

# Naprava za kontrolu primarnog ogibljenja okretnog postolja Y25

---

Deak, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*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:235:858676>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-08**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Luka Deak**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Milan Kostelac, dipl. ing.

Student:

Luka Deak

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se svom mentoru Dr. sc. Milanu Kostelcu na ukazanoj pomoći i razumijevanju tijekom izrade ovog zadatka.

Luka Deak



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 22 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Luka Deak**

JMBAG: **0035214109**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Naprava za kontrolu primarnog ogibljenja okretnog postolja Y25**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Device for controlling the primary suspension of the bogie Y25**

Opis zadatka:

Primarno ogibljenje okretnog podvozja Y25 teretnog vagona izvedeno je preko vanjske i unutrašnje cilindrične zavojne opruge ugrađene između uležištenja osovine i vertikalne kliznice. Vanjska opruga je uvijek opterećena dok unutrašnja opruga preuzima dio opterećenja pri ukupnoj masi vagona od 24,5 t. Kako bi se postiglo ravnomjerno opterećenje po pojedinim ležajima vrši se uparivanje opruga ne samo po krutosti već i po visini.

Zadano:

- dimenzije vanjske opruge:  $D_{sr}/d=162/\varnothing 32$  mm,  $L_0=264$  mm;
- dimenzije unutrašnje opruge:  $D_{sr}/d=90/\varnothing 324$  mm,  $L_0=234\pm 2$  mm;
- opterećenje prema tablici:

Potrebno opterećenje	Neopterećena opruga	$F_1=8580\pm 98$ N	$F_2=24500\pm 196$ N	$F_2=24500\pm 196$ N
Visina vanjske opruge	264 mm	242 mm	-	203
Visina unutrašnje opruge	234 $\pm$ 2 mm	-	206	-

Potrebno je:

- proračunati vanjsku i unutrašnju cilindričnu zavojnu oprugu uz prateću dokumentaciju za izradu;
- konstruirati napravu za kontrolu visine pod opterećenjem prema danoj tablici kao i za dugotrajno ispitivanje pod opterećenjem do progiba 76 mm do  $10^3$  ciklusa opterećenja s frekvencijom od 5 ciklusa/min;
- izraditi radioničku dokumentaciju u dogovoru s mentorom.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.  
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.  
3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.  
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.  
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Milan Kostelac

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

## SADRŽAJ

1. Uvod .....	1
2. Okretno postolje Y25.....	3
2.1. Povijest.....	3
2.2. Konstrukcija .....	4
2.3. Ovjes .....	5
3. Opruge .....	7
3.1. Proračun vanjske opruge .....	8
3.2. Provjera naprezanja vanjske opruge .....	11
3.3. Proračun unutarnje opruge .....	15
3.4. Provjera naprezanja unutrašnje opruge .....	17
3.5. Karakteristika ovjesa.....	19
4. Naprava za ispitivanje opruga .....	21
4.1. Okvir naprave.....	21
4.1.1. Provjera čvrstoće okvira.....	22
4.1.2. Proračun zavara.....	26
4.2. Sklop za mjerenje sile .....	33
4.3. Sklop za mjerenje pomaka .....	35
4.4.1. Proračun hidrauličkog sustava .....	37
4.4.2. Izvedba hidrauličkog sustava.....	40
4.5. Zaštitna ograda.....	41
4.6. Gotovi izgled naprave .....	42
5. Zaključak .....	43

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Teretni vagon Tadnss-z za prijevoz rasutog tereta [1] .....	2
Slika 2.	Okretno postolje Y25 [2].....	3
Slika 3.	Detalj ovjesa okretnog postolja Y25 [4].....	5
Slika 4.	Raspodjela tangencijalnog naprezanja po poprečnom presjeku šipke opruge [5].	11
Slika 5.	Dopušteno nekorrigirano naprezanje $\tau_{czul}$ pri nalegnutim navojima u ovisnosti o debljini šipke $d$ [5].....	12
Slika 6.	Dijagram trajne čvrstoće toplo oblikovanih opruga [5] .....	12
Slika 7.	Karakteristika ovjesa s proračunatim oprugama .....	20
Slika 8.	3D model zavarenog okvira naprave.....	21
Slika 9.	Model okvirne konstrukcije.....	22
Slika 10.	Poprečni presjek gornjeg nosača .....	22
Slika 11.	Izgled spoja UPE profila i gornjeg nosača .....	26
Slika 12.	Izgled poprečnog presjeka zavara UPE profila i gornje nosača.....	26
Slika 13.	Položaj zavara UPE profila i donjeg nosača .....	30
Slika 14.	Poprečni presjek zavara UPE profila i donjeg nosača.....	30
Slika 15.	Senzor sile U10F [9].....	33
Slika 16.	Sklop senzora sile u razvijenom pogledu .....	34
Slika 17.	LinACE™ InAxis apsolutni enkoder [10] .....	35
Slika 18.	Enkoder u sklopu naprave .....	35
Slika 19.	Shema hidrauličkog sustava .....	36
Slika 20.	Izvedba hidrauličkog sustava .....	40
Slika 21.	3D model fiksnog dijela zaštitne ograde .....	41
Slika 22.	Izgled gotove naprave za ispitivanje opruga .....	42

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Tehničke karakteristike okretnog postolja Y25 prema [3].....	4
Tablica 2. Dimenzije opruga .....	7
Tablica 3. Opterećenje opruga.....	7
Tablica 4. Dimenzije i karakteristike proračunatih opruga .....	19



## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

LD-ZR22-214109-100	Naprava za ispitivanje opruga
LD-ZR22-214109-101	Zavarena konstrukcija
LD-ZR22-214109-102	Sklop senzora sile
LD-ZR22-214109-103	Sklop hidraulike
LD-ZR22-214109-201	Vanjska opruga
LD-ZR22-214109-202	Unutrašnja opruga

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$A, A_i$	mm <sup>2</sup>	Površina poprečnog presjeka
$A_1, A_{1potr}$	mm <sup>2</sup>	Površina klipnjače
$a$	mm	Debljina zavara
$b_i$	mm	Širina dijela presjeka
$c_i$	mm	Udaljenost težišta od osi
$c, c_u, c_v,$	N/mm	Krutost opruge
$Cokr\_uk\_1, Cokr\_uk\_2$	N/mm	Krutost ovjesa okretnog postolja
$D_{sr}$	mm	Srednji promjer opruge
$d$	mm	Promjer šipke
$F_1, F_2$	N	Sila opruge
$f_{max}$	mm	Maksimalni ostvarivi progib opruge
$f, f_{1u}, f_{1v}, f_{2u}, f_{2v}$	mm	Progib opruge
$G$	N/mm <sup>2</sup>	Modul klizanja
$g$	m/s <sup>2</sup>	Ubrzanje sile teže
$I_x, I_y$	mm <sup>4</sup>	Statički moment inercije presjeka
$i_f$	-	Broj zavoja s opružnim djelovanjem
$i_{uk}$	-	Ukupan broj zavoja
$k$	-	Korekcijski faktor
$L_0, L_{0u}, L_{0v}$	mm	Visina neopterećene opruge
$L_{1u}, L_{1v}, L_{2u}, L_{2v}$	mm	Visina opruge pod opterećenjem
$L_c$	mm	Stisnuta duljina bloka
$L_n$	mm	Najmanja dopuštena visina opruge
$l$	mm	Udaljenost na kojoj djeluje sila
$M, M_f, M_y$	Nm	Moment savijanja
$m_l$	kg	Ovješena masa
$m_{uk}$	kg	Ukupna masa vagona
$m_{os}$	kg	Masa osovinskog sloga
$n$	-	Broj parova opruga po vagonu
$n_{em}$	min <sup>-1</sup>	Brzina vrtnje elektromotora

$P_{potr}$	W	Potrebna snaga pumpe
$P_{gub}$	W	Snaga gubitaka
$p_N$	Bar	Nazivni tlak
$Q_{cil}$	dm <sup>3</sup> /min	Potrebni protok cilindra
$Q_{gub}$	J	Preuzeta toplina
$Q_p$	dm <sup>3</sup> /min	Protok pumpe
$Q_{teor}$	dm <sup>3</sup> /min	Teorijski protok
$S_a$	mm	Najmanji dopušteni razmak zavoja opruge
$T_0, T_{max}$	°C	Temperatura tekućine
$V_q$	cm <sup>3</sup>	Specifični protok
$v_{kl}$	m/s	Brzina izvlačenja klipnjače
$W_y$	mm <sup>3</sup>	Moment otpora presjeka
$w$	-	Odnos namatanja opruge
$x_{max}$	mm	Najveća udaljenost presjeka od osi y
$y_{max}$	mm	Najveća udaljenost presjeka od osi x
$y_i, y_t$	mm	Koordinata težišta po y osi
$\eta_{cv}$	-	Volumetrijski stupanj iskoristivosti cilindra
$\eta_{pm}$	-	Mehanički stupanj iskoristivosti pumpe
$\eta_{puk}$	-	Ukupni stupanj iskoristivosti pumpe
$\eta_{pv}$	-	Volumetrijski stupanj iskoristivosti pumpe
$\sigma_{D(0)dop}$	N/mm <sup>2</sup>	Dopušteno čisto istosmjerno naprezanje zavora
$\sigma_{D(-1)dop}$	N/mm <sup>2</sup>	Dopušteno čisto naizmjenično naprezanje zavora
$\sigma_{dop(II)}$	N/mm <sup>2</sup>	Dopušteno naprezanje za čisto istosmjerno opterećenje
$\sigma_f$	N/mm <sup>2</sup>	Naprezanje uslijed savijanja
$\sigma_{red}$	N/mm <sup>2</sup>	Reducirano naprezanje
$\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	Tlačno naprezanje
$\sigma_v$	N/mm <sup>2</sup>	Naprezanje uslijed vlačnog opterećenja
$\sigma_x$	N/mm <sup>2</sup>	Normalno naprezanje
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	Smično naprezanje
$\tau_1, \tau_2$	N/mm <sup>2</sup>	Idealno torzijsko naprezanje
$\tau_{zul}$	N/mm <sup>2</sup>	Dopušteno nekorrigirano naprezanje
$\tau_{k1}, \tau_{k2}$	N/mm <sup>2</sup>	Korigirano torzijsko naprezanje

$\tau_{kd}$	$\text{N/mm}^2$	Donje korigirano torzijsko naprezanje
$\tau_{kg}$	$\text{N/mm}^2$	Gornje korigirano torzijsko naprezanje
$\tau_{kH}$	$\text{N/mm}^2$	Torzijsko naprezanje hoda opruge
$\tau_{kHdop}$	$\text{N/mm}^2$	Dopušteno torzijsko naprezanje hoda opruge

## **SAŽETAK**

U radu je obuhvaćen proračun opruga okretnog postolja Y25 i konstrukcijska razrada naprave za dugotrajno ispitivanje istih. Proračun opruga proveden je prema uputama aktualnog standarda. Naprava za ispitivanje se sastoji od zavarene konstrukcije na koju je montirana potrebna oprema. Opterećivanje opruga vrši se hidrauličkim cilindrom, a podaci se bilježe preko enkodera i mjernog pretvarača sile. Na napravu je ugrađena i zaštitna ograda. Proveden je proračun čvrstoće konstrukcije i zavara te proračun hidrauličkog sustava.

Ključne riječi: okretno postolje vagona, cilindrične opruge, naprava za ispitivanje

**SUMMARY**

This paper covers the calculation of the springs for the Y25 bogie and the structural development of the device for their long-term testing. The calculation of the springs was carried out according to the instructions of the current standard. The test device consists of a welded structure on which the additional equipment is mounted. Spring loading is done with a hydraulic cylinder, and data is recorded via an encoder and a force transducer. A protective fence is also installed on the device. The calculation of the strength of the structure and welds, as well as the calculation of the hydraulic system, was carried out.

Key words: freight car bogie, cylindrical springs, testing device

## 1. Uvod

Prijevoz tereta željeznicom odvija se kretanjem teretnih vlakova po putu definiranom tračnicama. Teretni vlak se kao kompozicija sastoji od jednog ili više vučnih vozila – lokomotive i teretnih vagona. Teretni vagoni su željeznička vozila bez vlastitog pogona namijenjena isključivo prijevozu tereta. Oni se sastoje se od više sklopova, podsklopova i komponenti čija izvedba u cjelini mora udovoljiti funkcijskim zahtjevima i međunarodnim propisima te normama. Vagon se u osnovi sastoji od vagonskog sanduka i nadgradnje, odnosno karoserije. Karoserija teretnog vagona montirana je na okvir sanduka i razlikuje se prema namjeni, odnosno vrsti tereta. Karoserije teretnih vagona podliježu osnovnim propisima i normama i razlikuju među proizvođačima. Pod vagonским sandukom podrazumijeva se okvir na kojega se montiraju vozna postolja, vučno-odbojni uređaji, kočioni sustav i dodatna oprema specijalne namjene. Te komponente podliježu strožim propisima i uredbama utemeljenih na međunarodnim konvencijama kako bi se održao učinkovit i siguran protok tereta.

Glavni dio voznoga postolja je osovinski slog koji se u općem slučaju sastoji od osovine i dva kotača. Kod manjih vagona, osovinski slog je izravno vezan na okvir sanduka preko ležajeva, opruga i prigušnih elemenata. Kod većih vagona, osovinski slogovi raspoređeni su u najmanje dva okretna postolja. Okretno postolje je okvir s uležištenim osovinskim slogovima na malom razmaku i elementima ovjesa koji može rotirati oko vertikalne osi. Pored osnovne zadaće prijenosa opterećenja vagona i vođenja po tračnicama, okretna postolja omogućuju i lakši prolazak vagona zavojem pa je time smanjeno trošenje u kontaktu kotača i tračnica. Elementi ovjesa okretnog postolja ublažavaju udarce i vibracije te preuzimaju sile nastale u vožnji naginjanjem ili prolaskom zavoja. Takvo statičko i dinamičko opterećenje ovjes mora ravnomjerno raspodijeliti na ležajeve kako bi se osiguralo ujednačeno trošenje kako ležajeva tako i vijenaca kotača čime se povećava sigurnost i pouzdanost cijeloga sklopa.



**Slika 1. Teretni vagon Tadnss-z za prijevoz rasutog tereta [1]**

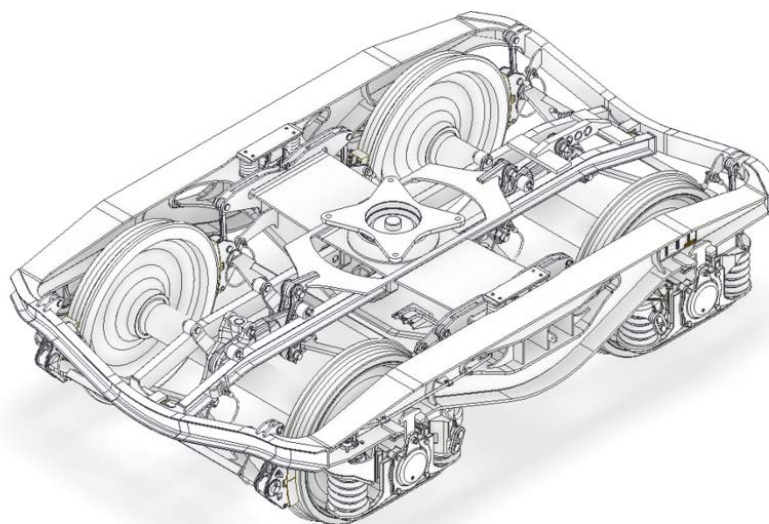
Na slici 1. prikazan je četveroosovinski teretni vagon serije Tadnss-z tvrtke HŽ Cargo d.o.o. za prijevoz rasutog materijala granulacije 0 do 50 mm koji mora biti zaštićen od atmosferskih utjecaja. Vagon je opremljen pokretnim krovom i četiri otvora za istovar sa svake strane.

Opružni elementi ovjesa okretnog postolja imaju veliku važnost u raspodjeli opterećenja i samom ponašanju ovjesa pa je cilj ovog rada je proračun cilindrični zavojnih opruga okretnog postolja Y25 uz prateću dokumentaciju za izradu. Potrebno je i konstruirati napravu za kontrolu visine opruga pod zadanim opterećenjem te za dugotrajno ispitivanje istih prema zadanim uvjetima s ciljem mogućnosti uparivanja opruga prema visini i krutosti.



## 2. Okretno postolje Y25

Okretno postolje Y25 danas je najčešće korišteno postolje teretnih vagona u Europi. Zajedno sa svojim raznim varijantama i izvedenicama čini treću grupu okretnih postolja uz trodijelna i lisnato ogibljena okretna postolja. Na slici 2. prikazana je jedna od izvedbi okretnog postolja Y25 njemačkog proizvođača ELH.



Slika 2. Okretno postolje Y25 [2]

### 2.1. Povijest

Razvoj okretnog postolja Y25 započeo je krajem 1950.-ih godina u Francuskoj traženjem zamjene za tada UIC standardnih postolja Y19. Razlog tome bile su loše karakteristike tog postolja u vožnji ravnim prugom. Naime, pri vožnji na ravninama okretno postolje Y19 imalo je tendenciju oscilatornog gibanja između tračnica što izaziva dodatno trošenje tračnica i oboda kotača. Tako je glavni cilj pri konstrukciji novog postolja bila što kruća konstrukcija nosača osovinskog sloga bez uzdužnih i što manje poprečnih pomaka čime bi se osiguralo što ravnije gibanje kotača na ravnoj pruzi. S tim na umu, sredinom 1960.-ih francuske željeznice SNCF razvijaju okretno postolje Y25 s osovinskim razmakom od 1800 mm i najveće dopuštene brzine 100 km/h. 1967. godine UIC službeno proglašava Y25 kao standardna okretna postolja za teretne vagone. Do 1990. godina potisnula su okretna postolja s lisnatim oprugama iz proizvodnje. Zbog svoje jednostavne konstrukcije i pouzdanosti, postolja Y25 i danas se proizvode i ugrađuju na uobičajene teretne vagone.

## 2.2. Konstrukcija

Okretno postolje Y25 proizvodi se u više varijanti, ali sve one dijele glavne tehničke karakteristike. Širina kolosijeka kojem je namijenjeno postolje definirana je od strane UIC-a, kao i razmak osovinskog sloga te promjer kotača. Gabaritne dimenzije i maksimalno osovinsko opterećenje postolja mogu varirati među proizvođačima. Okretno postolje može biti prilagođeno zahtjevima kupaca uz mogućnost ugradnje dodatne opreme. Tablicom 1. prikazane su tehničke karakteristike okretnog postolja Y25 koje proizvodi Tvornica željezničkih vozila Gredelej.

**Tablica 1. Tehničke karakteristike okretnog postolja Y25 prema [3]**

Tehničke karakteristike	
Širina kolosijeka	1435 mm
Razmak osovina	1800 mm
Promjer kotača – monoblok	920 mm
Promjer rukavca osovine	130 mm
Dužina okretnog postolja	3250 mm
Širina okretnog postolja	2341 mm
Maksimalno opterećenje po osovini pri 100 km/h	22,5 t
Težina:	
Okretnog postolja Y 25 Lsd 1	4,7 t + 5 %
Okretnog postolja Y 25 Ls(s)d 1	4,9 t + 5 %

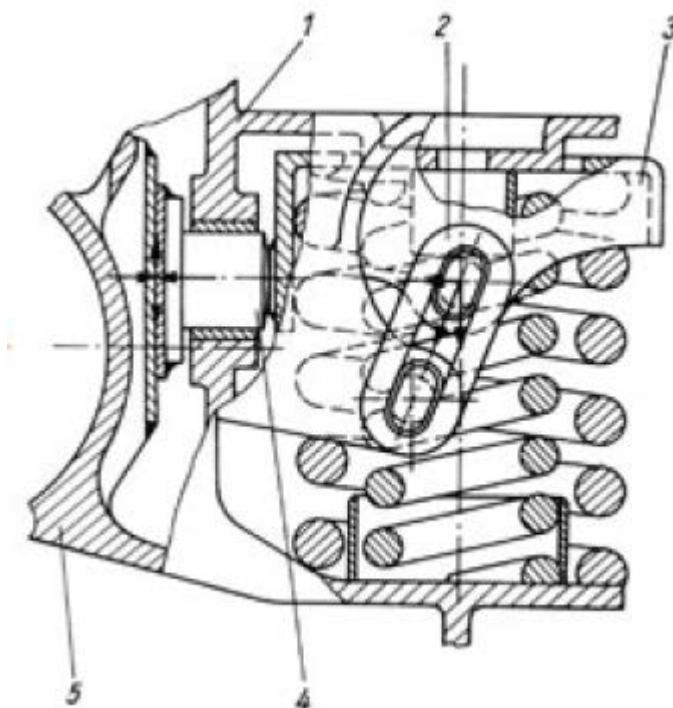
Sama konstrukcija okretnog postolja može biti u zavarenoj ili lijevanoj izvedbi. U obje izvedbe karakteristike su slične uz nešto veću masu lijevane konstrukcije pa danas prevladava zavarena izvedba upravo zbog manje mase i jednostavnije izrade. Okvir okretnog postolja sastoji se od dva uzdužna i jednog glavnog poprečnog nosača smještenog na sredini između osovinskih slogova. Dodatni poprečni nosači smješteni na krajevima dodani su sa svrhom nošenja kočionih uređaja. Uzdužni nosači torzijski su kruti dok središnji poprečni nosač preuzima torzijska opterećenja nastala uslijed nepravilnosti tračnica.

### 2.3. Ovjes

Općenito, ovjes je sustav opružnih i prigušnih elemenata smješten između dva tijela, omogućuje njihovo relativno gibanje te služi za ublažavanje vibracija i udara. Kod okretnih postolja postoje dva sustava ovjesa – primarno i sekundarno ogibljenje. Primarno ogibljenje smješteno je između uležištenja osovinskog sloga i okvira postolja, a sekundarno povezuje okvir sa sedlom postolja. Ovisno o namjeni okretnog postolja, postoji više izvedbi ogibljenja te jedno od njih može izostati iz konstrukcije.

U slučaju okretnog postolja Y25, izvedeno je samo primarno ogibljenje dok je sedlo kruto vezano za okvir postolja. Kako je ono namijenjeno za ugradnju na teretne vagone, nema potrebe za poboljšanjem udobnosti pa nema potrebe za sekundarnim ogibljenjem.

Primarno ogibljenje sastoji se od ukupno 16 cilindričnih zavojnih tlačnih opruga raspoređenih na dva osovinska sloga. Opruge su uvijek smještene u paru jedna u drugoj. Vanjska opruga uvijek je opterećena dok unutrašnja opruga preuzima dio opterećenja tek pri određenom progibu vanjske. Jedan osovinski slog ima četiri takva para opruga – dva sa svake strane postolja.



Slika 3. Detalj ovjesa okretnog postolja Y25 [4]

Na slici 3. prikazan je dio ovjesa okretnog postolja Y25. Označeno je redom: (1) okvir okretnog postolja, (2) Lenoir prsten, (3) kućište opruge, (4) poluga tarnog prigušivača i (5) kućište osovinskog sloga.

Za razliku od lisnatih, cilindrične zavojne tlačne opruge nemaju svojstvo prigušivanja. Na okretno postolje Y25 su kao prigušni element ugrađeni prigušivači koji rade na principu mehaničkog trenja. Vertikalno opterećenje na vanjsku oprugu prenosi se sa okvira postolja preko Lenoir prstena na kućište opruge koje preko poluga pritišće tarnu površinu na kućištu ležaja. Sila na tarnim površinama tako se približno proporcionalno mijenja prema osovinskom opterećenju. Ima ukupno četiri prigušivača, svaki smješten na unutrašnje parove opruga postolja. Time se postiže jednostavno prigušivanje uzdužnih i vertikalnih pomaka ovisno o opterećenju.

### 3. Opruge

Obzirom na veliku razliku u težini praznog i u potpunosti natovarenog vagona, na okretnom postolju se koriste opruge smještene jedna u drugoj, različitih krutosti i visina kako bi se postiglo ponašanje ovjesa u oba slučaja. Vanjska opruga je uvijek opterećena dok pri određenoj težini vagona dio opterećenja preuzima unutarnja opruga pa tako ovjes postaje tvrdi.

Proračun opruga bit će proveden prema preporukama standarda EN 13906-1:2013 [5]. Pri proračunu polazi se od dimenzija opruga koje su određene konstrukcijom okretnog postolja, odnosno kućišta u kojem se nalaze. Vrijednosti srednjeg promjera i visine neopterećenih opruga dane su u tablici 2.

**Tablica 2. Dimenzije opruga**

	Srednji promjer $D_{sr}$	Visina neopterećene opruge $L_0$
Vanjska opruga	162 mm	264 mm
Unutrašnja opruga	90 mm	234±2 mm

Opterećenje koje djeluje na opruge zadano je tablicom 3.

**Tablica 3. Opterećenje opruga**

	$F_1=8580\pm 98$ N	$F_2=24500\pm 196$ N	$F_2=24500\pm 196$ N
Visina vanjske	242 mm	-	203 mm
Visina unutrašnje	-	206 mm	-

Zadatkom je zadano da se karakteristika opruga mijenja pri ukupnoj masi vagona  $m_{uk} = 24,5$  t. U obzir treba uzeti da osovine i njihova kućišta nisu ovješeni dijelovi pa oni ne sudjeluju u opterećenju opruge. Oduzimanjem njihove mase  $m_{os}=5$  t od ukupne dobije se iznos ovješene mase:

$$m_1 = m_{uk1} - m_{os} = 24,5 - 5 = 19,5 \text{ t} \quad (1)$$

Sila koja opterećuje jednu oprugu pri promjeni karakteristike tada iznosi:

$$F_1 = \frac{m_1 \cdot g}{n} = \frac{19500 \cdot 9,81}{16} = 11,96 \text{ kN}, \quad (2)$$

gdje je:

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$  – ubrzanje sile teže,

$n = 16$  – broj parova opruga po jednom vagonu.

### 3.1. Proračun vanjske opruge

Vanjska opruga pri opterećenju silom  $F_1$  mora poprimiti visinu jednaku neopterećenoj visini unutrašnje opruge:

$$L_{1v} = L_{0u} = 234 \text{ mm}, \quad (3)$$

što znači da za istu silu ostvari progib koji je jednak:

$$f_{1v} = L_{0v} - L_{1v} = 264 - 234 = 30 \text{ mm}. \quad (4)$$

Potrebna krutost vanjske opruge tada iznosi:

$$c_v = \frac{F_1}{f_{1v}} = \frac{11960}{30} = 398 \text{ N/mm}. \quad (5)$$

Ako se za promjer šipke uzme  $d = 32 \text{ mm}$ , potreban broj navoja s opružnim djelovanjem iznosi prema EN 13906 [5]:

$$i_f = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_{sr}^3 \cdot c_v} = \frac{80000 \cdot 32^4}{8 \cdot 162^3 \cdot 398,67} = 6,18 \approx 6,2, \quad (6)$$

gdje je :

$G = 80000 \text{ N/mm}^2$  – modul klizanja.

Ukupni broj navoja je prema preporuci jednak:

$$i_{uk} = i_f + 1,5 = 6,2 + 1,5 = 7,7. \quad (7)$$

Nova krutost opruge sa zaokruženim brojem aktivnih navoja iznosi:

$$c_v = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_{sr}^3 \cdot i_f} = \frac{80000 \cdot 32^4}{8 \cdot 162^3 \cdot 6,2} = 397 \text{ N/mm.} \quad (8)$$

Stisnuta duljina bloka (visina opruge kad se navoji dodiruju) prema EN 13906 [5] iznosi:

$$L_c = (i_{uk} - 0,3) \cdot d = (7,7 - 0,3) \cdot 32 = 236,8 \text{ mm.} \quad (9)$$

Pri opterećenju opruge navoji se ne smiju dotaknuti već među njima treba ostati minimalni razmak. On je prema normi definiran i iznosi:

$$S_a = 0,02 \cdot i_f \cdot (D_{sr} + d) = 0,02 \cdot 6,2 \cdot (162 + 32) = 24,1 \text{ mm.} \quad (10)$$

Najmanja dopuštena visina opruge tako iznosi:

$$L_n = L_c + S_a = 236,8 + 24,1 = 260,9 \text{ mm.} \quad (11)$$

Maksimalni ostvarivi hod opruge je tada jednak:

$$f_{1max} = L_{0v} - L_n = 264 - 260,9 = 3,1 \text{ mm,} \quad (12)$$

što ne zadovoljava jer nije moguće ostvariti dovoljni progib opruge.

Ako se za promjer šipke uzme  $d = 29$  mm, potreban broj navoja s opružnim djelovanjem iznosi prema EN 13906:

$$i_f = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_{sr}^3 \cdot c_v} = \frac{80000 \cdot 29^4}{8 \cdot 162^3 \cdot 398,67} = 4,173 \approx 4,2, \quad (13)$$

gdje je :

$$G = 80000 \text{ N/mm}^2 - \text{modul klizanja.}$$

Ukupni broj navoja je prema preporuci jednak:

$$i_{uk} = i_f + 1,5 = 4,2 + 1,5 = 5,7. \quad (14)$$

Nova krutost opruge sa zaokruženim brojem aktivnih navoja iznosi:

$$c_v = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_{sr}^3 \cdot i_f} = \frac{80000 \cdot 29^4}{8 \cdot 162^3 \cdot 4,2} = 396 \text{ N/mm.} \quad (15)$$

Stisnuta duljina bloka (visina opruge kad se navoji dodiruju) prema EN 13906 [5] iznosi:

$$L_c = (i_{uk} - 0,3) \cdot d = (5,7 - 0,3) \cdot 29 = 156,6 \text{ mm.} \quad (16)$$

Pri opterećenju opruge navoji se ne smiju dotaknuti već među njima treba ostati minimalni razmak. On je prema normi [5] definiran i iznosi:

$$S_a = 0,02 \cdot i_f \cdot (D_{sr} + d) = 0,02 \cdot 4,2 \cdot (162 + 29) = 16 \text{ mm.} \quad (17)$$

Najmanja dopuštena visina opruge tako iznosi:

$$L_n = L_c + S_a = 156,60 + 16 = 172,60 \text{ mm.} \quad (18)$$

Maksimalni ostvarivi hod opruge je tada jednak:

$$f_{max} = L_{0v} - L_n = 264 - 172,6 = 91,4 \text{ mm,} \quad (19)$$

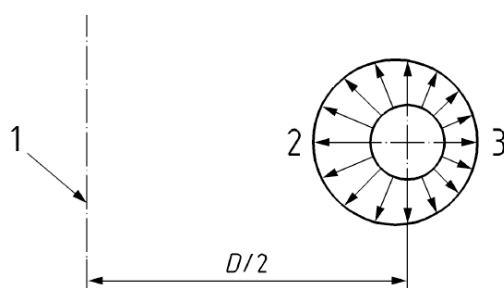
što zadovoljava zahtjevu od 76 mm.



### 3.2. Provjera naprezanja vanjske opruge

Pri najvećoj dopuštenoj masi vagona vanjska opruga opterećena je silom  $F_2 = 24,5$  kN u statičkim uvjetima. Uzimajući u obzir da su opruge u vožnji opterećene dinamički, iste će biti provjerene na trajnu čvrstoću ( $N = 2 \cdot 10^6$ ) uz pretpostavku da opterećenje može porasti do 30%.

Prema EN 13906 [5], za dinamički opterećene opruge izračunato naprezanje treba korigirati faktorom  $k$  zato što raspodjela naprezanja po presjeku opruge nije jednolika već je na unutarnjem kraju naprezanje veće. Slika 4. prikazuje raspodjelu tangencijalnog naprezanja po poprečnom presjeku šipke opruge gdje je označeno: (1) središnja os opruge, (2) najveće i (3) najmanje torzijsko naprezanje po presjeku.



Slika 4. Raspodjela tangencijalnog naprezanja po poprečnom presjeku šipke opruge [5]

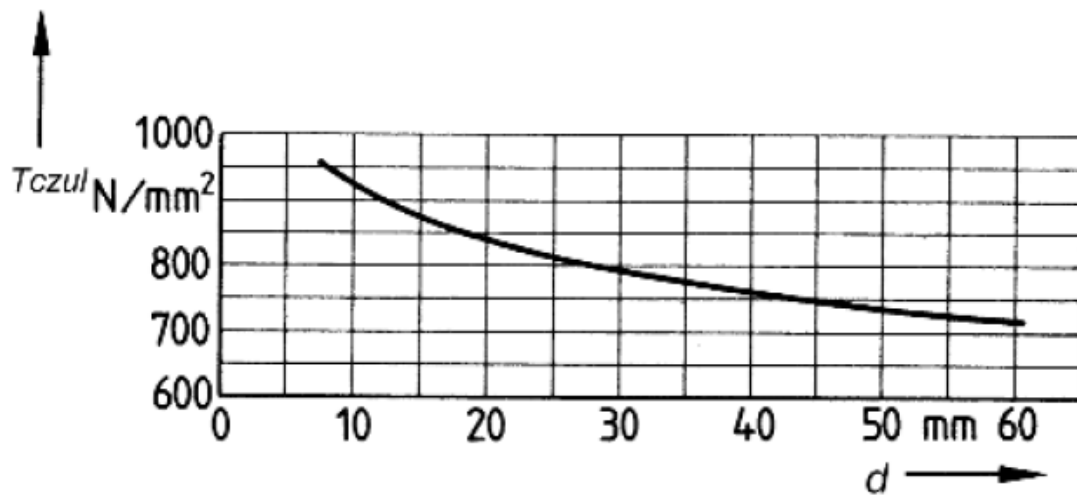
Korekcijski faktor  $k$  ovisi o odnosu namatanja opruge  $w$  i može se izračunati izrazom prema Bergsträsseru [5]:

$$k = \frac{w + 0,5}{w - 0,75} \quad (20)$$

gdje je:

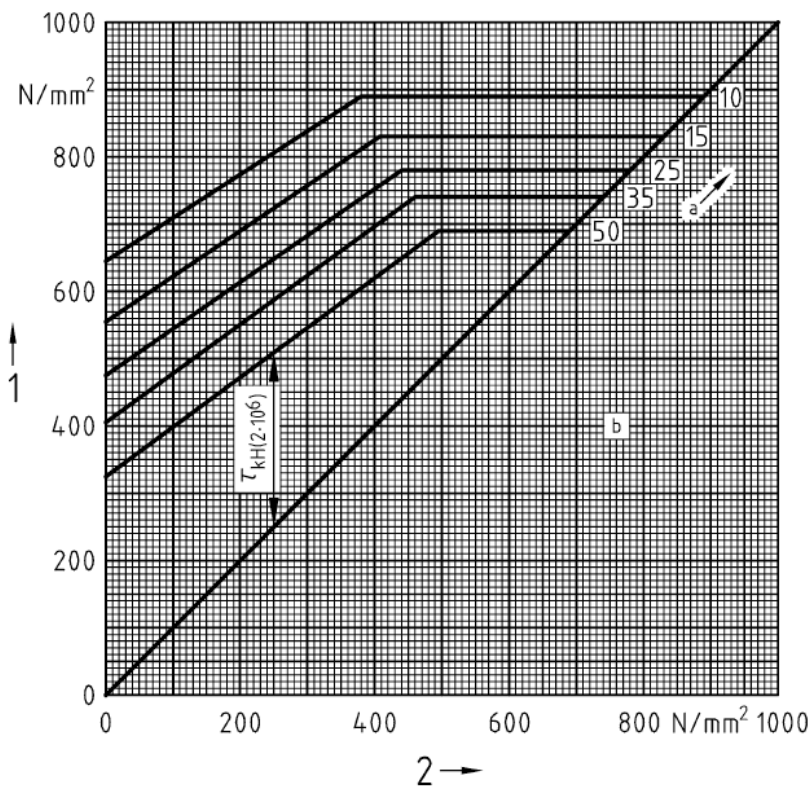
$$w = \frac{D_{sr}}{d} - \text{odnos namatanja opruge.}$$

Korigirano naprezanje u opruzi najprije mora biti manje od dopuštenog nekorigiranog naprezanja pri nalegnutim navojima  $\tau_{czul}$  prema grafu iz EN13906 [5] prikazanom na slici 5. koji vrijedi za čelike za opruge prema EN 10089 u ovisnosti o debljini šipke iz koje je napravljena opruga.



Slika 5. Dopušteno nekorigirano naprezanje  $\tau_{czul}$  pri nalegnutim navojima u ovisnosti o debljini šipke  $d$  [5]

Nadalje, naprezanje hoda opruge koje je jednako razlici gornjeg i donjeg torzijskog naprezanja mora ostati manje od dopuštenog prema dijagramu trajne čvrstoće na slici 6. za iste materijale.



Slika 6. Dijagram trajne čvrstoće toplo oblikovanih opruga [5]

Na slici 6. prikazan je dijagram trajne čvrstoće toplo oblikovanih opruga za materijale definirane prema EN 10089 u brušenom ili fino tokarenom stanju, obrađene sačmarenjem. Na dijagramu je brojem (1) označena vertikalna os koja prikazuje vrijednosti maksimalnog korigiranog torzijskog naprezanja, a brojem (2) horizontalna os koja prikazuje minimalno korigirano torzijsko naprezanje. Slovom (a) označeni su promjeri šipke opruge, a (b) naznačuje da se radi o broju ciklusa  $N = 2 \cdot 10^6$  prema [5].

Pri opterećenju silom  $F_2 = 24,5$  kN idealno torzijsko naprezanje u opruzi iznosi:

$$\tau_2 = \frac{8 \cdot D_{sr} \cdot F_2}{\pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot 162 \cdot 24500}{\pi \cdot 29^3} = 414 \text{ N/mm}^2. \quad (21)$$

Odnos namatanja vanjske opruge iznosi:

$$w = \frac{D_{sr}}{d} = \frac{162}{29} = 5,59. \quad (22)$$

Korekcijski faktor iznosi:

$$k = \frac{w + 0,5}{w - 0,75} = \frac{5,59 + 0,5}{5,59 - 0,75} = 1,26. \quad (23)$$

Korigirano torzijsko naprezanje iznosi:

$$\tau_{k2} = k \cdot \tau_2 = 1,26 \cdot 414 = 521 \text{ N/mm}^2. \quad (24)$$

Donje torzijsko naprezanje jednako je:

$$\tau_{kd} = 0,7 \cdot \tau_{k2} = 0,7 \cdot 521 = 365 \text{ N/mm}^2. \quad (25)$$

Gornje torzijsko naprezanje jednako je:

$$\tau_{kg} = 1,3 \cdot \tau_{k2} = 1,3 \cdot 521 = 678 \text{ N/mm}^2. \quad (26)$$

Naprezanje hoda opruge iznosi:

$$\tau_{kH} = \tau_{kg} - \tau_{kd} = 678 - 365 = 313 \text{ N/mm}^2. \quad (27)$$

Očitana vrijednost za dopušteno nekorrigirano naprezanje pri nalegnutim navojima za debljinu šipke od  $d = 29$  mm iznosi prema [5] sa slike 5.:

$$\tau_{czul} \approx 790 \text{ N/mm}^2. \quad (28)$$

Pa usporedbom rezultata vidimo da je

$$\tau_{k2} = 677,97 \text{ N/mm}^2 < \tau_{czul} \approx 790 \text{ N/mm}^2, \quad (29)$$

što znači da vanjska opruga po ovom kriteriju zadovoljava.

Nadalje, očitana vrijednost za dopušteno naprezanje hoda opruge pri dinamičkom opterećenju za debljinu šipke od  $d = 29$  mm iznosi prema [5] sa slike 6.:

$$\tau_{kHdop} \approx 650 \text{ N/mm}^2. \quad (30)$$

Usporedbom rezultata vidimo da je

$$\tau_{kH} = 312,91 \text{ N/mm}^2 < \tau_{kHdop} \approx 650 \text{ N/mm}^2. \quad (31)$$

što znači da i po ovom kriteriju vanjska opruga zadovoljava.

### 3.3. Proračun unutarne opruge

Unutrašnja opruga pri opterećenju silom  $F_2 = 24,5$  kN mora poprimiti visinu:

$$L_{2u} = 206 \text{ mm}, \quad (32)$$

što znači da za istu silu ostvari progib koji je jednak:

$$f_{2u} = L_{0u} - L_{2u} = 234 - 206 = 28 \text{ mm}. \quad (33)$$

Potrebna krutost unutrašnje opruge tada iznosi:

$$c_u = \frac{F_2}{f_{2u}} = \frac{24500}{28} = 875 \text{ N/mm}. \quad (34)$$

Ako se za promjer šipke uzme  $d = 24$  mm, potreban broj navoja s opružnim djelovanjem iznosi prema EN 13906 [5]:

$$i_f = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_{sr}^3 \cdot c_u} = \frac{80000 \cdot 24^4}{8 \cdot 90^3 \cdot 875} = 5,201 \approx 5,2, \quad (35)$$

gdje je :

$$G = 80000 \text{ N/mm}^2 - \text{modul klizanja.}$$

Ukupni broj navoja je prema preporuci jednak:

$$i_{uk} = i_f + 1,5 = 5,2 + 1,5 = 6,7. \quad (36)$$

Nova krutost opruge sa zaokruženim brojem aktivnih navoja iznosi:

$$c_u = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_{sr}^3 \cdot i_f} = \frac{80000 \cdot 24^4}{8 \cdot 90^3 \cdot 5,2} = 875 \text{ N/mm}. \quad (37)$$

Stisnuta duljina bloka (visina opruge kad se navoji dodiruju) prema EN 13906 [5] iznosi:

$$L_c = (i_{uk} - 0,3) \cdot d = (6,7 - 0,3) \cdot 24 = 153,6 \text{ mm}. \quad (38)$$

Pri opterećenju opruge navoji se ne smiju dotaknuti već među njima treba ostati minimalni razmak. On je prema normi [5] definiran preko zbroja svih udaljenosti i iznosi:

$$S_a = 0,02 \cdot i_f \cdot (D_{sr} + d) = 0,02 \cdot 5,2 \cdot (90 + 24) = 11,9 \text{ mm.} \quad (39)$$

Najmanja dopuštena visina opruge tako iznosi:

$$L_n = L_c + S_a = 153,6 + 11,9 = 165,5 \text{ mm.} \quad (40)$$

Maksimalni ostvarivi hod opruge je tada jednak:

$$f_{max} = L_{0v} - L_n = 234 - 165,5 = 68,5 \text{ mm,} \quad (41)$$

što zadovoljava prema zahtjevu od  $76 - 30 = 46 \text{ mm}$ .

### 3.4. Provjera naprezanja unutrašnje opruge

Provjera naprezanja unutrašnje opruge provodi se na isti način kao što je prikazano za vanjsku oprugu.

Pri opterećenju silom  $F_2 = 24,5$  kN idealno torzijsko naprezanje u opruzi iznosi:

$$\tau_2 = \frac{8 \cdot D_{sr} \cdot F_2}{\pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot 90 \cdot 24500}{\pi \cdot 24^3} = 406 \text{ N/mm}^2. \quad (42)$$

Odnos namatanja vanjske opruge iznosi:

$$w = \frac{D_{sr}}{d} = \frac{90}{24} = 3,75. \quad (43)$$

Korekcijski faktor iznosi:

$$k = \frac{w + 0,5}{w - 0,75} = \frac{3,75 + 0,5}{3,75 - 0,75} = 1,42. \quad (44)$$

Korigirano torzijsko naprezanje iznosi:

$$\tau_{k2} = k \cdot \tau_2 = 1,42 \cdot 406,18 = 575 \text{ N/mm}^2. \quad (45)$$

Donje torzijsko naprezanje jednako je:

$$\tau_{kd} = 0,7 \cdot \tau_{k2} = 0,7 \cdot 575 = 403 \text{ N/mm}^2. \quad (46)$$

Gornje torzijsko naprezanje jednako je:

$$\tau_{kg} = 1,3 \cdot \tau_{k2} = 1,3 \cdot 575 = 748 \text{ N/mm}^2. \quad (47)$$

Naprezanje hoda opruge iznosi:

$$\tau_{kH} = \tau_{kg} - \tau_{kd} = 748 - 403 = 345 \text{ N/mm}^2. \quad (48)$$

Očitana vrijednost za dopušteno nekorrigirano naprezanje pri nalegnutim navojima za debljinu šipke od  $d = 24$  mm nešto je veća od one za vanjsku oprugu i iznosi prema [5] sa slike 5.:

$$\tau_{czul} \approx 810 \text{ N/mm}^2. \quad (49)$$

Pa usporedbom rezultata vidimo da je

$$\tau_{kg} = 748 \text{ N/mm}^2 < \tau_{czul} \approx 810 \text{ N/mm}^2. \quad (50)$$

što znači da unutrašnja opruga po ovom kriteriju zadovoljava.

Nadalje, očitana vrijednost za dopušteno naprezanje hoda opruge pri dinamičkom opterećenju za debljinu šipke od  $d = 24$  mm iznosi prema [5] sa slike 6.:

$$\tau_{kHdop} \approx 350 \text{ N/mm}^2. \quad (51)$$

Usporedbom rezultata vidimo da je

$$\tau_{kH} = 345 \text{ N/mm}^2 < \tau_{kHdop} \approx 350 \text{ N/mm}^2. \quad (52)$$

što znači da i po ovom kriteriju unutrašnja opruga zadovoljava.



### 3.5. Karakteristika ovjesa

Dimenzije i karakteristike opruga prikazane su tablicom 4.

**Tablica 4. Dimenzije i karakteristike proračunatih opruga**

	Srednji promjer $D_{sr}$	Debljina šipke $d$	Neopterećena visina - $L_0$	Krutost opruge $c$
	[mm]	[mm]	[mm]	[N/mm]
Vanjska opruga	162	29	264	396
Unutrašnja opruga	90	24	234	875

Obzirom da su opruge smještene jedna u drugoj, u trenutku kada im se visine izjednače, odnosno vanjska opruga ostvari progib od 30 mm one skupa čine paralelni spoj opruga pa je njihova ukupna krutost jednaka

$$c_{uk} = c_v + c_u = 396 + 875 = 1271 \text{ N/mm.} \quad (53)$$

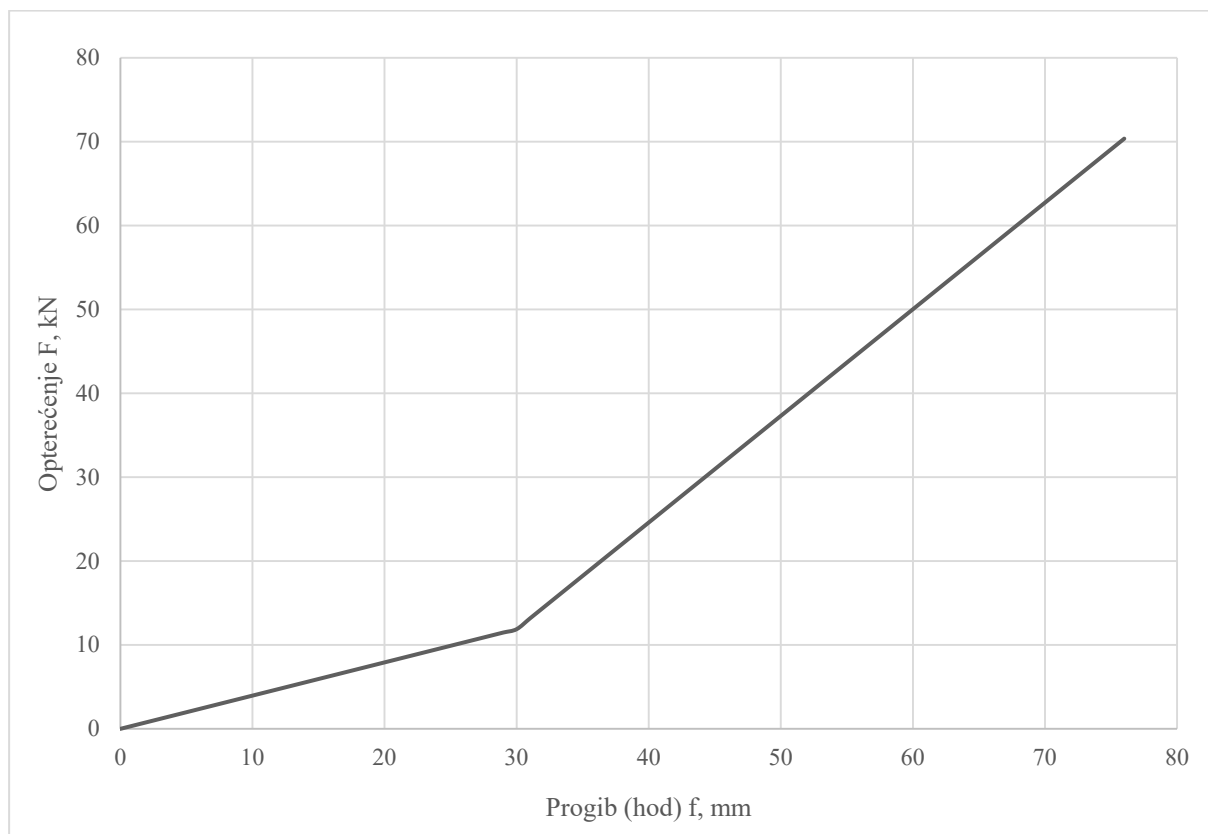
Na okretnom postolju nalazi se ukupno 8 parova opruga, po 4 na jednom osovinskom slogu pa ukupna krutost ovjesa do osovinskog opterećenja od 6,1 t, odnosno do progiba od 30 mm glasi:

$$c_{okr\_uk\_1} = 8 \cdot c_v = 8 \cdot 396 = 3,17 \text{ kN/mm.} \quad (54)$$

Nakon progiba od 30 mm, odnosno nakon što osovinsko opterećenje prijeđe vrijednost od 6,1 t, ukupna krutost ovjesa iznosi:

$$c_{okr\_uk\_2} = 8 \cdot c_{uk} = 8 \cdot 1271 = 10,17 \text{ kN/mm.} \quad (55)$$

Na slici 7. prikazan je dijagram opterećenja jednog para proračunatih opruga gdje se vidi povećanje krutosti nakon progiba od 30 mm.



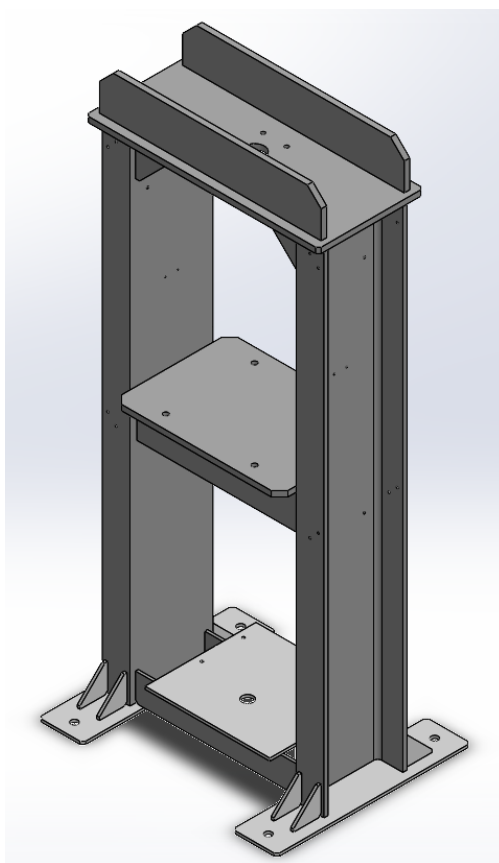
**Slika 7. Karakteristika ovjesa s proračunatim oprugama**

## 4. Naprava za ispitivanje opruga

Naprava za ispitivanje opruga mora ispuniti više zadaća. Osnovna zadaća je kontrola visine neopterećene opruge. Također, naprava se koristi za dugotrajno ispitivanje opruga pod opterećenjem. Ispitivanje se sastoji od opterećivanja opruge frekvencijom od 5 ciklusa u minuti s ukupno  $10^3$  ciklusa. Jedan ciklus se pri tome sastoji od opterećenja opruge do progiba od 76 mm i rasterećenja iste. Tijekom ispitivanja bilježe se podaci o iznosu opterećenja i visini opruge kako bi se mogla potvrditi tražena krutost opruge.

### 4.1. Okvir naprave

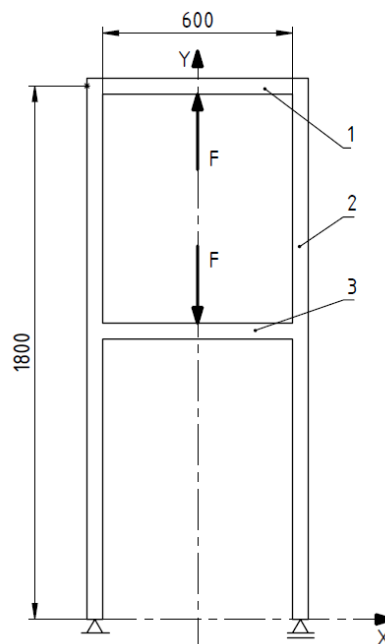
Okvir naprave konstruiran je u zavarenoj izvedbi. Sastoji se od dva vertikalna UPE 300 profila koji su povezani gornjim i donjim poprečnim nosačima izrađenih od čeličnih ploča. Ova izvedba odabrana je zbog veće krutosti u odnosu na konzolnu i jednostavnosti u odnosu na lijevanu izvedbu. 3D model zavarene konstrukcije prikazan je na slici 8.



Slika 8. 3D model zavarenog okvira naprave

#### 4.1.1. Provjera čvrstoće okvira

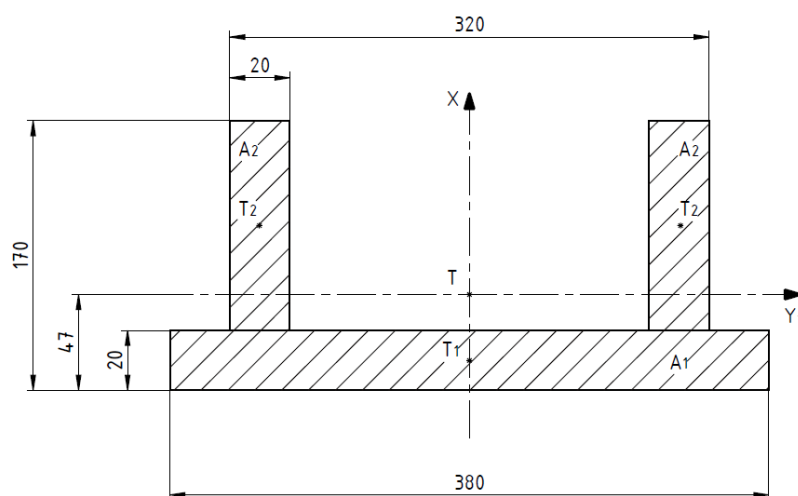
Prema tablici 3. sila do koje se ispituju opruge iznosi 24,5 kN. Za proračun konstrukcije i naprave uzeta je uz faktor sigurnosti sila od 30 kN. Za provjeru čvrstoće konstrukcije korišten je pojednostavljeni model konstrukcije na slici 9. gdje su označeni s (1) gornji poprečni nosač, (2) bočni UPE 300 profil i (3) donji poprečni nosač.



Slika 9. Model okvirne konstrukcije

#### Gornji poprečni nosač (1)

Gornji nosač izrađen je od tri zavarene ploče čiji je poprečni presjek prikazan na slici 10.



Slika 10. Poprečni presjek gornjeg nosača

Moment inercije presjeka obzirom na os  $y_i$  računa se prema izrazu:

$$I_y = \sum \left( \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} + c_i^2 \cdot A_i \right), \quad (56)$$

gdje je:

$b_i$  – širina pojedinog dijela presjeka,

$h_i$  – visina pojedinog dijela presjeka,

$c_i$  – udaljenost težišta pojedinog dijela presjeka od težišta cijelog presjeka,

$A_i$  – površina pojedinog dijela presjeka.

Uvrštavanjem vrijednosti u jednadžbu ( ) dobijemo da je moment inercije presjeka jednak:

$$I_y = 24316600 \text{ mm}^4. \quad (57)$$

Najveći moment savijanja koji opterećuje nosač iznosi:

$$M_y = F \cdot l, \quad (58)$$

gdje je:

$F = 30 \text{ kN}$  – proračunska sila,

$l = 300 + 29 = 329 \text{ mm}$  – udaljenost na kojoj djeluje sila,

pa je on jednak:

$$M_y = 30000 \cdot 0,329 = 9870 \text{ Nm}. \quad (59)$$

Najveće naprezanje uslijed savijanja izračunava se prema izrazu:

$$\sigma_f = \frac{M_y}{I_y} \cdot x_{max}, \quad (60)$$

gdje je:

$x_{max} = 170 - 47 = 123 \text{ mm}$  – najveća udaljenost od osi težišta.

Najveće naprezanje je tako jednako:

$$\sigma_f = \frac{9,870 \cdot 10^6}{24316600} \cdot 123 = 50 \text{ N/mm}^2. \quad (61)$$

Dopušteno naprezanje za slučaj čistog istosmjernog opterećenja za materijal S355JR prema [6] iznosi:

$$\sigma_{\text{dop(II)}} = 160 \text{ N/mm}^2 > \sigma_f = 50 \text{ N/mm}^2, \quad (62)$$

što znači da nosač zadovoljava.

### UPE bočni profil (2)

UPE profil opterećen je momentom savijanja i uzdužnom silom. Prema [7] karakteristike poprečnog presjeka potrebne za izračun naprezanja iznose:

$$W_y = 75,6 \text{ cm}^4 \quad (63)$$

$$A = 56,6 \text{ cm}^2 \quad (64)$$

gdje su:

$W_y$  – moment otpora poprečnog presjeka,

$A$  – površina poprečnog presjeka.

Naprezanje uslijed savijanja iznosi:

$$\sigma_f = \frac{M_y}{W_y} = \frac{9,870 \cdot 10^6}{75,6 \cdot 10^4} = 13 \text{ N/mm}^2, \quad (65)$$

dok je naprezanje uslijed vlačnog opterećenja jednako:

$$\sigma_v = \frac{F}{A} = \frac{30000}{5660} = 5,3 \text{ N/mm}^2. \quad (66)$$

Ukupno naprezanje jednako je njihovom zbroju i iznosi:

$$\sigma_x = \sigma_f + \sigma_v = 18,3 \text{ N/mm}^2. \quad (67)$$

UPE profil izrađen je iz istog materijala kao i nosači pa sukladno (62) vrijedi:

$$\sigma_{\text{dop(II)}} = 160 \text{ N/mm}^2 > \sigma_x = 18,3 \text{ N/mm}^2, \quad (68)$$

što znači da UPE profil zadovoljava.

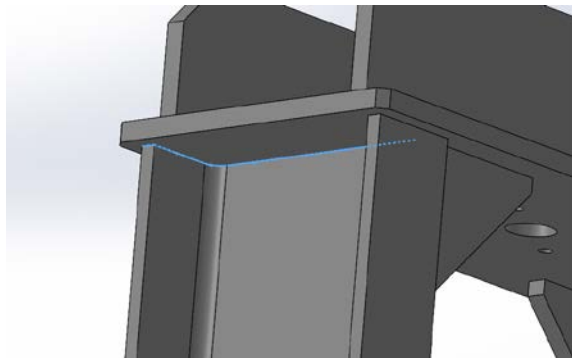
### **Donji poprečni nosač (3)**

Donji poprečni nosač izrađen je također od tri zavarene ploče identičnog poprečnog presjeka kao i gornji nosač. Obzirom da su i opterećeni jednakim silama može se zaključiti da i donji nosač zadovoljava.

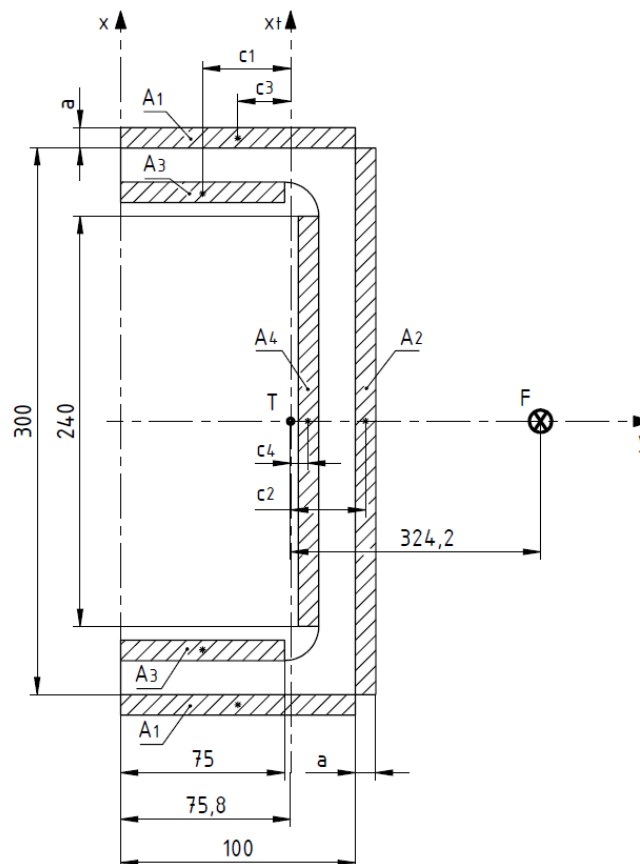
#### 4.1.2. Proračun zavara

Na zavarenoj konstrukciji najopterećeniji su zavari između UPE profila i poprečnih nosača odnosno ploča koje nose ispitnu ploču i hidraulički cilindar. Za proračunsku silu uzeta je također sila od  $F=30$  kN.

#### Proračun zavara UPE profila i gornjeg nosača



Slika 11. Izgled spoja UPE profila i gornjeg nosača



Slika 12. Izgled poprečnog presjeka zavara UPE profila i gornje nosača



Na slici 11. prikazan je položaj zavora na 3D modelu zavarene konstrukcije dok je na slici 12. prikazan poprečni presjek zavora UPE profila i gornjeg nosača s dimenzijama potrebnim za proračun.

Obzirom da je zavar nesimetričan, potrebno je prvo odrediti koordinatu  $y_t$  težišta na osi  $y$  prema izrazu:

$$y_t = \frac{\sum(y_i \cdot A_i)}{\sum A_i}, \quad (69)$$

gdje je:

$y_i$  – koordinata težišta pojedinog presjeka,

$A_i$  – površina pojedinog presjeka.

Površine pojedinih presjeka redom iznose:

$$A_1 = 500 \text{ mm}^2,$$

$$A_2 = 1500 \text{ mm}^2,$$

$$A_3 = 375 \text{ mm}^2 \text{ i}$$

$$A_4 = 1200 \text{ mm}^2.$$

Koordinate težišta pojedinih presjeka iznose:

$$y_1 = 50 \text{ mm},$$

$$y_2 = 102,5 \text{ mm},$$

$$y_3 = 37,5 \text{ mm i}$$

$$y_4 = 88 \text{ mm}.$$

Koordinata težišta iznosi:

$$y_t = \frac{2 \cdot 50 \cdot 500 + 102,5 \cdot 1500 + 2 \cdot 37,5 \cdot 375 + 88 \cdot 1200}{500 + 1500 + 375 + 1200} = 75,8 \text{ mm}. \quad (70)$$

Moment inercije presjeka sastoji se sad od momenta pojedinih presjeka i Steinerovog dodatka te se on računa prema izrazu:

$$I_x = \sum \left( \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} + c_i^2 \cdot A_i \right), \quad (71)$$

Gdje je:

$c_i$  – udaljenost težišta pojedinog dijela presjeka od težišta cijelog presjeka.

Uvrštavanjem vrijednosti dobijemo da moment inercije presjeka obzirom na os  $x_t$  iznosi:

$$I_x = 4204265 \text{ mm}^4. \quad (72)$$

Moment koji opterećuje zavar glasi:

$$M_f = F \cdot r, \quad (73)$$

gdje je:

$F = 30 \text{ kN}$  – proračunska sila,

$r = 300 + (100 - x_t) = 324,2 \text{ mm}$  – udaljenost na kojoj djeluje sila,

pa je on jednak:

$$M_f = 30000 \cdot 0,3242 = 9725 \text{ Nm}. \quad (74)$$

Najveće naprezanje uslijed savijanja izračunava se prema izrazu:

$$\sigma_f = \frac{M_f}{I_x} \cdot y_{max}, \quad (75)$$

gdje je:

$y_{max} = x_t = 75,8 \text{ mm}$  – najveća udaljenost od osi težišta.

Najveće naprezanje je tako jednako:

$$\sigma_f = \frac{9,725 \cdot 10^6}{4204265} \cdot 75,8 = 175 \text{ N/mm}^2. \quad (76)$$

Ono se javlja na tlačnoj strani zavara pa će se označiti sa  $\sigma_{ft}$ .

Na vlačnoj strani zavar, najveće naprezanje koje se javlja od savijanja iznosi:

$$\sigma_{fv} = \frac{M_f}{I_x} \cdot y_{vmax} = \frac{9,725 \cdot 10^6}{4204265} \cdot 29,2 = 68 \text{ N/mm}^2. \quad (77)$$

Sila opterećuje zavar i vlačno konstantnim iznosom po cijelom presjeku:

$$\sigma_{xv} = \frac{F}{A_{uk}} = \frac{30000}{3575} = 9 \text{ N/mm}^2. \quad (78)(79)$$

gdje je:

$F = 30 \text{ kN}$  – proračunska sila,

$A = \sum A_i = 3575 \text{ mm}^2$  – ukupna površina zavara.

Superpozicijom iznosa naprezanja dobijemo vrijednosti naprezanja na vlačnoj i tlačnoj strani naprezanja:

$$\sigma_v = \sigma_{fv} + \sigma_{xv} = 68 + 9 = 77 \text{ N/mm}^2. \quad (80)$$

$$|\sigma_t| = |\sigma_{ft}| - \sigma_{xv} = 175 - 9 = 166 \text{ N/mm}^2. \quad (81)$$

Tijekom ciklusa ispitivanja opruga, zavar je opterećen dinamički. Uzimajući u obzir rad s prekidima i lagani spektar naprezanja te jakim zareznim djelovanjem prema [8] dopušteno naprezanje zavara za čelik S355JR opterećen čisto naizmjenično izosi:

$$\sigma_{D(-1)dop} = 127,3 \text{ N/mm}^2. \quad (82)$$

Zavar je u slučaju naprave opterećen čisto istosmjerno pa se dopušteno naprezanje u vlačnom području izračunava prema izrazu:

$$\sigma_{D(0)dop} = \frac{5}{3} \cdot \sigma_{D(-1)dop} = 212 \text{ N/mm}^2. \quad (83)$$

Usporedbom vrijednosti prema [+] dobijemo da je

$$\sigma_v = 77 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{D(0)dop} = 212 \text{ N/mm}^2 \quad (84)$$

što znači da zavar u vlačnom području zadovoljava.

U tlačnom području dopušteno naprezanje prema [8] iznosi:

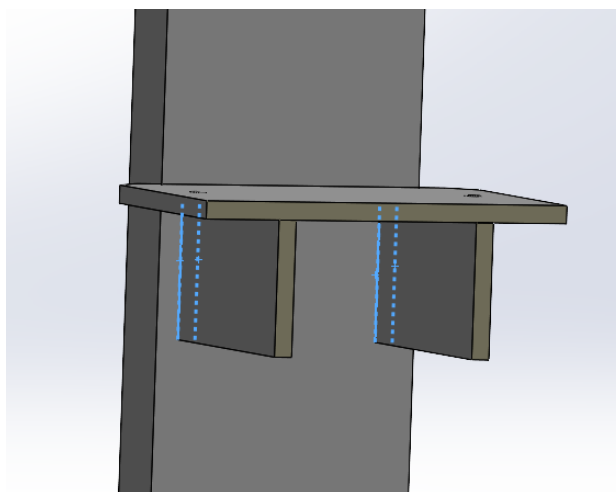
$$\sigma_{Dt(0)dop} = 2 \cdot \sigma_{D(-1)dop} = 254,6 \text{ N/mm}^2. \quad (85)$$

Usporedbom vrijednosti prema [8] dobijemo da je:

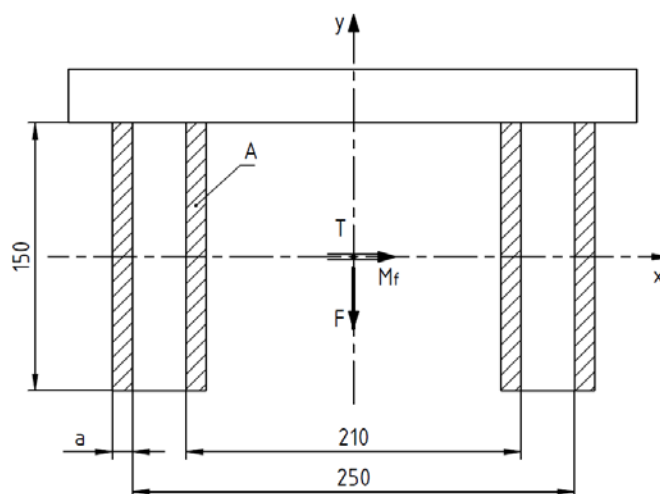
$$\sigma_t = 166 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Dt(0)dop} = 254,6 \text{ N/mm}^2 \quad (86)$$

što znači da zavar zadovoljava i u tlačnom području.

### Proračun zavara UPE profila i donjeg nosača



Slika 13. Položaj zavara UPE profila i donjeg nosača



Slika 14. Poprečni presjek zavara UPE profila i donjeg nosača

Na slici 13. prikazan je položaj zavora UPE profila i donjeg nosača na 3D modelu, dok je na slici 14. prikazan poprečni presjek istog sa dimenzijama potrebnim za proračun.

Za proračunsku debljinu zavora  $a = 6 \text{ mm}$  dimenzije zavora su:

$$b = a = 6 \text{ mm}, \quad h = 150 \text{ mm}. \quad (87)$$

Statički moment inercije zavora u odnosu na os x glasi:

$$I_x = 4 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} = 4 \cdot \frac{6 \cdot 150^3}{12} = 5625000 \text{ mm}^4. \quad (88)$$

Moment koji opterećuje zavar glasi:

$$M_f = F \cdot r, \quad (89)$$

gdje je:

$F = 30 \text{ kN}$  – proračunska sila,

$r = 300 \text{ mm}$  – udaljenost na kojoj djeluje sila,

pa je on jednak:

$$M_f = 30000 \cdot 0,3 = 9000 \text{ Nm}. \quad (90)$$

Naprezanje uslijed savijanja izračunava se prema izrazu:

$$\sigma_f = \frac{M_f}{I_x} \cdot y_{max}, \quad (91)$$

gdje je:

$$y_{max} = \frac{h}{2} = 75 \text{ mm} \text{ – najveća udaljenost od osi x.}$$

Naprezanje uslijed savijanja tako jednako:

$$\sigma_f = \frac{9 \cdot 10^6}{5625000} \cdot 75 = 120 \text{ N/mm}^2. \quad (92)$$

Zavar je opterećen i smično te se smično naprezanje računa prema izrazu:

$$\tau = \frac{F}{A}, \quad (93)$$

gdje je:

$F = 30 \text{ kN}$  – proračunska sila,

$A = 4 \cdot 150 \cdot 5 = 3000 \text{ mm}^2$  – površina zavora paralelnih sa smjerom sile.

Smično naprezanje iznosi:

$$\tau = \frac{30000}{3000} = 10 \text{ N/mm}^2. \quad (94)$$

Prema teoriji najveće distorzijske energije, reducirano naprezanje u zavaru iznosi:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_f^2 + \tau^2} = \sqrt{120^2 + 10^2} = 120,4 \text{ N/mm}^2. \quad (95)$$

Zavar je opterećen dinamički isto kao i prethodni pa u ovom slučaju vrijede dopuštena naprezanja izračunata za prethodni zavar. Vrijedi izraz za dopušteno naprezanje za zavar opterećen čisto istosmjerno iz čelika S355JR prema [8]:

$$\sigma_{D(0)dop} = \frac{5}{3} \cdot \sigma_{D(-1)dop} = 212 \text{ N/mm}^2. \quad (96)$$

Usporedbom vrijednosti dobijemo da vrijedi:

$$\sigma_{red} = 120,4 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{D(0)dop} = 212 \text{ N/mm}^2, \quad (97)$$

što znači da zavar zadovoljava.

## 4.2. Sklop za mjerenje sile

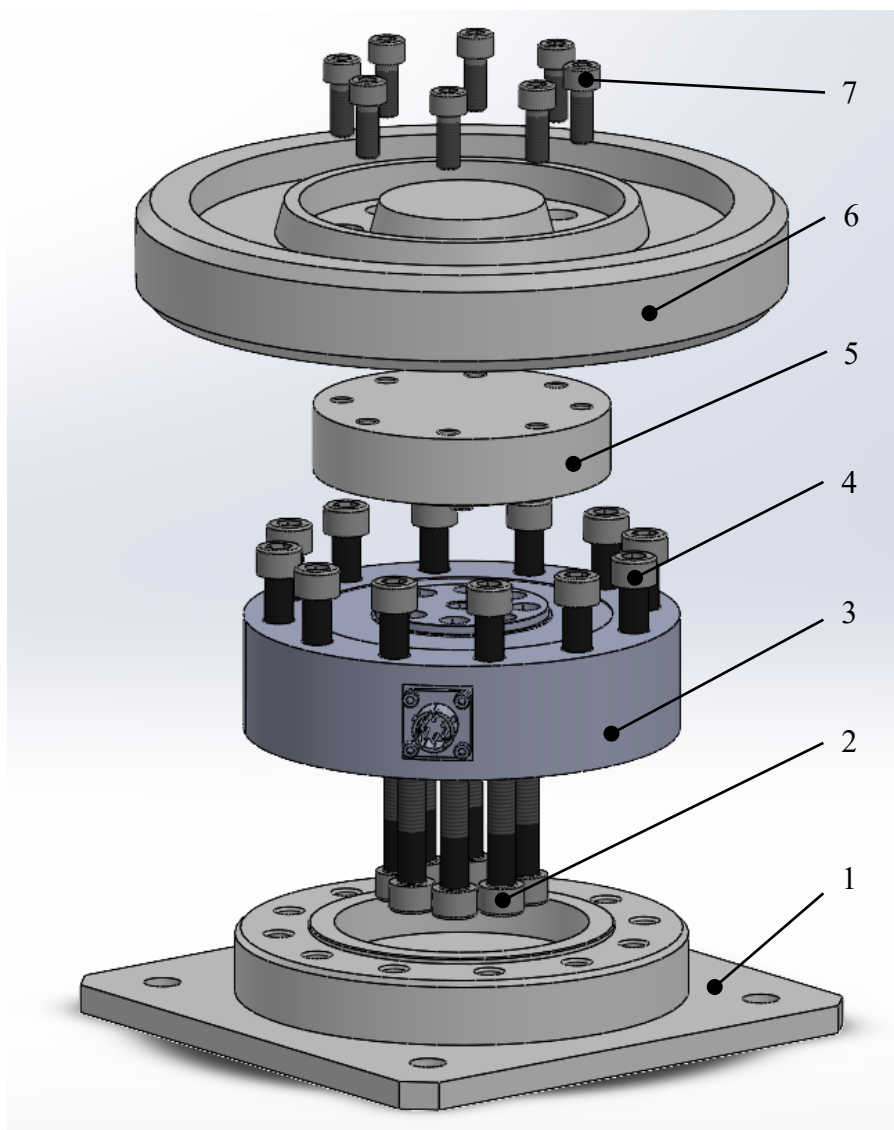
Za mjerenje sile odabran je U10F senzor proizvođača HBK (Hottinger Bruel & Kjaer) za nazivne sile do 50 kN. Senzor je zavarene izvedbe, hermetički zatvoren i izrađen od nehrđajućeg čelika. Pogodan je za statička i dinamička mjerenja te ima ugrađenu kompenzaciju parazitnih poprečnih sila i momenata koji se mogu pojaviti prilikom mjerenja. Na slici 15. prikazan je senzor iz serije U10F.



Slika 15. Senzor sile U10F [9]

Prema uputama proizvođača pri montaži senzora preporuča se spajanje M12 vicima s finim navojem. U ovom slučaju to su vijci prema standardu DIN 912 M12x1.25 duljine 55 mm. Zbog velike širine ispitne ploče na koju naleže opruga korišteno je produljenje kako bi montaža bila ostvariva.

Na slici 16. prikazan je sklop za mjerenje sile u razvijenom pogledu radi preglednosti. Prvo se vijcima M12x1.25 (2) spaja senzor (3) i produljenje ispitne ploče (5). Zatim se vijcima (4) povezuje spojeni sklop sa postoljem senzora (1). Na kraju se kraćim vijcima M8x1.0 (7) povezuje ispitna ploča (6) opruge s produljenjem. Prednost ovakve konstrukcije je modularnost, odnosno zamjenom samo ispitne ploče opruge omogućeno je ispitivanje opruga raznih dimenzija bez da se sklop senzora rastavlja u potpunosti.



**Slika 16. Sklop senzora sile u razvijenom pogledu**

Proizvođač također preporuča korištenje SRS serije vijaka čvrstoće 12.9 s antikoroziivnim premazom i ujednačenim koeficijentom trenja na navojima da bi se osigurao siguran spoj.

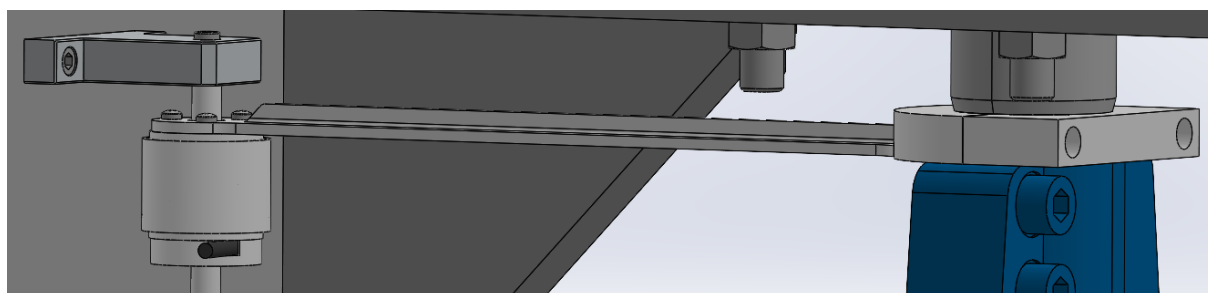


### 4.3. Sklop za mjerenje pomaka

Za mjerenje pomaka odabran je linearni apsolutni magnetski aksijalni enkoder LinACE™ InAxis proizvođača RLS. Navedeni enkoder ima mogućnost mjerenja pomaka do 450 mm s rezolucijom od 0,5  $\mu\text{m}$  što je i više nego dovoljno za konstruiranu napravu. Enkoder se sastoji od kodirane osovine i pomične glave s integriranim ležajima te je prikazan na slici 17.



Slika 17. LinACE™ InAxis apsolutni enkoder [10]



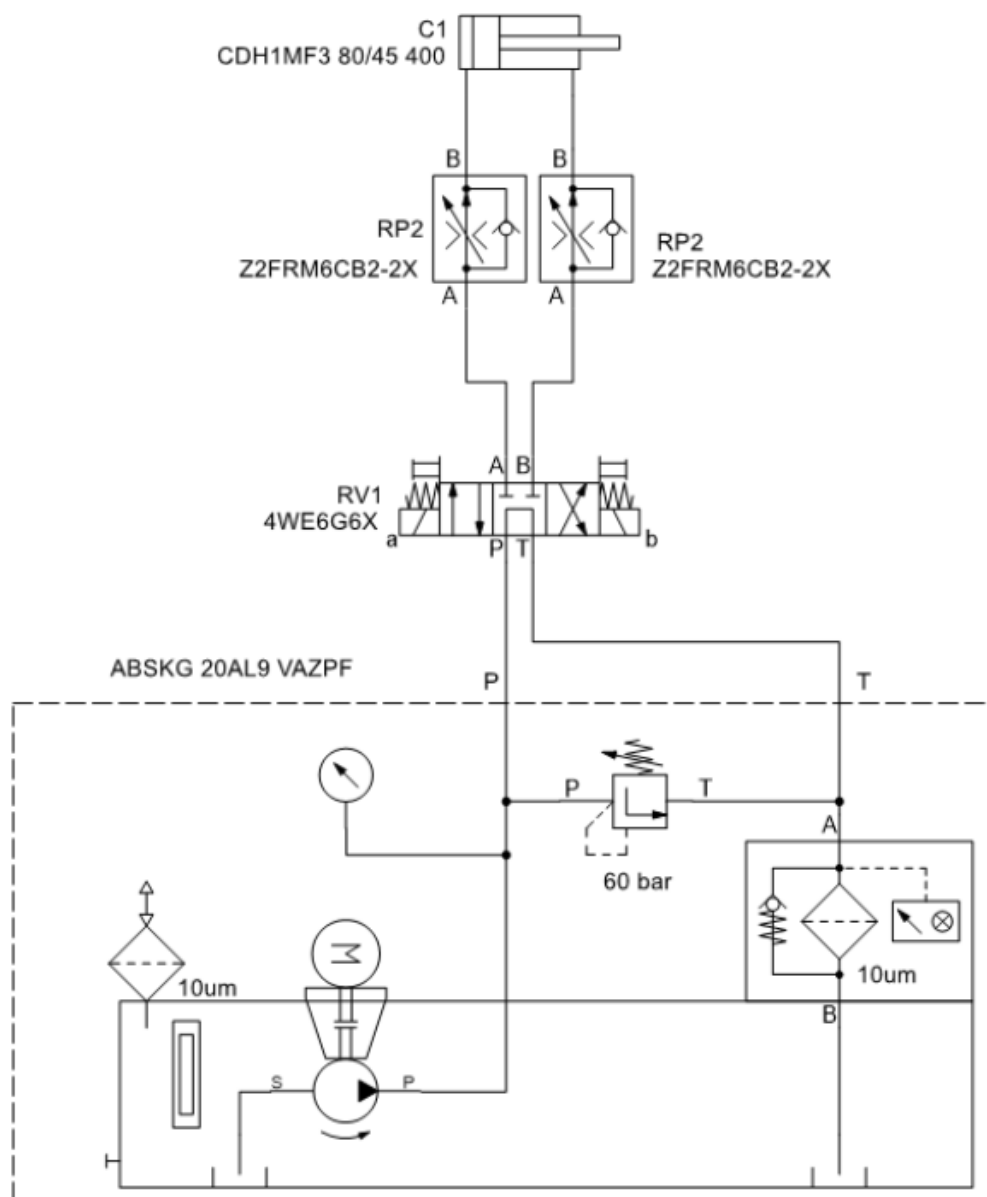
Slika 18. Enkoder u sklopu naprave

Na slici 18. prikazan je montirani enkoder u glavnom sklopu naprave. Osovina enkodera je montirana na unutrašnjoj strani UPE profila s dva držača. Glava enkodera je dvodijelnom polugom povezana s klipnjačom hidrauličkog cilindra. Poluga se na enkoder spaja s tri M3x6 vijka po standardu DIN EN ISO 7045, a na klipnjaču vijcima M5x12 prema DIN 912.

Pri montaži sklopa enkodera treba obratiti pozornost da ne dođe do uklještenja. Obzirom da je sklop i veza sa klipnjačom kruta, prije stezanja vijaka držača osovine enkodera treba klipnjaču cilindra dovesti u svoje krajnje položaje kako bi se osovina enkodera poravnala sa klipnjačom.

#### 4.4. Hidraulički sustav

Za opterećenje opruga prilikom ispitivanja odabran je hidraulički sustav. On se sastoji od pogonskog agregata s pripadajućom opremom (pumpa, spremnik, filter, sigurnosni ventil, nepovratni ventil), upravljačkih elemenata i cilindra kao izvršnog elementa. Razvodnik 4/3 omogućuje skretanje radne tekućine u potrebnom smjeru za kretanje klipnjače. Jednosmjerni regulatori protoka na svakoj strani priključka cilindra omogućuju regulaciju protoka u oba smjera kretanja klipnjače. Shema hidrauličkog sustava prikazana je na slici 19. s oznakama korištenih komponenti.



Slika 19. Shema hidrauličkog sustava

#### 4.4.1. Proračun hidrauličkog sustava

Za proračunsku silu na cilindru uzeto je  $F = 30$  kN obzirom da je ona potrebna za sabijanje opruga na zadani progib od 76 mm. Potrebnu brzinu klipa dobije se iz uvjeta da se pri ispitivanju opruga ciklus mora ponoviti 5 puta u minuti. Prema tome, jedan ciklus traje 12 sekundi. Kako se ciklus sastoji od sabijanja i vraćanja opruge, klipnjača cilindra mora preći put od 76 mm u pola ciklusa pa je prema tome potrebna brzina klipnjače:

$$v_{kl} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,076}{6} = 12,67 \text{ mm/s.} \quad (98)$$

Potrebna površina klipa ovisi o nazivnom tlaku i sili koju treba ostvariti na klipnjači. Za nazivni tlak sustava odabrana je vrijednost  $p_N = 60$  bar. Potrebna površina klipa tako iznosi:

$$A_{1potr} = \frac{F}{p_N} = \frac{30000}{60 \cdot 10^6} = 50 \text{ cm}^2. \quad (99)$$

Prema katalogu proizvođača Bosch Rexroth odabran je hidraulički cilindar CDH1 MF3 promjera klipa 80 mm i promjera klipnjače 45 mm. Površina klipa prema katalogu iznosi:

$$A_1 = 50,26 \text{ cm}^2. \quad (100)$$

Za postizanje tražene brzine klipnjače teorijski potreban protok iznosi:

$$Q_{teor} = A_1 \cdot v_{kl} = 50,26 \cdot 10^{-4} \cdot 0,01267 \cdot 6 \cdot 10^4 = 3,82 \text{ dm}^3/\text{min.} \quad (101)$$

Stvarni potrebni protok iznosi:

$$Q_{cil} = Q_{teor} \cdot \eta_{cv} = 3,9 \text{ dm}^3/\text{min}, \quad (102)$$

Gdje je:

$$\eta_{cv} = 0,98 \text{ – volumetrijski stupanj iskoristivosti cilindra.}$$

Potrebna snaga pumpe mora biti veća od snage koja je potrebna na cilindru i računa se prema izrazu:

$$P_{potr} = \frac{F \cdot v_{kl}}{\eta_{puk}}, \quad (103)$$

gdje je:

$$\eta_{puk} = \eta_{pv} \cdot \eta_{pm} = 0,95 \cdot 0,95 = 0,9 - \text{ukupni stupanj korisnosti pumpe,}$$

$$\eta_{pv} - \text{volumetrijski stupanj korisnosti pumpe,}$$

$$\eta_{pm} - \text{mehanički stupanj korisnosti pumpe.}$$

Potrebna snaga pumpe tako iznosi:

$$P_{potr} = \frac{30000 \cdot 0,001267}{0,9} = 422 \text{ W.} \quad (104)$$

Prema katalogu Bosch Rexroth odabrana je zupčasta pumpa s vanjskim ozubljenjem tipa AZPB.

Specifični protok, odnosno volumen komore odabrane pumpe iznosi:

$$V_q = 3,1 \text{ cm}^3. \quad (105)$$

Protok pumpe računa se prema izrazu:

$$Q_p = V_q \cdot n_{EM} \cdot \eta_{pv}, \quad (106)$$

gdje je:

$$n_{EM} = 1450 \text{ min}^{-1} - \text{brzina vrtnje elektromotora, odnosno pumpe,}$$

$$\eta_{pv} = 0,95 - \text{volumetrijski stupanj korisnosti pumpe,}$$

te on iznosi:

$$Q_p = 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1450 \cdot 0,95 = 4,27 \text{ dm}^3/\text{min.} \quad (107)$$

Razlika potrebnog protoka cilindra i stvarnog protoka pumpe stvara gubitke u sustavu koji se manifestiraju kao toplina koja povisuje temperaturu radne tekućine.

Razlika protoka iznosi:

$$\Delta Q = Q_p - Q_{cil} = 4,27 - 3,9 = 0,37 \text{ dm}^3/\text{min}. \quad (108)$$

Snaga gubitaka iznosi:

$$P_{gub} = \Delta Q \cdot p_N = \frac{0,37}{6 \cdot 10^4} \cdot 60 \cdot 10^5 = 37 \text{ W}. \quad (109)$$

Toplina koju tekućina preuzima na sebe u jednom ciklusu:

$$Q_{gub} = \frac{P_{gub}}{\Delta t} = \frac{37}{6} = 6,17 \text{ J}. \quad (110)$$

Za spremnik tipa ABSKG volumena 20 litara i toplinu koju spremnik može odvesti dobijemo maksimalni porast temperature radne tekućine:

$$\Delta T = \frac{Q_{gub}}{\sum(k \cdot A)}, \quad (111)$$

gdje je:

$k = 11 \text{ W/m}^2\text{K}$  – koeficijent prijelaza topline za zatvoreni prostor bez strujanja zraka,

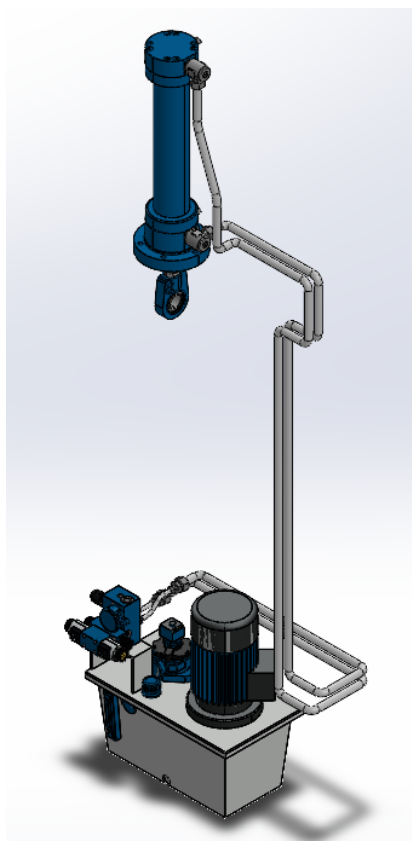
$A = 0,5 \text{ m}^2$  – oplahivana površina spremnika (prema katalogu).

Maksimalna temperatura radne tekućine prema navedenom iznosi:

$$T_{max} = T_0 + \frac{Q_{gub}}{\sum(k \cdot A)} = 25 + \frac{36,17}{11 \cdot 0,5} = 26,1 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (112)$$

#### 4.4.2. Izvedba hidrauličkog sustava

U izvedbi hidrauličkog sustava korištene su komponente proizvođača Bosch Rexroth. U svojoj ponudi nude konfiguriranje pogonskog agregata prema potrebama korisnika. Odabran je pogonski agregat tipa ABSKG snage maksimalne snage 1,5 kW, pumpe sa specifičnim protokom od 3,1 cm<sup>3</sup>, filterom i popratnom opremom. Konfiguriranje uključuje i mogućnost montaže pojedinih komponenti iz ponude direktno na razvodni blok pogonskog agregata što daleko pojednostavljuje izvedbu. Tako su električno aktivirani 4/3 razvodnik tipa 4WE6G6X i regulator protoka s kontrolom u A i B kanalu tipa Z2FRM6CB2-2X za protoke do 6 dm<sup>3</sup>/min smješteni direktno na agregat. Kao izvršni element odabran je cilindar opće namjene CDH1MF3 80/45 duljine hoda klipnjače 400 mm, produžetkom klipnjače 50 mm i okretnom glavom tipa CGAK.

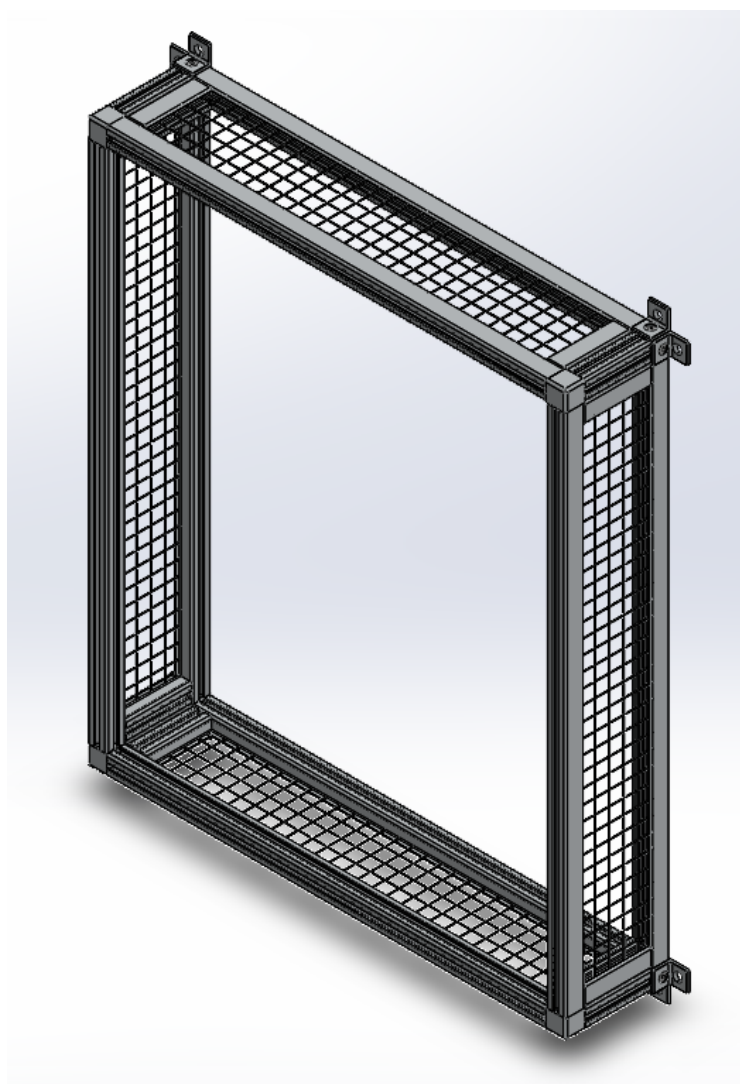


Slika 20. Izvedba hidrauličkog sustava

Za izvedbu cjevovoda korištene su komponente proizvođača HANSA-FLEX, što uključuje čelične cijevi promjera 22 mm od čelika E235 s uslugom savijanja cijevi prema zahtjevima te priključci i oprema za učvršćivanje cijevi. 3D model hidrauličkog sustava prikazan je na slici 20.

#### 4.5. Zaštitna ograda

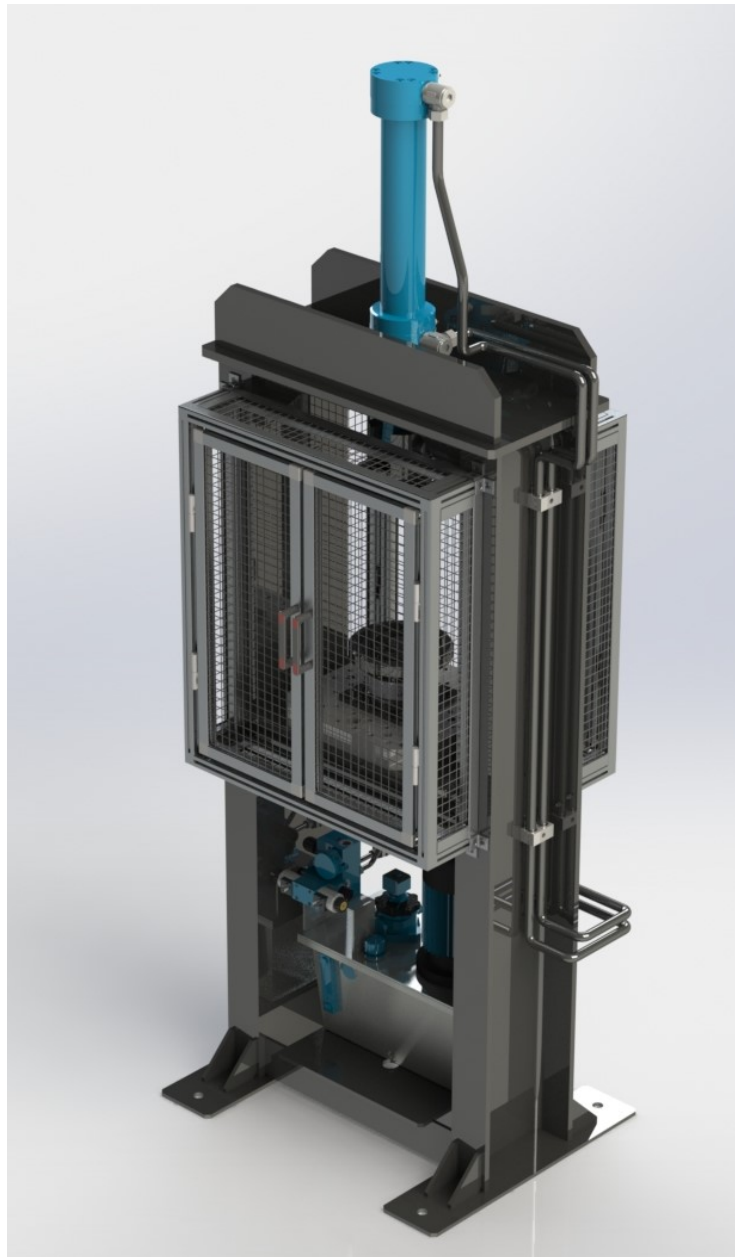
U pogledu sigurnosti, napravu treba ograditi kako bi se zaštitilo operatera od mogućih nezgoda u radu, ali isto tako onemogućiti prilazak pokretnim dijelovima naprave u radu. Zato je ugrađena zaštitna ograda izvedena iz modularnih dijelova proizvođača item Industrietchnik. Zaštitna ograda se sastoji od ekstrudiranih aluminijskih profila u koje je umetnuta čelična ograda 40x40 mm debljine 3.8 mm. Ugrađena su i dvokrilna vrata sa obje strane naprave radi bolje pristupačnosti. Na slici 21. prikazan je 3D model fiksnog dijela zaštitne ograde bez vrata.



Slika 21. 3D model fiksnog dijela zaštitne ograde

#### 4.6. Gotovi izgled naprave

Na slici 22. prikazan je gotovi izgled naprave sa montiranim hidrauličkim sustavom, zaštitnom ogradom i vratima.



Slika 22. Izgled gotove naprave za ispitivanje opruga



## 5. Zaključak

U radu je proveden proračun opruga okretnog postolja Y25 prema zadanim ulaznim podacima. Pri proračunu korištene su upute i preporuke prema aktualnom standardu EN 13906. Dimenzije opruga definirane su konstrukcijom okretnog postolja pa se proračunom tražio odgovarajući broj zavoja opruga te je iste trebalo provjeriti prema dopuštenim naprezanjima. Pri provjeri naprezanja uzeto je u obzir dinamičko opterećenje opruga prema uvjetima koji se javljaju pri radu istih. Nadalje, konstruirana je naprava za dugotrajno ispitivanje opruga koja je potrebna kako bi se opruge što bolje uparile pri ugradnji s ciljem ravnomjerne raspodjele opterećenja na ležaje. Naprava se sastoji od konstrukcije u zavarenoj izvedbi na koju su montirani sklopovi potrebni za provedbu ispitivanja. Za opterećivanje opruga koristi se hidraulički cilindar sa agregatom potrebnim za pogon istog. Podatke o progibu i sili bilježe apsolutni aksijalni enkoder i senzor sile. Ugrađena je i zaštitna ograda oko prostora u kojem se tijekom ispitivanja opterećuju opruge kako bi se smanjila mogućnost ozljeda pri radu.

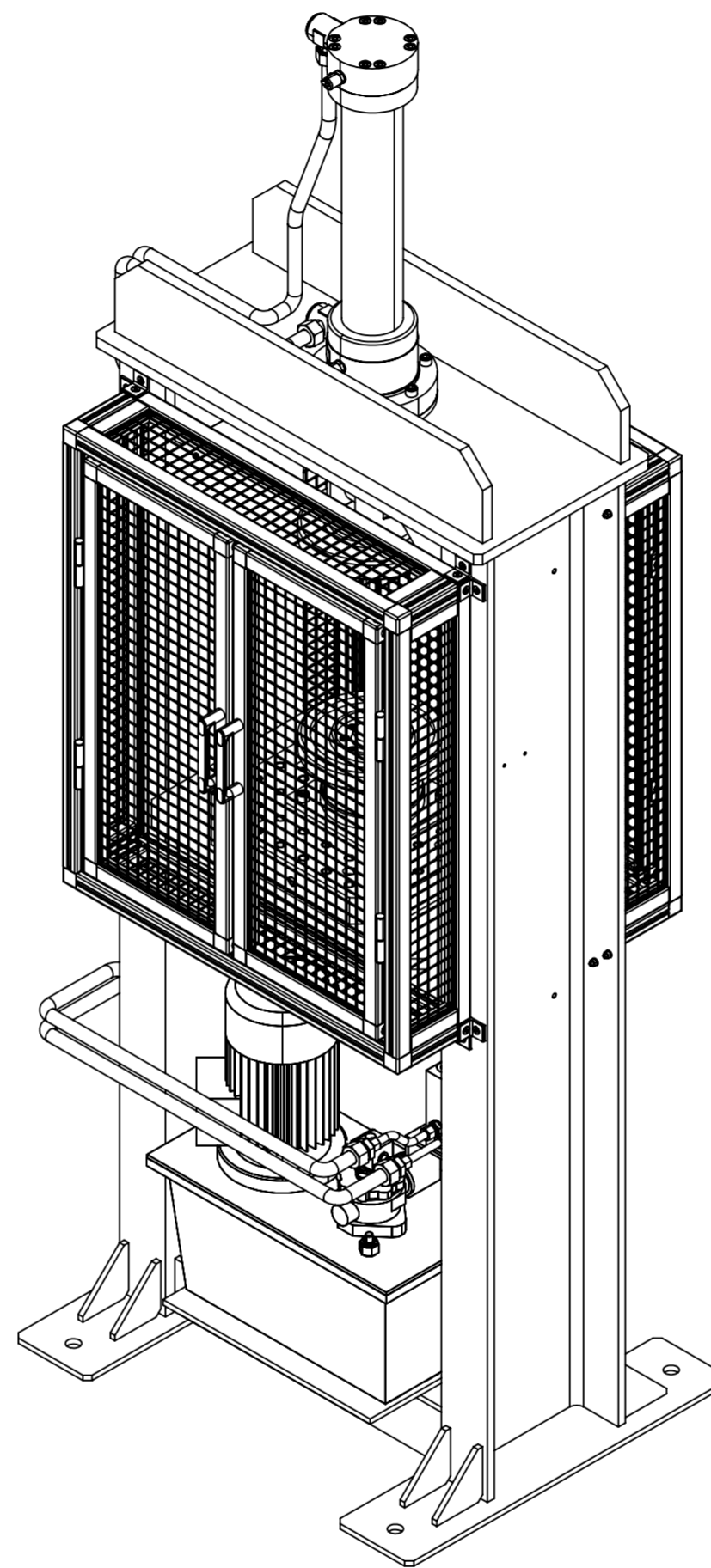
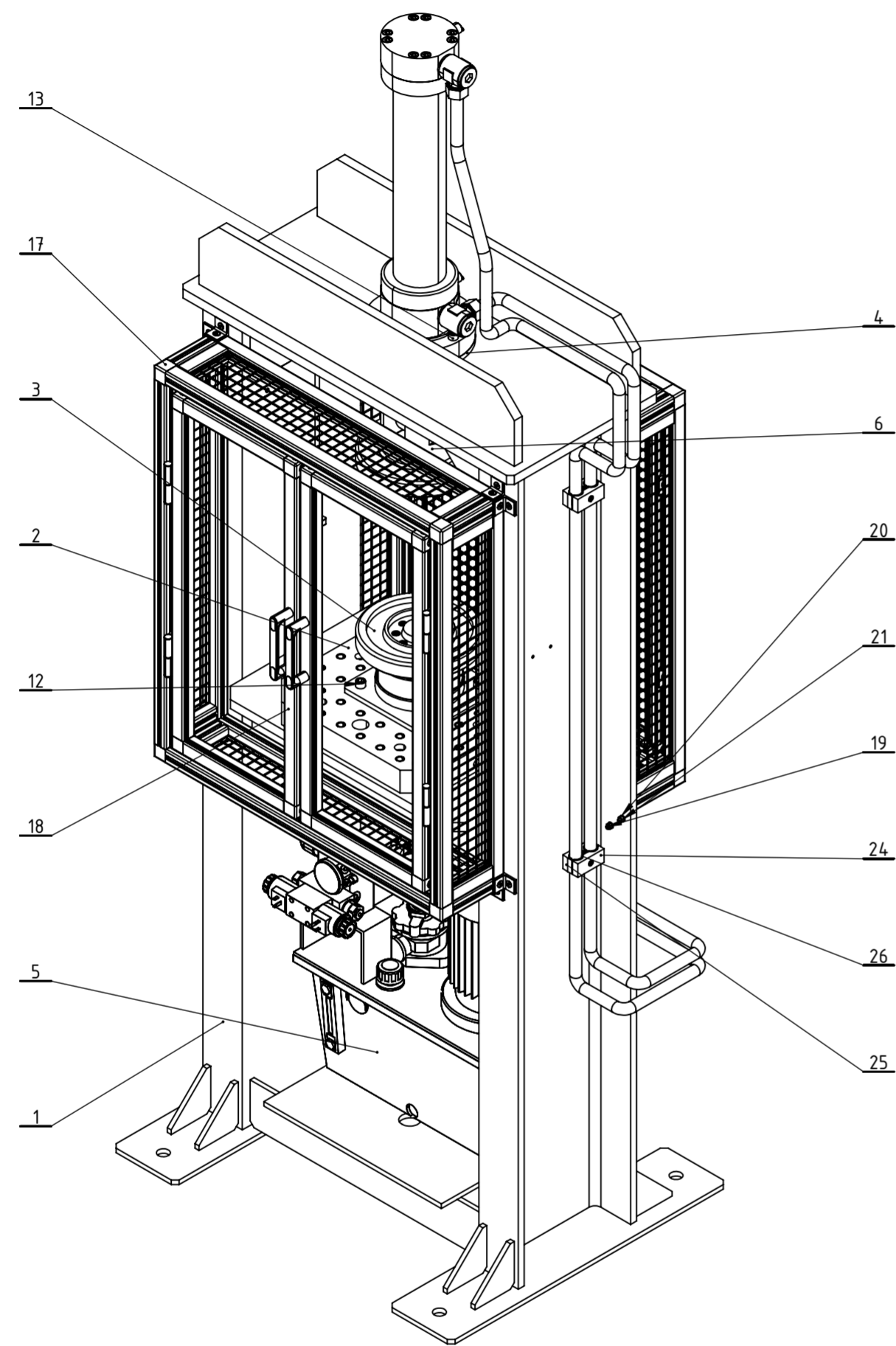
---

## LITERATURA

- [1] HŽ Cargo. Serije vagona.  
[https://www.hzcargo.hr/serije\\_vagona.php?page=2](https://www.hzcargo.hr/serije_vagona.php?page=2)
- [2] ELH Eisenbahnlaufwerke Halle GmbH & Co. KG  
<http://www.elh.de/en/products/y25>
- [3] TŽV Gredelj. Okretno postolje Y25.  
[http://tzv-gredelj.hr/site/wp-content/uploads/2020/07/TZV\\_Gredelj\\_Letak\\_Y25\\_A4.pdf](http://tzv-gredelj.hr/site/wp-content/uploads/2020/07/TZV_Gredelj_Letak_Y25_A4.pdf)
- [4] Ihme, J.: Rail Vehicle Technology, Springer, 2022.
- [5] BS EN 13906-1:2013 Cylindrical helical springs made from round wire and bar
- [6] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 2009.
- [7] B2Bmetal.eu  
<http://www.b2bmetal.eu/upe-european-standard-u-channels-u-profile-with-parallel-flanges--upe-steel-beam-specifications-dimensions-properties>
- [8] Kranjčević, N.: Elementi strojeva, Zagreb, 2012.
- [9] HBK Germany. U10f Precision Force Sensor.  
<https://www.hbm.com/en/10049/u10f-precision-load-cell-with-flange-connections/?prod>
- [10] RLS. LinACE™ InAxis linear cylindrical encoder.  
<https://www.rls.si/eng/linace-absolute-linear-shaft-encoder>
- [11] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 2006.
- [12] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.

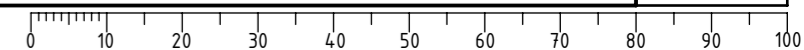
## **PRILOZI**

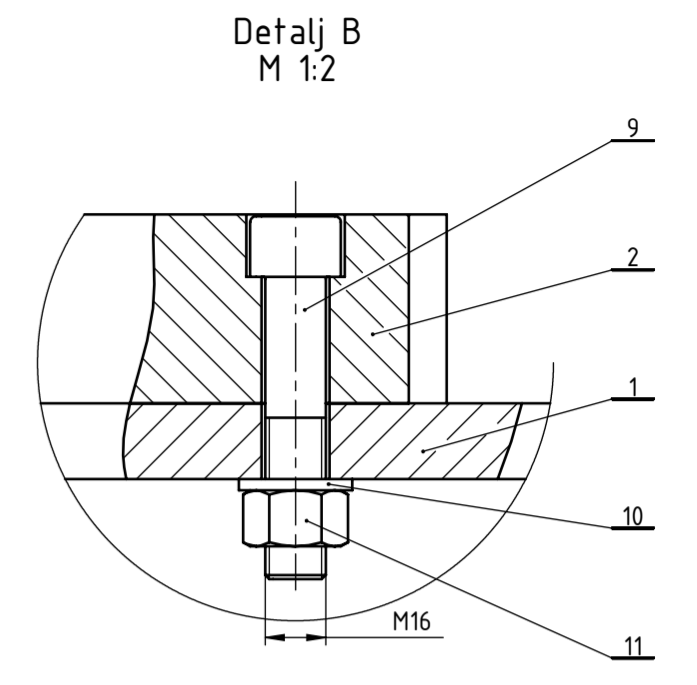
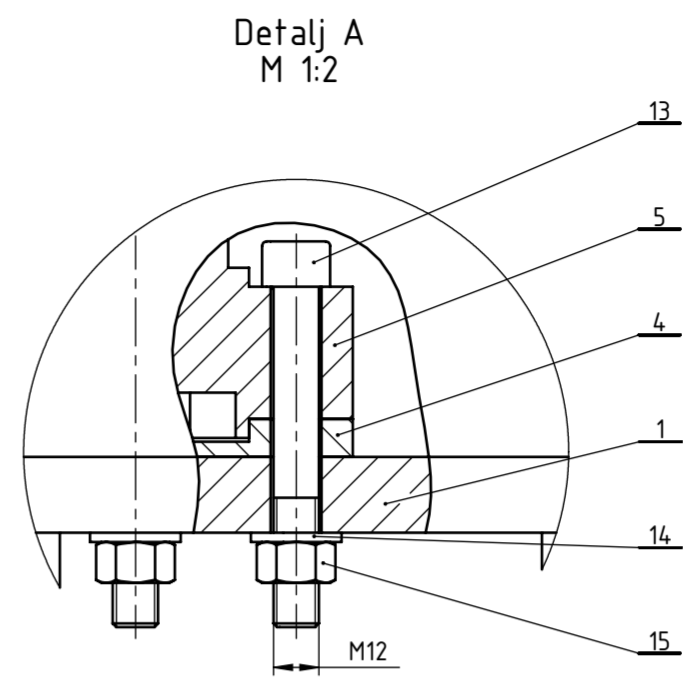
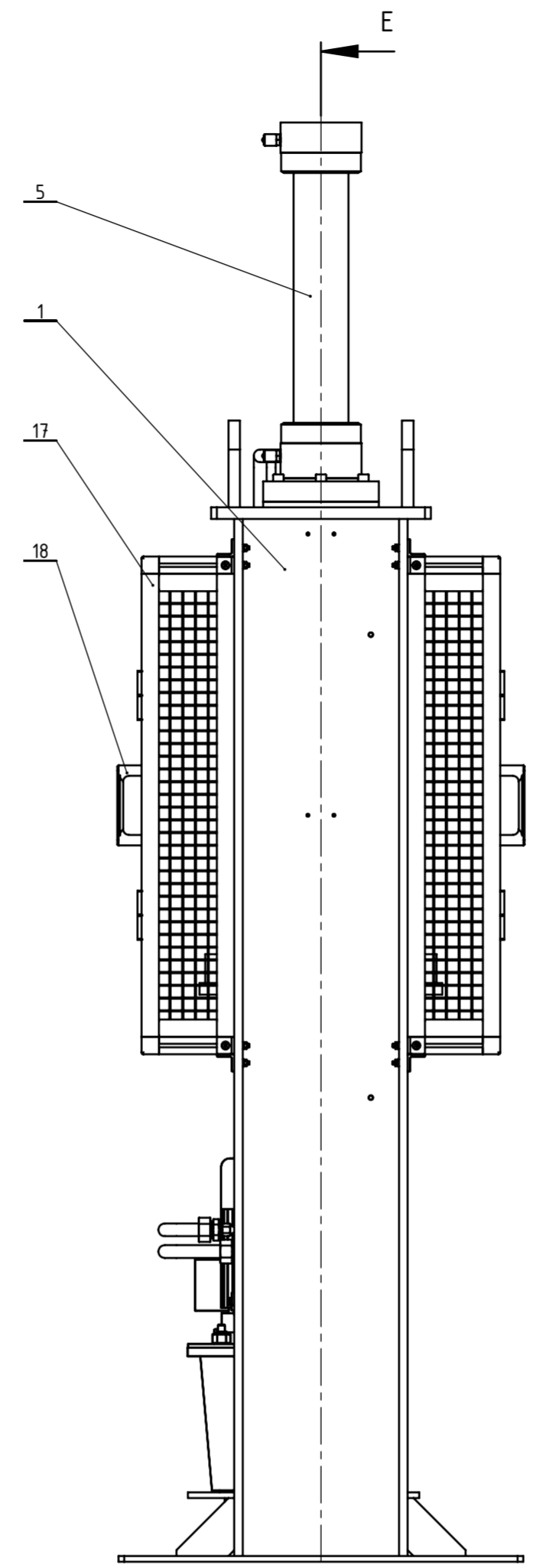
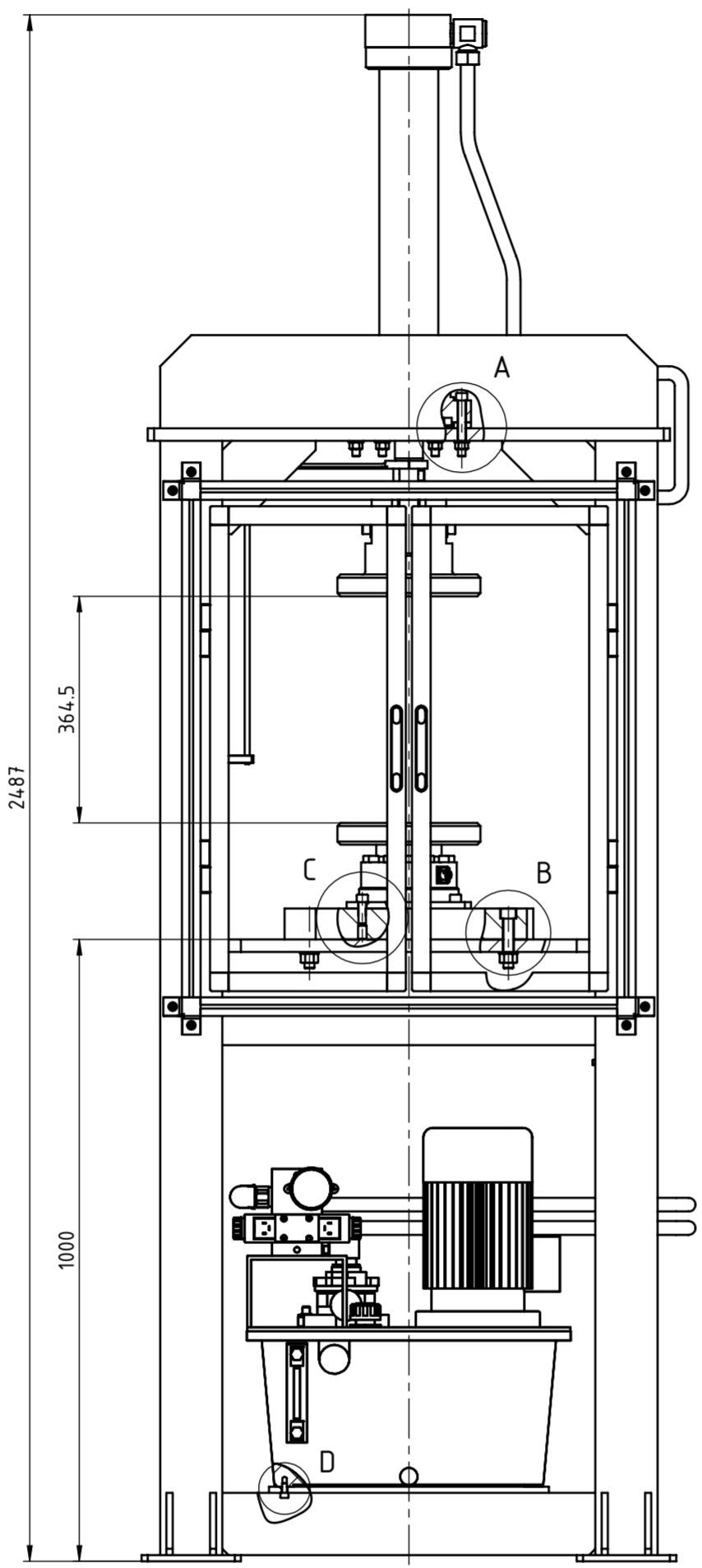
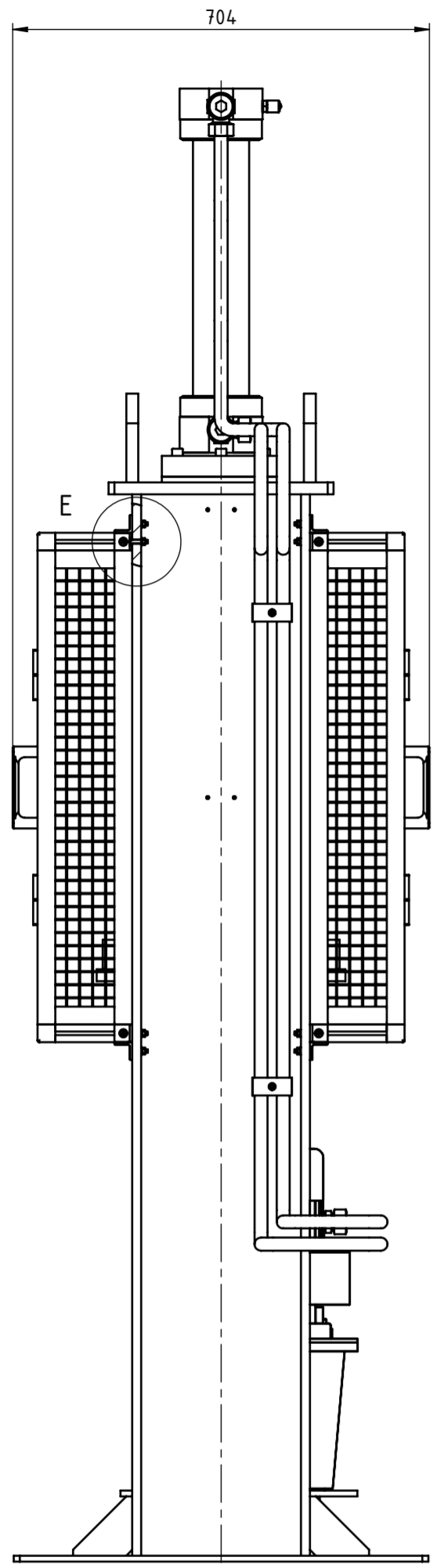
### I. Tehnička dokumentacija



32	Vijak M6x20	2	DIN 912	8.8	Bossard	0.007
31	Mjerni produžetak B	1	-	E295	76x30x13	0.14
30	Vijak M3x6	3	DIN EN ISO 7045	8.8	Bossard	0.001
29	Vijak M5x12	6	DIN 912	8.8	Bossard	0.004
28	Mjerni produžetak A	1	-	E295	272x76x13	0.30
27	Sklop senzora pomaka	1	-	-	RLS	0.50
26	Umetak šelne SRS EINR 322 PARA	4	-	PA 6	HANSA-FLEX	0.00
25	Šelna donji dio SRS UTR 325 D PARA	2	-	PA 6	HANSA-FLEX	0.02
24	Šelna gornji dio SRS OTR 325 D Para	2	-	PA 6	HANSA-FLEX	0.02
23	Vijak šelne M8x14	2	-	8.8	HANSA-FLEX	0.01
22	Vijak M8x16	4	DIN 912	8.8	Bossard	0.013
21	Matica M6	16	DIN EN 24032	8	Bossard	0.003
20	Podloška za M6	16	DIN 125	A	Bossard	0.001
19	Vijak M6x30	16	DIN 7991	8.8	Bossard	0.007
18	Vrata zaštitne ograde	4	-	-	780x330x72	2.39
17	Okvir zaštitne ograde	2	-	-	920x790x160	8.33
16	Uskočnik 40	2	DIN 471	-	Seeger-Orbis	0.006
15	Matica M12	6	DIN EN 24032	12	Bossard	0.016
14	Podloška za M12	6	DIN 125	A	Bossard	0.006
13	Vijak M12x90	6	DIN 912	12.9	Bossard	0.098
12	Vijak M12x35	4	DIN 912	12.9	Bossard	0.050
11	Matica M16	4	DIN EN 24032	12	Bossard	0.039
10	Podloška za M16	4	DIN 125	A	Bossard	0.011
9	Vijak M16x80	4	DIN 912	12.9	Bossard	0.169
8	Čahura	2	-	E295	∅ 44 / ∅ 40x13	0.03
7	Svornjak ispitne ploče	1	-	E295	∅ 40x150	1.46
6	Ispitna ploča cilindra	1	-	E295	∅ 230x155	17.10
5	Sklop hidraulike	1	LD-ZR22-214.109-103	-	2367x773x418	98.80
4	Priрубnica cilindra	1	-	S355J2H	∅ 187x10	1.51
3	Sklop senzora sile	1	LD-ZR22-214.109-102	-	∅ 230x138	21.00
2	Bazna ploča 400x400	1	DIN 55201	EN-GJL-300	Kipp	52.04
1	Zavarena konstrukcija	1	LD-ZR22-214.109-101	-	1942x860x700	363.34
Poz.	Naziv	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		20.09.2022	Luka Deak		
Razradio		20.09.2022	Luka Deak		
Crtao		20.09.2022	Luka Deak		
Pregledao					
ISO - tolerancije		Objekt:	Objekt broj:		
			R. N. broj:		
Napomena:					Kopija
Materijal:		Masa: 584.66kg			
		Naziv: <b>Naprava za ispitivanje opruga</b>		Pozicija:	Format: A2
Mjerilo originala					Listova: 3
M1:10		Crtež broj: LD-ZR-214.109-100		List: 1	

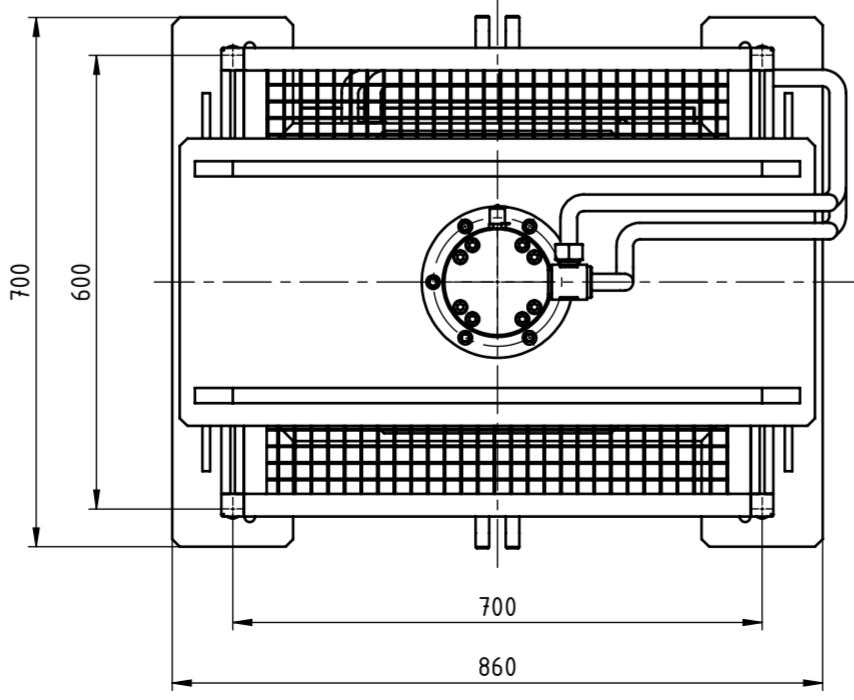
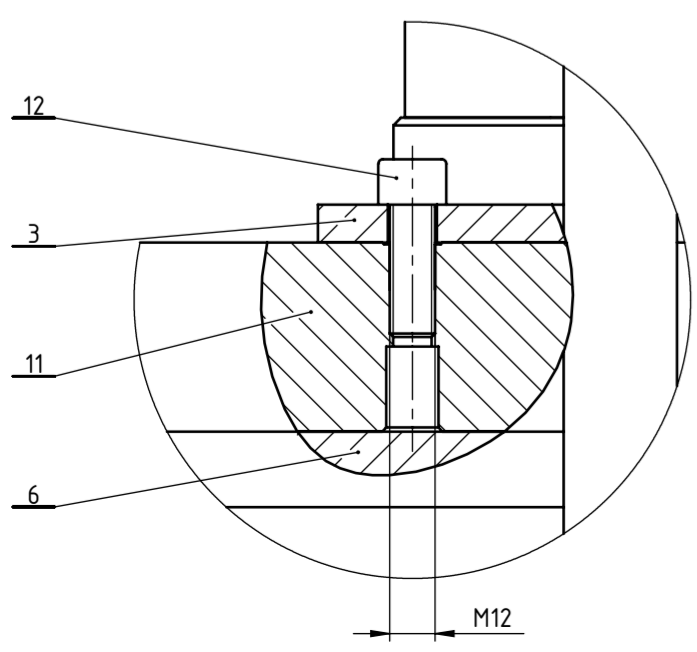




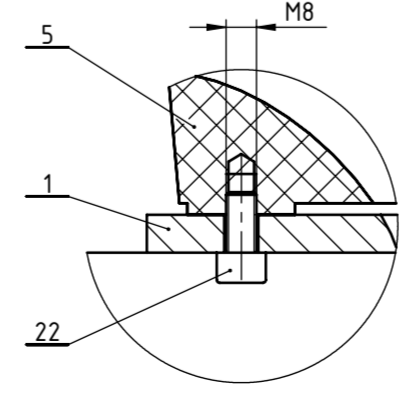
Napomena: Na crtežu nije prikazana zaštitna mreža na vratima (pozicija 18) zbog preglednosti.

Poz.	Naziv	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
32	Vijak M6x20	2	DIN 912	8.8	Bossard	0.007
31	Mjerni produžetak B	1	-	E295	76x30x13	0.14
30	Vijak M3x6	3	DIN EN ISO 7045	8.8	Bossard	0.001
29	Vijak M5x12	6	DIN 912	8.8	Bossard	0.004
28	Mjerni produžetak A	1	-	E295	272x76x13	0.30
27	Sklop senzora pomaka	1	-	-	RLS	0.50
26	Umetak šelne SRS EINR 322 PARA	4	-	PA 6	HANSA-FLEX	0.00
25	Šelna donji dio SRS UTR 325 D PARA	2	-	PA 6	HANSA-FLEX	0.02
24	Šelna gornji dio SRS OTR 325 D Para	2	-	PA 6	HANSA-FLEX	0.02
23	Vijak šelne M8x14	2	-	8.8	HANSA-FLEX	0.01
22	Vijak M8x16	4	DIN 912	8.8	Bossard	0.013
21	Matica M6	16	DIN EN 24032	8	Bossard	0.003
20	Podloška za M6	16	DIN 125	A	Bossard	0.001
19	Vijak M6x30	16	DIN 7991	8.8	Bossard	0.007
18	Vrata zaštitne ograde	4	-	-	780x330x72	2.39
17	Okvir zaštitne ograde	2	-	-	920x790x160	8.33
16	Uskočnik 40	2	DIN 471	-	Seeger-Orbis	0.006
15	Matica M12	6	DIN EN 24032	12	Bossard	0.016
14	Podloška za M12	6	DIN 125	A	Bossard	0.006
13	Vijak M12x90	6	DIN 912	12.9	Bossard	0.098
12	Vijak M12x35	4	DIN 912	12.9	Bossard	0.050
11	Matica M16	4	DIN EN 24032	12	Bossard	0.039
10	Podloška za M16	4	DIN 125	A	Bossard	0.011
9	Vijak M16x80	4	DIN 912	12.9	Bossard	0.169
8	Čahura	2	-	E295	∅ 44 / ∅ 40x13	0.03
7	Svornjak ispitne ploče	1	-	E295	∅ 40x150	1.46
6	Ispitna ploča cilindra	1	-	E295	∅ 230x155	17.10
5	Sklop hidraulike	1	LD-ZR22-214.109-103	-	2367x773x418	98.80
4	Prirubnica cilindra	1	-	S355J2H	∅ 187x10	1.51
3	Sklop senzora sile	1	LD-ZR22-214.109-102	-	∅ 230x138	21.00
2	Bazna ploča 400x400	1	DIN 55201	EN-GJL-300	Kipp	52.04
1	Zavarena konstrukcija	1	LD-ZR22-214.109-101	-	1942x860x700	363.34

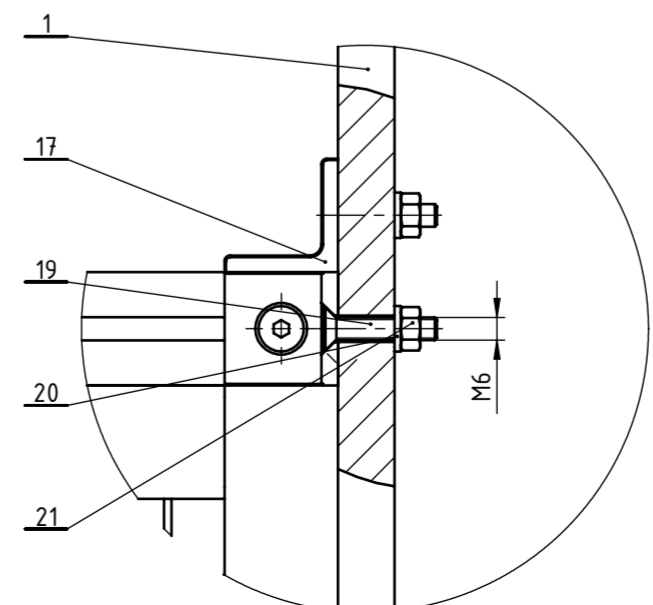
Detalj C M 1:2



Detalj D M 1:2

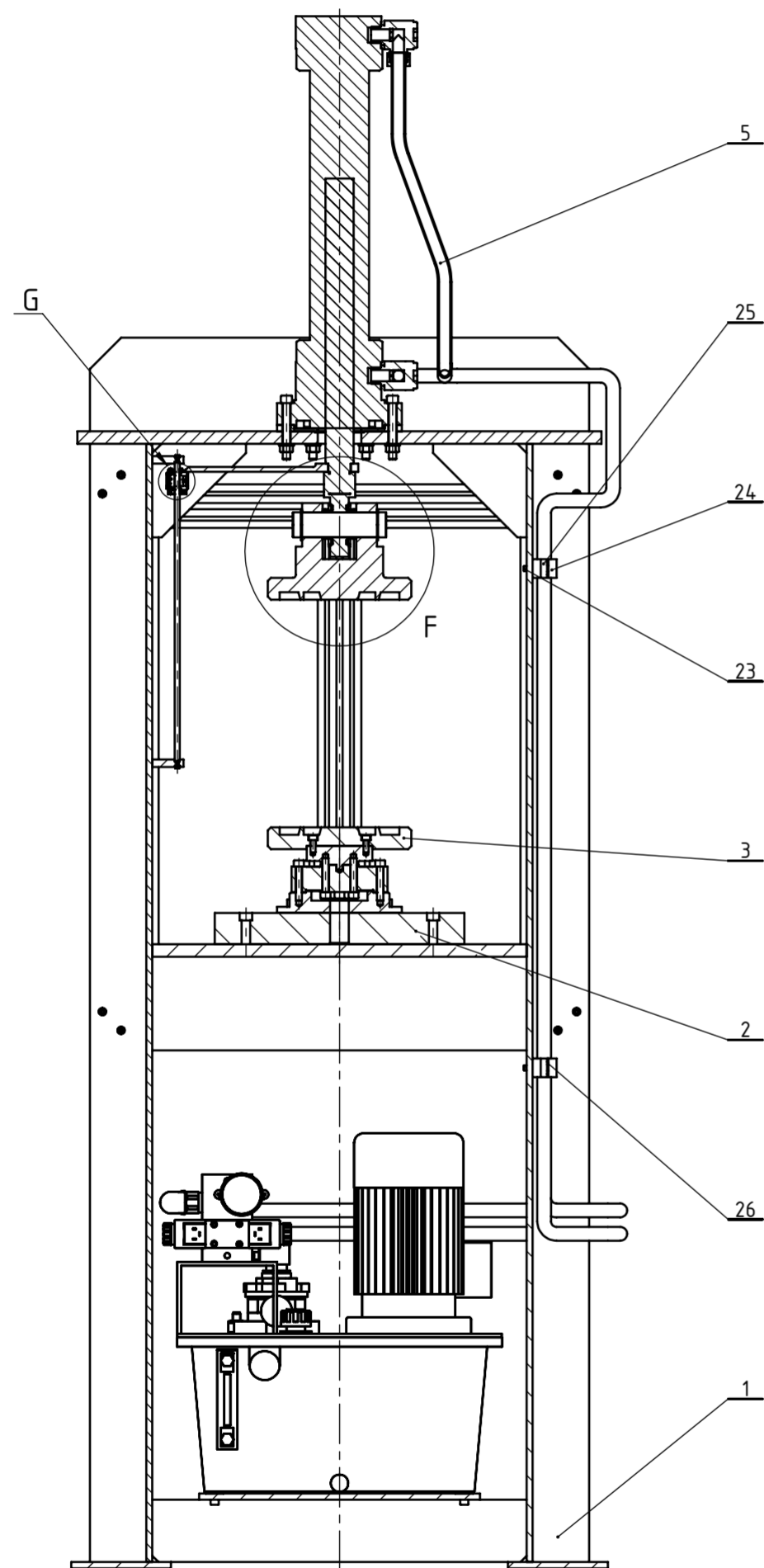


Detalj E M 1:2

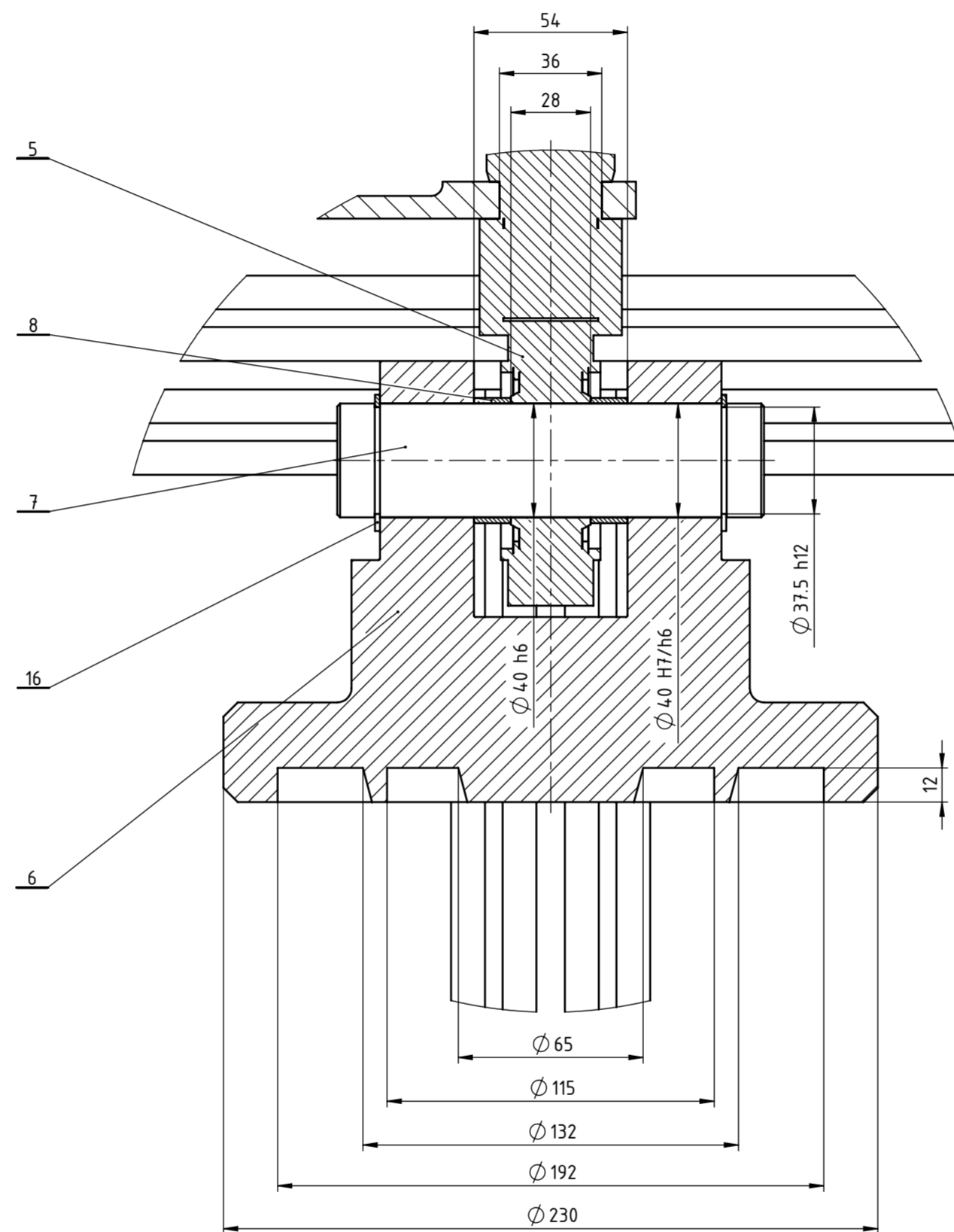


Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio	20.09.2022	Luka Deak		
	Crtao	20.09.2022	Luka Deak		
	Pregledao				
ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:			Kopija
	Napomena:	R. N. broj:			
	Materijal:	Masa: 584.66kg			Format: A2 Listova: 3 List: 2
	Mjerilo originala	Naziv: <b>Naprava za ispitivanje opruga</b>		Pozicija:	
	M1:10	Crtež broj: LD-ZR-214.109-100			

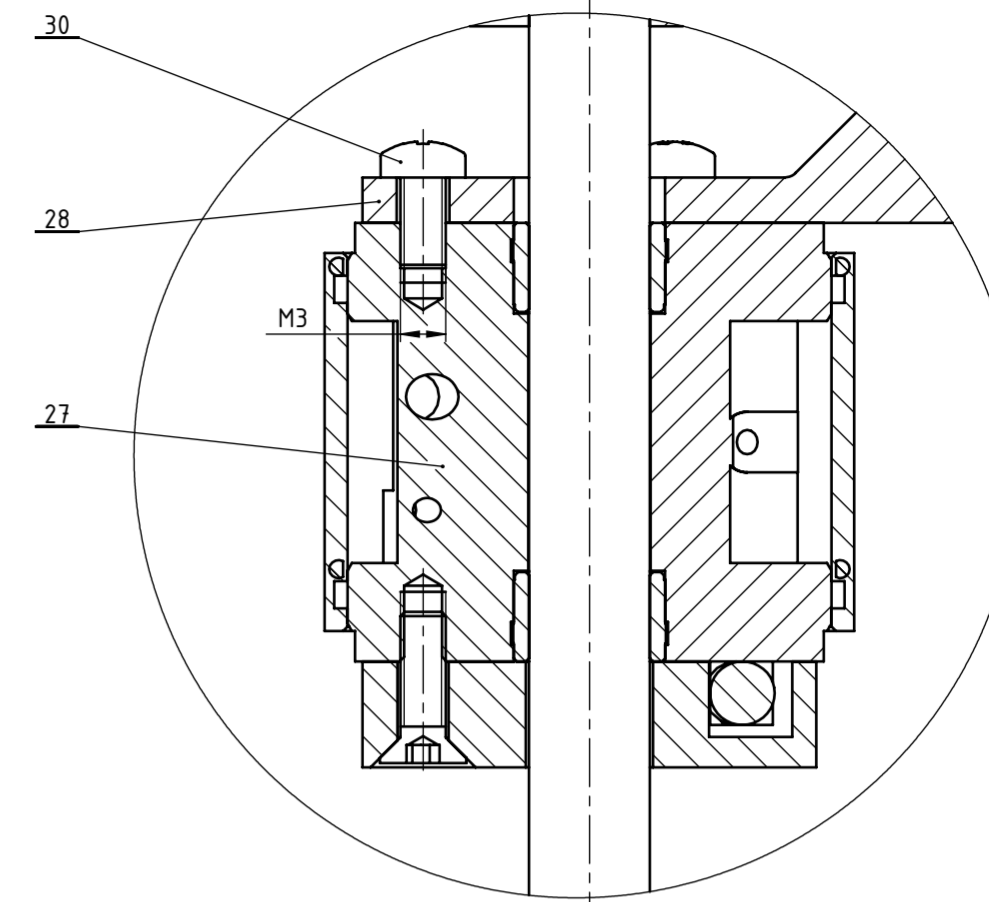
Presjek E-E  
M 1:10



Detalj F  
M 1:2



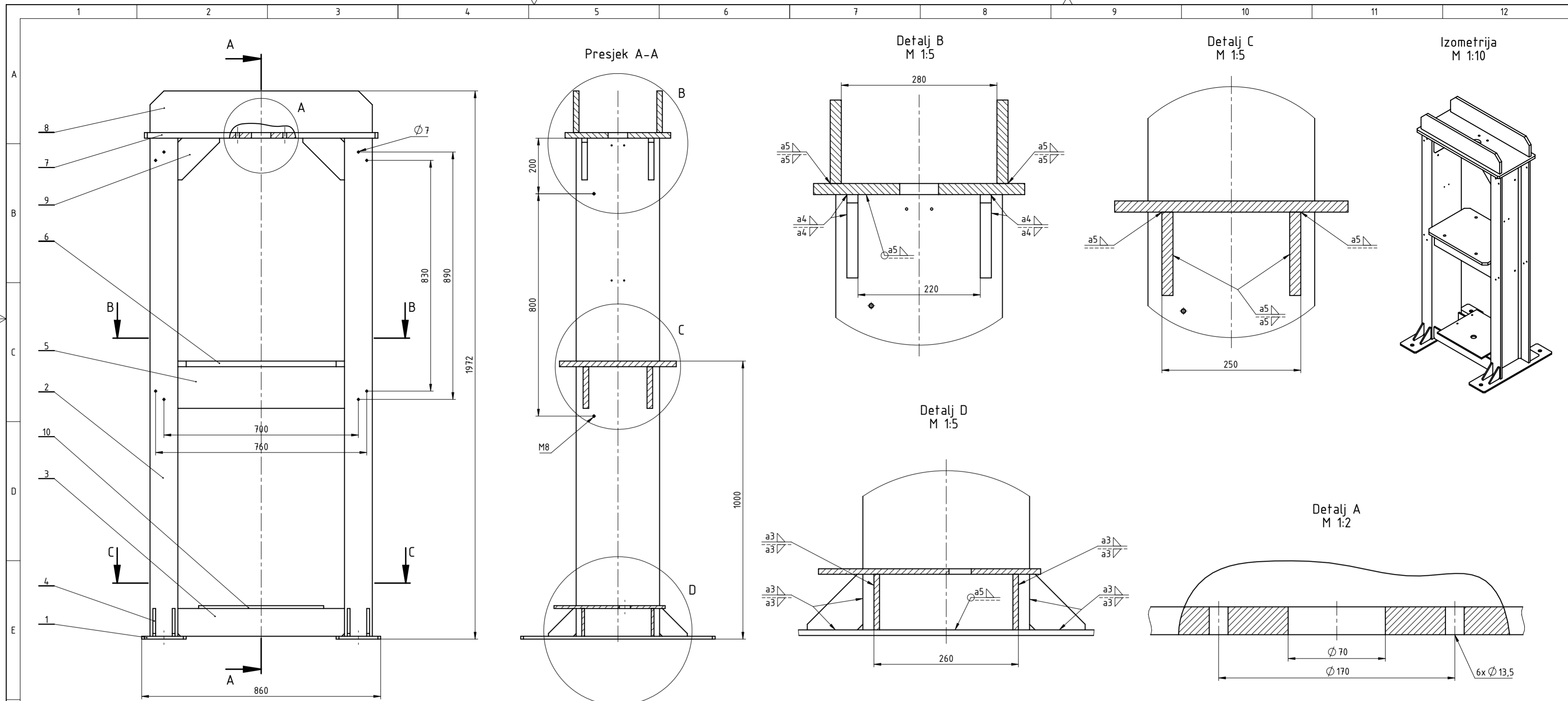
Detalj G  
M 2:1



32	Vijak M6x20	2	DIN 912	8.8	Bossard	0.007
31	Mjerni produžetak B	1	-	E295	76x30x13	0.14
30	Vijak M3x6	3	DIN EN ISO 7045	8.8	Bossard	0.001
29	Vijak M5x12	6	DIN 912	8.8	Bossard	0.004
28	Mjerni produžetak A	1	-	E295	272x76x13	0.30
27	Sklop senzora pomaka	1	-	-	RLS	0.50
26	Umetak šelne SRS EINR 322 PARA	4	-	PA 6	HANSA-FLEX	0.00
25	Šelna donji dio SRS UTR 325 D PARA	2	-	PA 6	HANSA-FLEX	0.02
24	Šelna gornji dio SRS OTR 325 D Para	2	-	PA 6	HANSA-FLEX	0.02
23	Vijak šelne M8x14	2	-	8.8	HANSA-FLEX	0.01
22	Vijak M8x16	4	DIN 912	8.8	Bossard	0.013
21	Matica M6	16	DIN EN 24032	8	Bossard	0.003
20	Podloška za M6	16	DIN 125	A	Bossard	0.001
19	Vijak M6x30	16	DIN 7991	8.8	Bossard	0.007
18	Vrata zaštitne ograde	4	-	-	780x330x72	2.39
17	Okvir zaštitne ograde	2	-	-	920x790x160	8.33
16	Uskočnik 40	2	DIN 471	-	Seeger-Orbis	0.006
15	Matica M12	6	DIN EN 24032	12	Bossard	0.016
14	Podloška za M12	6	DIN 125	A	Bossard	0.006
13	Vijak M12x90	6	DIN 912	12.9	Bossard	0.098
12	Vijak M12x35	4	DIN 912	12.9	Bossard	0.050
11	Matica M16	4	DIN EN 24032	12	Bossard	0.039
10	Podloška za M16	4	DIN 125	A	Bossard	0.011
9	Vijak M16x80	4	DIN 912	12.9	Bossard	0.169
8	Čahura	2	-	E295	∅ 44 / ∅ 40x13	0.03
7	Svornjak ispitne ploče	1	-	E295	∅ 40x150	1.46
6	Ispitna ploča cilindra	1	-	E295	∅ 230x155	17.10
5	Sklop hidraulike	1	LD-ZR22-214.109-103	-	2367x773x418	98.80
4	Priрубnica cilindra	1	-	S355J2H	∅ 187x10	1.51
3	Sklop senzora sile	1	LD-ZR22-214.109-102	-	∅ 230x138	21.00
2	Bazna ploča 400x400	1	DIN 55201	EN-GJL-300	Kipp	52.04
1	Zavarena konstrukcija	1	LD-ZR22-214.109-101	-	1942x860x700	363.34

Poz.	Naziv	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
Projektirao		20.09.2022	Luka Deak			
Razradio		20.09.2022	Luka Deak			
Crtao		20.09.2022	Luka Deak			
Pregledao						
ISO - tolerancije		Objekt:	Objekt broj:			
∅ 37,5 h12	0 -0,250			R. N. broj:		
∅ 40 h6	0 -0,016	Napomena:				Kopija
∅ 40 H7/h6	+0,041 0	Materijal:		Masa: 584.66kg		
Mjerilo originala		Naziv: <b>Naprava za ispitivanje opruga</b>		Pozicija:		Format: A2
M1:10		Crtež broj: LD-ZR-214.109-100				Listova: 3
						List: 3





Poz.	Naziv	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
10	Donja horizontalna ploča	1		S235JR	450x400x10	13.92
9	Rebro 150	4		S355J2H	150x150x20	2.07
8	Gornja vertikalna ploča	2		S355J2H	800x150x20	18.33
7	Gornja horizontalna ploča	1		S355J2H	820x320x20	49.03
6	Srednja horizontalna ploča	1		S355J2H	600x420x20	38.87
5	Srednja vertikalna ploča	2		S355J2H	600x150x20	14.04
4	Rebro 100	8		S235JR	100x100x10	0.46
3	Donja vertikalna ploča	2		S355J2H	600x100x10	4.67
2	Profil UPE 300	2	DIN 1026-2	S355J2H	300x100x1762	79.09
1	Stopa	2		S235JR	700x160x10	8.64

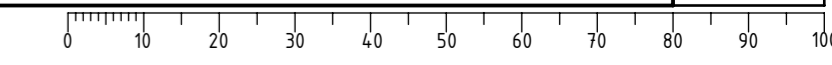
Projekтираo	19.09.2022.	Ime i prezime	Luka Deak
Razradio	19.09.2022.	Ime i prezime	Luka Deak
Crtao	19.09.2022.	Ime i prezime	Luka Deak
Pregledao		Ime i prezime	

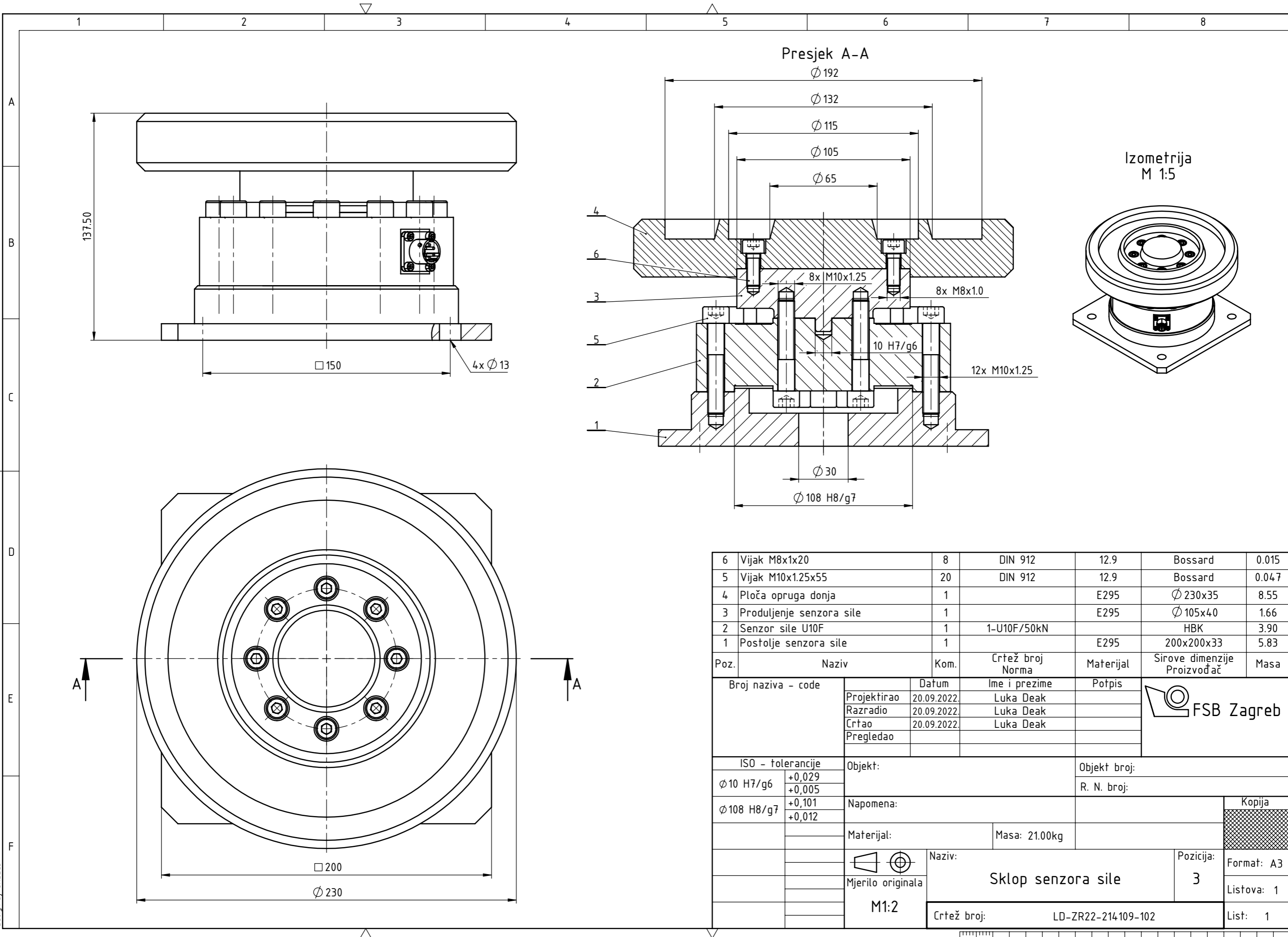
  

ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
		R. N. broj:
Napomena:		
Materijal:	Masa: 363.34kg	
Mjerilo originala	M 1:10	
Naziv: <b>Zavarena konstrukcija</b>		Pozicija: 1
Crtež broj: LD-ZR22-214109-101		List: 1



Design by CADlab





Presjek A-A

Izometrija  
M 1:5

6	Vijak M8x1x20	8	DIN 912	12.9	Bossard	0.015
5	Vijak M10x1.25x55	20	DIN 912	12.9	Bossard	0.047
4	Ploča opruga donja	1		E295	Ø 230x35	8.55
3	Produljenje senzora sile	1		E295	Ø 105x40	1.66
2	Senzor sile U10F	1	1-U10F/50kN		HBK	3.90
1	Postolje senzora sile	1		E295	200x200x33	5.83
Poz.	Naziv	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis
	Projektirao	Luka Deak	
	Razradio	Luka Deak	
	Crtao	Luka Deak	
Pregledao			

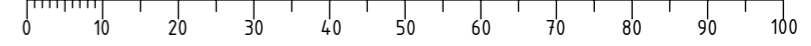


ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
Ø 10 H7/g6 +0,029 +0,005		R. N. broj:
Ø 108 H8/g7 +0,101 +0,012	Napomena:	

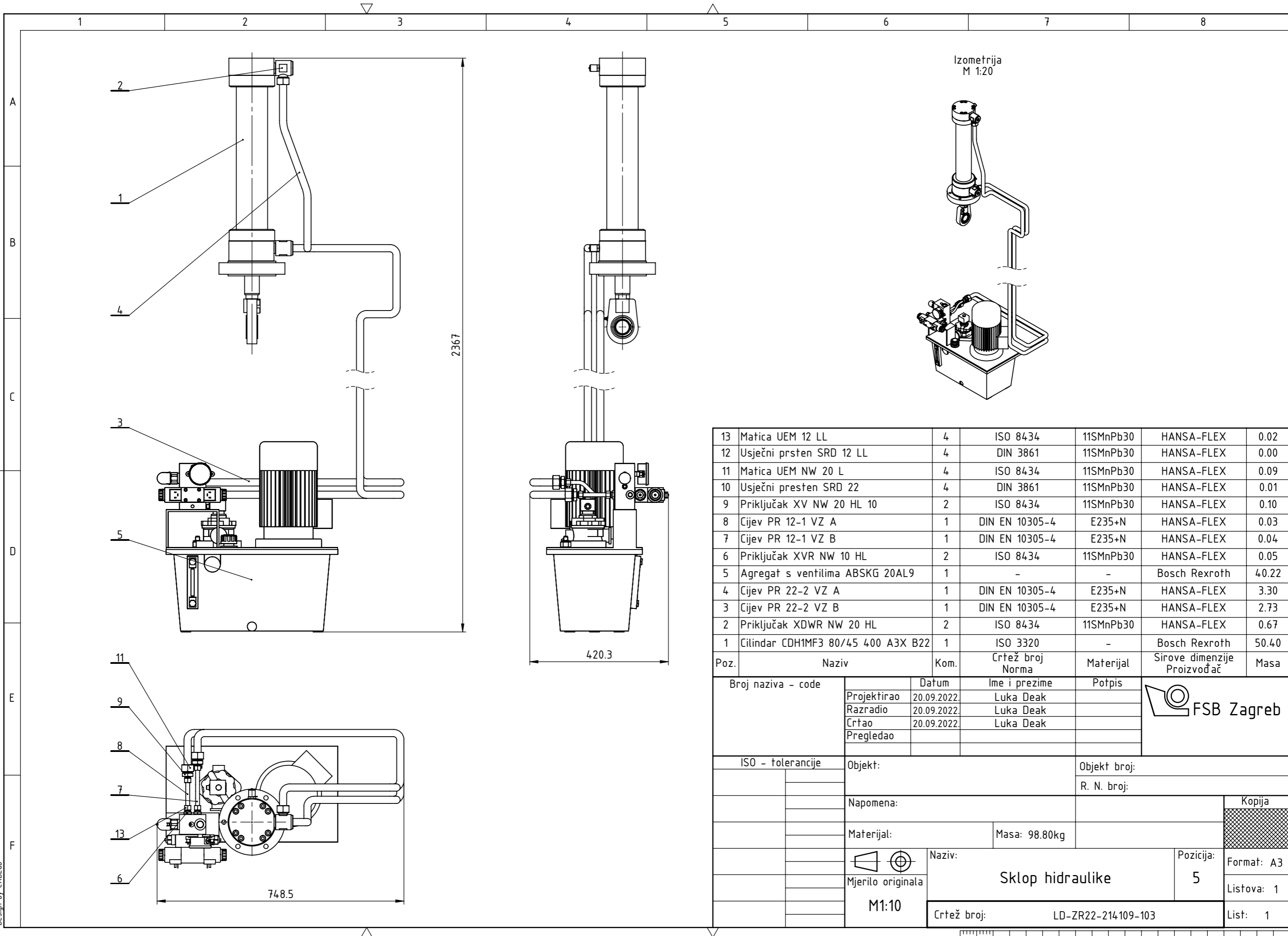
Materijal:	Masa: 21.00kg	Kopija
------------	---------------	--------

Mjerilo originala	Naziv:	Pozicija:	Format: A3
M1:2	Sklop senzora sile	3	Listova: 1
	Crtež broj:	List: 1	

LD-ZR22-214109-102





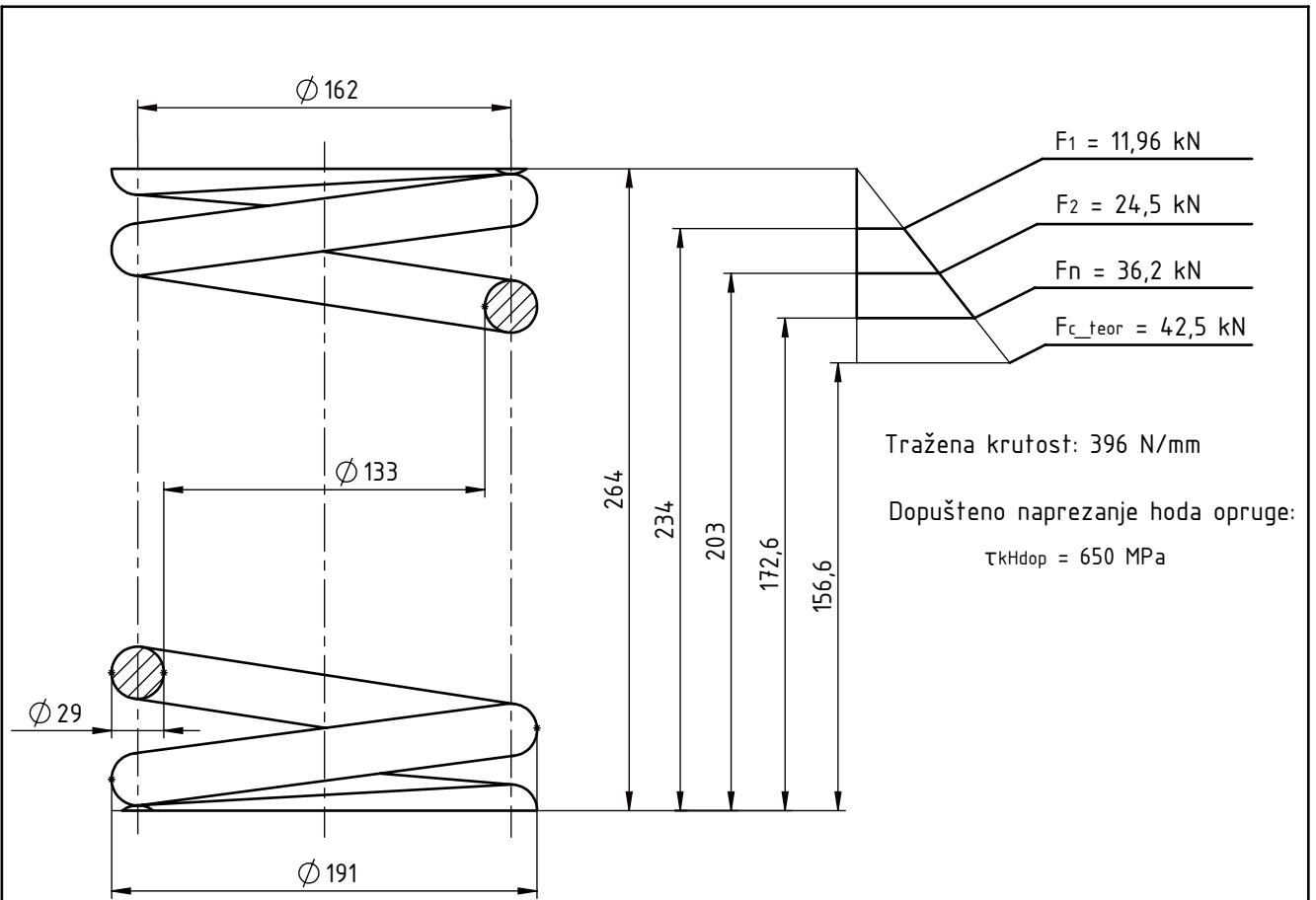


13	Matica UEM 12 LL	4	ISO 8434	11SMnPb30	HANSA-FLEX	0.02
12	Usječni prsten SRD 12 LL	4	DIN 3861	11SMnPb30	HANSA-FLEX	0.00
11	Matica UEM NW 20 L	4	ISO 8434	11SMnPb30	HANSA-FLEX	0.09
10	Usječni prsten SRD 22	4	DIN 3861	11SMnPb30	HANSA-FLEX	0.01
9	Priključak XV NW 20 HL 10	2	ISO 8434	11SMnPb30	HANSA-FLEX	0.10
8	Cijev PR 12-1 VZ A	1	DIN EN 10305-4	E235+N	HANSA-FLEX	0.03
7	Cijev PR 12-1 VZ B	1	DIN EN 10305-4	E235+N	HANSA-FLEX	0.04
6	Priključak XVR NW 10 HL	2	ISO 8434	11SMnPb30	HANSA-FLEX	0.05
5	Agregat s ventilima ABSKG 20AL9	1	-	-	Bosch Rexroth	40.22
4	Cijev PR 22-2 VZ A	1	DIN EN 10305-4	E235+N	HANSA-FLEX	3.30
3	Cijev PR 22-2 VZ B	1	DIN EN 10305-4	E235+N	HANSA-FLEX	2.73
2	Priključak XDWR NW 20 HL	2	ISO 8434	11SMnPb30	HANSA-FLEX	0.67
1	Cilindar CDH1MF3 80/45 400 A3X B22	1	ISO 3320	-	Bosch Rexroth	50.40
Poz.	Naziv	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		20.09.2022.	Luka Deak		
Razradio		20.09.2022.	Luka Deak		
Crtao		20.09.2022.	Luka Deak		
Pregledao					
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
				R. N. broj:	
		Napomena:			
		Materijal:		Masa: 98.80kg	Kopija
		Naziv:		Pozicija:	Format: A3
		Mjerilo originala		5	Listova: 1
		M1:10		Crtež broj:	List: 1
				LD-ZR22-214109-103	

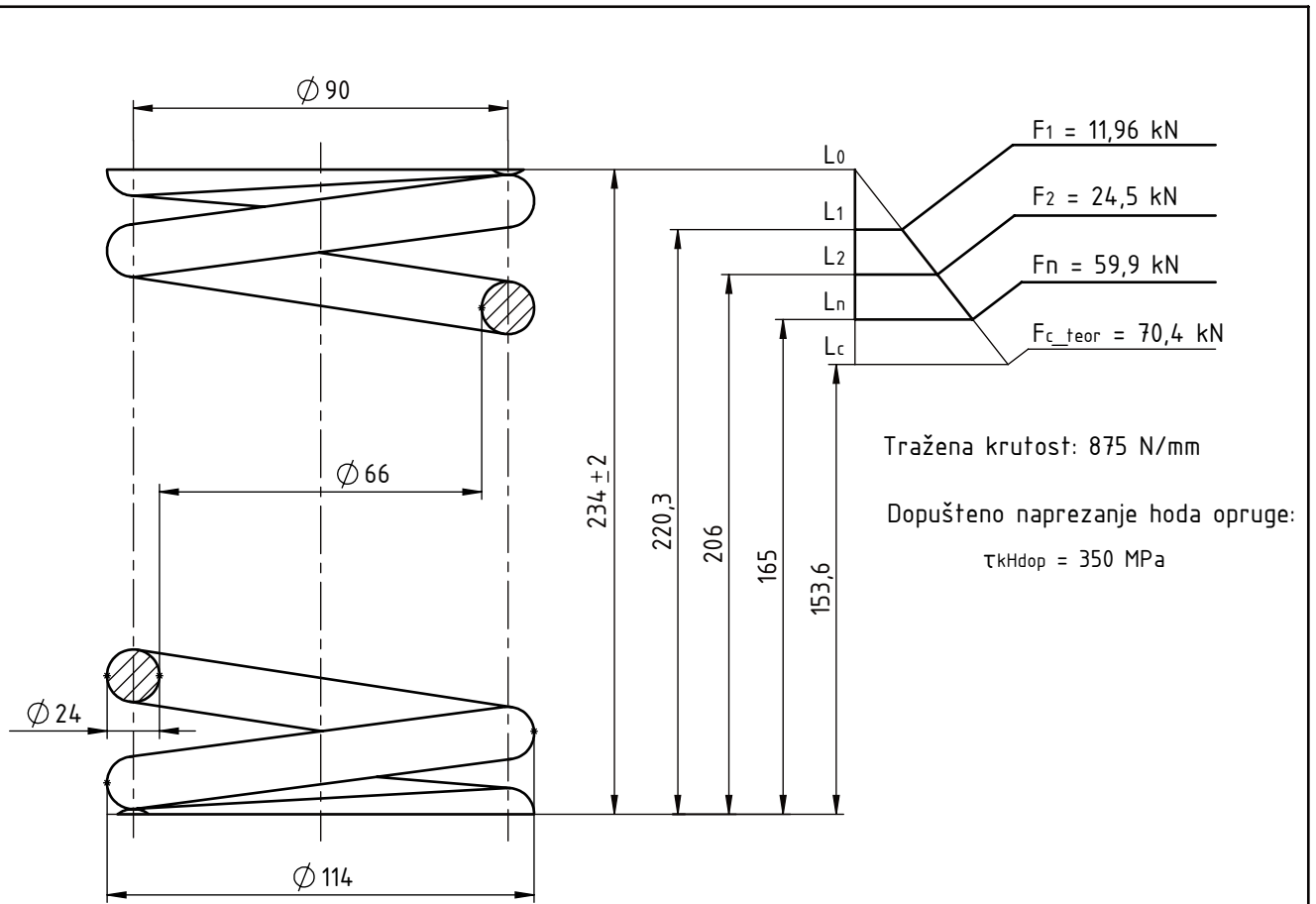


Design by CADLab



1.	Standard:	DIN EN 13906	7.	Materijal:	50CrV4
2.	Broj aktivnih namotaja	$i_f = 4.2$	8.	Stanje materijala:	prema EN 10089
3.	Ukupan broj namotaja iuk	$i_{uk} = 5.7$	9.	Stanje površine šipke	Fino tokareno/brušeno
4.	Dopušteni hod opruge:	$f_{max} = 91,4 \text{ mm}$	10.	Dopušteno naprezanje	$\tau_{dop} = 790 \text{ MPa}$
5.	Smjer namatanja:	Desno (R)	11.	Modul klizanja:	$G = 80000 \text{ MPa}$
6.	Obrada krajeva:	Kovano i brušeno	12.	Obrada površine:	Sačmareno
Napomena: do d/4			Napomena: prema ISO 26910-1		

Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio	21.09.2022.	Luka Deak		
	Crtao	21.09.2022.	Luka Deak		
	Pregledao				
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	
				R. N. broj:	
	Napomena:				
	-				
	Materijal:	50CrV4	Masa:	kg	
		Naziv:			Pozicija:
	Mjerilo originala	Vanjska opruga			Format: A4
	-	Crtež broj: LD-ZR22-214.109-201			Listova: 1
					List: 1



1.	Standard:	DIN EN 13906	7.	Materijal:	50CrV4
2.	Broj aktivnih namotaja	$i_f = 5,2$	8.	Stanje materijala:	prema EN 10089
3.	Ukupan broj namotaja i <sub>uk</sub>	$i_{uk} = 6,7$	9.	Stanje površine šipke	Fino tokareno/brušeno
4.	Dopušteni hod opruge:	$f_{max} = 68,5 \text{ mm}$	10.	Dopušteno naprezanje	$\tau_{dop} = 810 \text{ MPa}$
5.	Smjer namatanja:	Lijevo (L)	11.	Modul klizanja:	$G = 80000 \text{ MPa}$
6.	Obrada krajeva:	Kovano i brušeno	12.	Obrada površine:	Sačmareno
Napomena: do d/4			Napomena: prema ISO 26910-1		

Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio	21.09.2022.	Luka Deak		
	Crtao	21.09.2022.	Luka Deak		
	Pregledao				
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	
				R. N. broj:	
	Napomena:				
	-				
	Materijal:	50CrV4	Masa:	kg	
		Naziv:			Pozicija:
	Mjerilo originala	Unutrašnja opruga			Format: A4
	-	Crtež broj: LD-ZR22-214109-202			Listova: 1
					List: 1