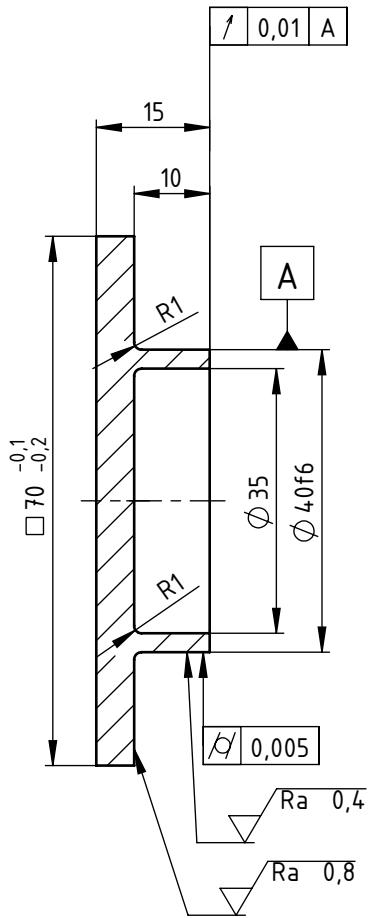
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

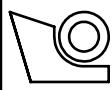


1 2 3 4 5 6 7 8



$\sqrt{Ra} 6,3$ ($\sqrt{Ra} 0,8$, $\sqrt{Ra} 0,4$)



Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Razradio 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Črtao 17.2.2024.	Domagoj Želežić		
	Pregledao	prof. Krešimir Vučković		
ISO - tolerancije	Objekt: Sklop kućišta 2		Objekt broj:	
$\phi 40f6$	-0,025 -0,041		R. N. broj:	
		Napomena: Pobrusiti oštре rubove		Kopija
		Materijal: S235JR	Masa: 0,2 kg	
Design by CADLab	Mjerilo originala M1:1	Naziv: Zatvoren poklopac vratila	Pozicija: 4	Format: A4 Listova: 1 List: 1
		Crtež broj: DZ-034		