

Konstrukcija i numerička analiza pneumatskog čekića

Mužević, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2025

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:815078>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**KONSTRUKCIJA I
NUMERIČKA ANALIZA
PNEUMATSKOG ČEKIČA**

Vedran Mužević

Zagreb, 2024./2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**KONSTRUKCIJA I
NUMERIČKA ANALIZA
PNEUMATSKOG ČEKIČA**

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Marko Jokić, dipl. ing.

Student:

Vedran Mužević

Zagreb, 2024./2025.

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

Zahvaljujem se svom mentoru i profesoru dr. sc. Marku Jokiću, dipl. ing. na svoj ukazanoj pomoći, strpljenju i trudu prilikom izrade ovog rada i na svom prenesenom znanju tijekom studija.

Vedran Mužević



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 brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 25 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 25 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Vedran Mužević**

JMBAG: **0035234110**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Konstrukcija i numerička analiza pneumatskog čekića**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design and numerical analysis of pneumatic hammer**

Opis zadatka:

Pneumatski čekić je alat koji uvelike olakšava radnje poput klesanja, razbijanja, sabijanja, oblikovanja i slično. Princip rada pneumatskog čekića je pomicanje klipa čekića putem komprimiranog zraka koji se dovodi izvana ili se sabijanje zraka odvija unutar samog alata. Razvijena sila u cilindru čekića prenosi se na radni dio alata (čekić, dlijeto ili slično), dok silu koja djeluje na korisnika donekle ublažavaju sama masa alata i sustav za izolaciju vibracija.

U radu je potrebno konstruirati pneumatski čekić i provesti numeričku analizu učinkovitosti tako konstruiranog čekića. Provesti analizu tržišta i pretražiti bazu podataka o patentima vezanim za konstrukciju pneumatskog čekića, uključivši i sustave zaštite korisnika od vibracija alata, te predložiti nekoliko koncepata čekića. Provesti vrednovanje koncepata te za odabranu konstrukcijsku varijantu provesti konstrukcijsku razradu do nivoa potrebnog za provođenje numeričke analize. Izraditi pojednostavljeni numerički model te provesti numeričku analizu učinkovitosti pneumatskog čekića. Ocijeniti izloženost korisnika vibracijama pri radu s alatom.

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

Zadatak zadan:

30. 11. 2024.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. i 21. 2. 2025.
2. rok: 10. i 11. 7. 2025.
3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 24. 2. – 28. 2. 2025.
2. rok: 15. 7. – 18. 7. 2025.
3. rok: 22. 9. – 26. 9. 2025.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Marko Jokić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
1.1. Pneumatski alati	1
1.2. Pneumatski čekić	3
1.3. Modeli pneumatskih čekića	5
1.3.1. Einhell TC-PC 45.....	5
1.3.2. TEX 12PE	6
1.3.3. CP 1210 SVR.....	7
1.3.4. CP 1260 S	8
2. PRINCIP RADA PNEUMATSKOG ČEKIĆA.....	9
2.1. Načini izvedbe pneumatskog čekića	10
2.1.1. Komora sa zrakom koja djeluje kao opruga.....	10
2.1.2. Opruga na vanjskom dijelu konstrukcije	11
2.1.3. Opruga u unutarnjem dijelu konstrukcije	13
2.1.4. Držać alata (eng. latch retainer)	14
2.2. Odabir konstrukcije za daljnji proračun.....	15
3. 3D MODEL KONSTRUKCIJE	16
3.1. Opis konstrukcije sa držačem alata	18
4. NUMERIČKA ANALIZA PNEUMATSKOG ČEKIĆA	21
4.1. O vibracijama	21
4.1.1. Vibracije sustava s jednim stupnjem slobode	22
4.1.2. Vibracijski sustav s više stupnja slobode gibanja i prigušenjem	23
4.2. Proračunski model.....	23
4.3. Ulazni podaci	24
4.3.1. Prvi slučaj.....	25
4.3.2. Drugi slučaj	29
4.4. Usporedba rezultata.....	32
5. ZAKLJUČAK.....	33
LITERATURA	34
PRILOZI.....	35

POPIS SLIKA

Slika 1.	Primjer rada jednog pneumatskog alata	1
Slika 2.	a) Pneumatski odvijač, b) Pneumatska bušilica, c) Pneumatska brusilica, d) Pneumatski pištolj za lakiranje	3
Slika 3.	Lakši pneumatski čekići	4
Slika 4.	Srednje teški pneumatski čekić	4
Slika 5.	Teški pneumatski čekić	5
Slika 6.	Pneumatski čekić Einhell TC-PC 45	5
Slika 7.	Pneumatski čekić TEX 12PE	6
Slika 8.	Pneumatski čekić CP 1210 SVR	7
Slika 9.	Pneumatski čekić CP 1260 S	8
Slika 10.	Pojednostavljeni prikaz rada pneumatskog čekića	9
Slika 11.	Početno stanje čekića prije udarca	10
Slika 12.	Stanje čekića pri dodiru klipa i alata	10
Slika 13.	Stanje čekića prilikom povratka alata u početno stanje nakon udarca	10
Slika 14.	Prikaz čekića u trenutku dodira klipa i alata	11
Slika 15.	Detalj A opuštene opruge prije udarca	11
Slika 16.	Prikaz čekića u trenutku povratka alata u početni položaj	12
Slika 17.	Detalj B sabijene opruge prije vraćanja u početni položaj	12
Slika 18.	Prikaz pneumatskog čekića sa oprugom unutar kućišta	13
Slika 19.	Detalj A aktivne membrane (12) unutar kućišta	13
Slika 20.	a) Presjek pneumatskog čekića, b) Detalj A Držač alata	14
Slika 21.	a) Primjer pneumatskog čekića sa držačem alata; b) 3D model pneumatskog čekića sa držačem alata	16
Slika 22.	Presjek 3D modela pneumatskog čekića	17
Slika 23.	Detalj A držača alata	17
Slika 24.	Početni položaj dlijeta prije udarca	19
Slika 25.	Krajnji položaj dlijeta nakon udarca	19
Slika 26.	Položaj držača alata za vrijeme zamjene alata	20
Slika 27.	Vibracijski sustav s jednim stupnjem slobode	22
Slika 28.	Pojednostavljeni proračunski model	24
Slika 29.	Prikaz ukupne sile između masa 1 i 2	26
Slika 30.	Prikaz funkcije povećanja između masa 1 i 2	26
Slika 31.	Prikaz ukupne sile između masa 2 i 3	27
Slika 32.	Prikaz funkcije povećanja između masa 2 i 3	27
Slika 33.	Prikaz ukupne sile između masa 3 i 4	28
Slika 34.	Prikaz funkcije povećanja između masa 3 i 4	28
Slika 35.	Prikaz ukupne sile između masa 1 i 2	29
Slika 36.	Pripadajuća funkcija povećanja između masa 1 i 2	30
Slika 37.	Prikaz ukupne sile između masa 2 i 3	30
Slika 38.	Prikaz funkcije povećanja između masa 2 i 3	31
Slika 39.	Prikaz ukupne sile između masa 3 i 4	31
Slika 40.	Prikaz funkcije povećanja između masa 3 i 4	32

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prednosti i nedostaci pneumatskih alata	2
Tablica 2. Tehnički opis pneumatskog čekića Einhell TC-PC 45.....	6
Tablica 3. Tehnički opis pneumatskog čekića TEX 12PE.....	7
Tablica 4. Tehnički opis pneumatskog čekića CP 1210 SVR.....	7
Tablica 5. Tehnički opis pneumatskog čekića CP 1260 S	8
Tablica 6. Popis glavnih dijelova	18
Tablica 7. Ulazne vrijednosti za slučaj broj 1	25
Tablica 8. Ulazne vrijednosti za slučaj broj 2	29

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

BROJ CRTEŽA	Naziv iz sastavnice
0	Pneumatski čekić
1	Gornje kućište
2	Srednje kućište
3	Prirubnica
4	Donje kućište
5	Glavni ventil
6	Cilindar
7	Udarni bat
8	Dlijeto
9	Cilindrični zatik
10	Držač alata

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A		matrica sustava
B		matrica ulaza
C		matrica prigušenja
c	Ns/m	koeficijent viskoznog prigušenja
D		matrica izlaza
E		matrica prijenosa
F	N	sila
f	Hz	frekvencija
K		matrica krutosti
k	N/m	krutost
M		matrica masa
m	kg	masa
p	Pa	tlak zraka na ulazu u čekić
t	s	vrijeme
\vec{u}		vektor ulaza
v	m/s	brzina
\vec{z}		vektor izlaza
\vec{q}		vektor stanja
x	m	pomak
\vec{x}		vektor pomaka
$\dot{\vec{x}}$		vektor brzine
$\ddot{\vec{x}}$		vektor ubrzanja

SAŽETAK

Pneumatski čekić predstavlja ključan alat u današnjoj industriji. Njegova jednostavna konstrukcija, pouzdanost i vrlo visoka učinkovitost čine ga odličnim izborom za obavljanje teških poslova. Njegov rad temelji se na korištenju komprimiranog zraka kao glavnim izvorom energije.

U ovom radu bit će objašnjeni načini izvedbe pneumatskog čekića. Zatim će, na temelju različitih kriterija, biti odabran najbolji način izvedbe pneumatskog čekića te će na osnovu toga biti napravljen 3D model konstrukcije. Na kraju će se za napravljeni 3D model provesti analiza vibracija te njihov utjecaj prilikom rada pneumatskog čekića.

Ključne riječi: Pneumatski čekić, 3D model konstrukcije, Analiza vibracija

SUMMARY

Pneumatic hammer represents a key tool in today's industry. Its simple construction, reliability, and high efficiency make it an excellent choice for performing demanding tasks. Its operation is based on the use of compressed air as the main energy source.

This paper will explain the design methods of a pneumatic hammer. Based on various criteria, the best design approach will be selected, followed by the creation of a 3D model of the construction. Finally, a vibration analysis will be conducted on the created 3D model to assess the impact of vibrations during the operation of the pneumatic hammer.

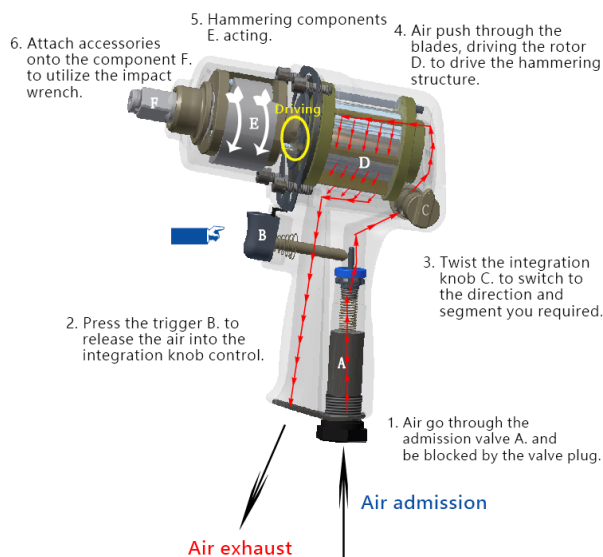
Key words: Pneumatic hammer, 3D model of the construction, Vibration analysis

1. UVOD

Unatoč velikom napretku tehnologije, u mnogim područjima i dalje postoji potreba za zahtjevnijim fizičkim radom. Kako bi se ljudima osigurao lakši i sigurniji način izvođenja fizičkih radova, javila se potreba za modernizacijom tradicionalnih alata. Novi moderniji alati omogućuju brži i sigurniji rad, a jedan od primjera takvih novih alata su pneumatski alati, odnosno alati čiji je primarni izvor energije pneumatik.

1.1. Pneumatski alati

Pneumatski alati su posebni uređaji koji za svoj rad koriste komprimirani zrak kao primarni izvor energije. Ovi alati su dizajnirani za obavljanje različitih poslova. Od jednostavnih kućanskih popravaka do složenih industrijskih i građevinskih radova. Prednost pneumatskih alata je njihova sposobnost da pružaju veliku snagu uz minimalan fizički napor, što ih čini vrlo učinkovitim. Osim toga, njihova konstrukcija omogućava dugotrajan rad uz manju potrebu za održavanjem u odnosu na alate koji koriste druge izvore energije, poput električnih.



Slika 1. Primjer rada jednog pneumatskog alata

Jedan od glavnih razloga zašto se pneumatski alati široko primjenjuju u industrijskim i građevinskim sektorima jest njihova visoka pouzdanost i sigurnost. Za razliku od električnih alata ili alata koji kao izvor koriste različita goriva, komprimirani zrak kao pogonsko sredstvo

smanjuje rizik od pregrijavanja, zapaljenja ili nekih električnih problema, čineći ove alate pogodnim za rad u različitim uvjetima. Pneumatski alati također omogućuju veću učinkovitost, osobito kada se koriste za zadatke poput bušenja, štemanja, rezanja ili namještanja, a njihova snaga može biti lako prilagođena potrebama specifičnog posla. Upravo zbog svojih prednosti, pneumatski alati su nezaobilazni u mnogim industrijama, ali i u kućnim radovima, gdje korisnici traže brza i efikasna rješenja za svakodnevne zadatke.

Ako pogledamo tablicu 1. vidjet ćemo neke od prednosti, ali i nedostataka pneumatskih alata.

Tablica 1. Prednosti i nedostaci pneumatskih alata

Prednosti:	Nedostaci:
<ul style="list-style-type: none"> • Lako dostupan izvor energije • Sigurnost • Učinkovitost • Velika snaga • Velike brzine rada • Jednostavan transport • Održavanje 	<ul style="list-style-type: none"> • Buka • Vibracije • Otežano kontroliranje brzine rada alata • Manja preciznost • Potreban je kompresor zraka

Neke od vrsta pneumatskih alata:

- Pneumatski odvijači
- Pneumatski čekići
- Pneumatske bušilice
- Pneumatske brusilice
- Pneumatski pištolji za lakiranje



Slika 2. a) Pneumatski odvijač, b) Pneumatska bušilica, c) Pneumatska brusilica, d) Pneumatski pištolj za lakiranje

1.2. Pneumatski čekić

Pneumatski čekić je alatni stroj za udaranje pogonjen komprimiranim zrakom. Najčešće se upotrebljava u građevini i rudarstvu za bušenje kamena, asfalta i drugih sličnih radova, ali i u pogonima u kojima zbog lake zapaljivosti ne dolazi u obzir upotreba alata na hidraulični pogon. Konstrukcija samog čekića omogućava jednostavnu upotrebu i održavanje.

Postoji više vrsta i tipova pneumatskih čekića. Ovisno o vrsti radova koji se izvode i području primjene, mogu se podijeliti na 3 kategorije:

- Lagani pneumatski čekići
- Srednje teški pneumatski čekići
- Teški pneumatski čekići

Lagani pneumatski čekići su čekići manjih dimenzija i snage, koji se najčešće koriste za manje zahtjevne radove. To su radovi poput uklanjanja žbuke, skidanja pločica i sličnih renovacijskih zahvata. Neke od karakteristika laganih pneumatskih čekića, osim manjih dimenzija i snage, su

lakši transport, manja potrošnja zraka, brži rad u malim prostorima i veća preciznost od srednje teških i teških pneumatskih čekića. Na slici 3. možemo vidjeti neke od primjera lakših pneumatskih čekića.



Slika 3. Lakši pneumatski čekići

Srednje teški pneumatski čekići koriste se za malo zahtjevnije radove. Za razliku od lakših pneumatskih čekića, oni su pogodni i za razbijanje manjih slojeva betona ili asfalta, tako da imaju i širu primjenu u odnosu na lakše čekiće. Na slici 4. možemo vidjeti primjer srednje teškog pneumatskog čekića.



Slika 4. Srednje teški pneumatski čekić

Zadnja vrsta su teški pneumatski čekići ili pikameri. To su moćni alati pomoću kojih obavljamo najzahtjevnije radove poput razbijanja i uklanjanja debelih slojeva tvrdih materijala poput betona, kamena ili asfalta. Na slici 5. prikazan je primjer teškog pneumatskog čekića.



Slika 5. Teški pneumatski čekić

Zbog svoje velike snage udara odličan su izbor za rušenje temelja i zidova, za razbijanje stijena, za uklanjanje oštećenih slojeva asfalta na cestama ili za uklanjanje starih instalacija i infrastruktura. Samo neke od prednosti su velika pouzdanost zbog snažne konstrukcije te velika učinkovitost u kratkom vremenskom periodu. Također, neki od nedostataka su težina samog čekića i umor radnika, velike vibracije i buka te potreba za mnogo snažnijim kompresorom nego kod lakih i srednje teških čekića.

1.3. Modeli pneumatskih čekića

1.3.1. Einhell TC-PC 45



Slika 6. Pneumatski čekić Einhell TC-PC 45

Einhell TC-PC 45 je izvrstan lagani pneumatski čekić za brzo obavljanje jednostavnih poslova poput rušenja i renoviranja unutar i izvan kuće. Za siguran rad osigurana je neklizujuća gumirana ručka s praktičnim dizajnom. U tablici 2. možemo vidjeti tehnički opis.

Tablica 2. Tehnički opis pneumatskog čekića Einhell TC-PC 45

Duljina dljetca	120 mm
Brzina udaraca	4500 min ⁻¹
Radni tlak	6,3 bar
Potrošnja zraka	113 l/min
Snaga udarca	1.2 J
Težina proizvoda	1.12 kg
Cijena	~ 65 €

1.3.2. *TEX 12PE*

Pneumatski čekić TEX 12PE može se svrstati u kategoriju srednje teških čekića. Svojim ergonomskim dizajnom i HAPS sustavom omogućuje minimalno prenošenje vibracija na korisnika. Niže u tablici 3. možemo vidjeti karakteristike samog čekića.



Slika 7. Pneumatski čekić TEX 12PE

Tablica 3. Tehnički opis pneumatskog čekića TEX 12PE

Duljina	590 mm
Brzina udaraca	1620 min ⁻¹
Radni tlak	6 bar
Potrošnja zraka	20 l/s
Težina proizvoda	12 kg
Vibracije	4 m/s ²
Cijena	~ 800 €

1.3.3. CP 1210 SVR

Tvrtka Chicago Pneumatic jedna je od poznatijih u svijetu. Istaknuli su se kvalitetom svojih proizvoda te je jedan od njih i pneumatski čekić CP 1210 SVR prikazan na slici 8.

**Slika 8. Pneumatski čekić CP 1210 SVR**

Svojim dizajnom i kvalitetom omogućuje jednostavno i sigurno korištenje u svim uvjetima. Svojom težinom spada u srednje tešku kategoriju pneumatskih čekića. Ispod u tablici 4. možemo vidjeti najvažnije informacije o ovom modelu.

Tablica 4. Tehnički opis pneumatskog čekića CP 1210 SVR

Duljina	600 mm
Brzina udaraca	1400 min ⁻¹
Radni tlak	6 bar

Potrošnja zraka	26,5 l/s
Težina proizvoda	24,5 kg
Vibracije	5,3 m/s ²
Cijena	~ 1800 €

1.3.4. CP 1260 S

Pneumatski čekić CP 1260 S je također jedan od proizvoda tvrtke Chicago Pneumatic.



Slika 9. Pneumatski čekić CP 1260 S

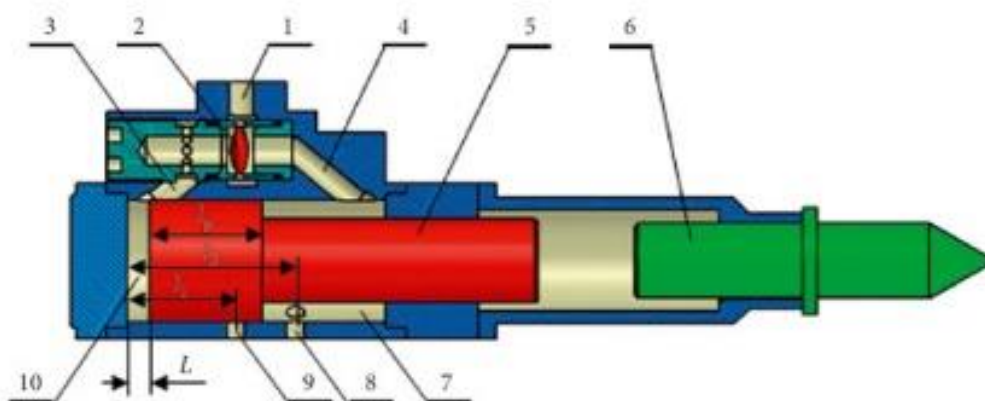
Ima sličan dizajn kao i prijašnji model, ali svojom težinom spada u teške pneumatske čekiće. Primjenjuje se za razbijanje najtvrdih površina kao npr. asfalt i beton piste za avione. U tablici 5. možemo vidjeti tehnički opis samog modela.

Tablica 5. Tehnički opis pneumatskog čekića CP 1260 S

Duljina dlijeta	680 mm
Brzina udaraca	1300 min ⁻¹
Radni tlak	6 bar
Potrošnja zraka	34,5 l/s
Težina proizvoda	31 kg
Vibracije	20,7 m/s ²
Cijena	~ 2000 €

2. PRINCIP RADA PNEUMATSKOG ČEKIĆA

Kao što je već spomenuto ranije pneumatski čekić je alatni stroj za udaranje pogonjen komprimiranim zrakom. Slika 6. prikazuje presjek jednog takvog pneumatskog čekića. Komprimirani zrak ulazi u čekić na mjestu 1. Korisnik zatim pritiskom na okidač otvara ventil (2) i propušta zrak u kućište čekića. U kućištu se nalaze dvije komore za zrak koje se naizmjenično odzračuju. Kada se stražnja komora (10) napuni sa zrakom, prednja komora (7) je u potpunosti prazna i obratno. Zbog toga dolazi do brzog oscilirajućeg kretanja klipa (5) naprijed-nazad, koji pritom udara u radni alat (6). Radni alat može biti dljetlo, svrdlo ili nešto drugo ovisno o vrsti posla koji se obavlja. Ispušni ventili (8) i (9) omogućuju izmjenu zraka u komorama, regulirajući tlak i osiguravajući nesmetano funkcioniranje.



Slika 10. Pojednostavljeni prikaz rada pneumatskog čekića

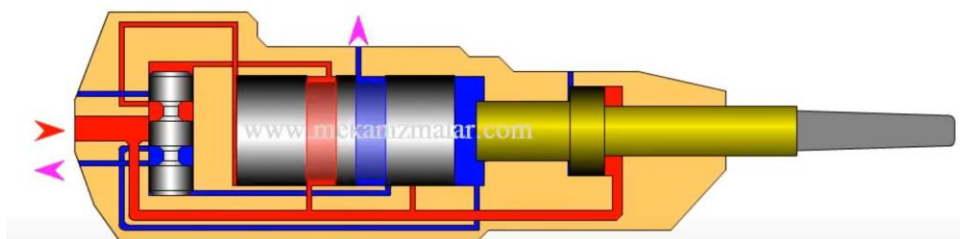
Dodatna prednost pneumatskog čekića je njegova jednostavnost i učinkovitost. Energija komprimiranog zraka ne samo da pokreće klip, već pruža visoku snagu udaraca i omogućuje veliki broj udaraca u minuti, što je ključno za rad s tvrdim materijalima poput betona, kamena i metala. Osim toga, vibracije klipa apsorbiraju se dijelom kroz dizajn kućišta, ali je za dugotrajan rad često potrebna odgovarajuća zaštitna oprema kako bi se smanjilo opterećenje za korisnika.

2.1. Načini izvedbe pneumatskog čekića

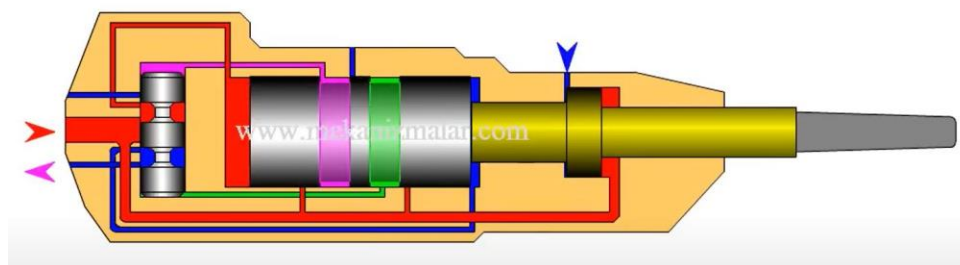
Svi pneumatski čekići rade više manje na istom principu, ali ono po čemu se najčešće razlikuju je način povratka alata u prvobitno stanje prije samog udarca klipa. U nastavku će biti objašnjeno i prikazano nekoliko konstrukcija sa različitim rješenjima.

2.1.1. Komora sa zrakom koja djeluje kao opruga

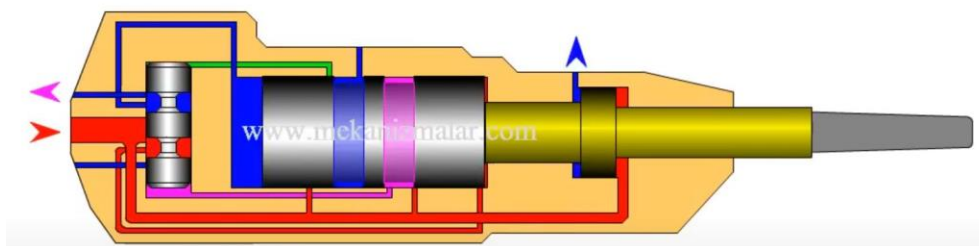
Jedan od načina prikazan je na slikama 11., 12. i 13. U ovom načinu izvedbe konstrukcije čekića imamo dodatnu komoru sa zrakom kod samog alata. Princip rada je sličan kao i kod glavne komore u kojoj se nalazi klip.



Slika 11. Početno stanje čekića prije udarca



Slika 12. Stanje čekića pri dodiru klipa i alata

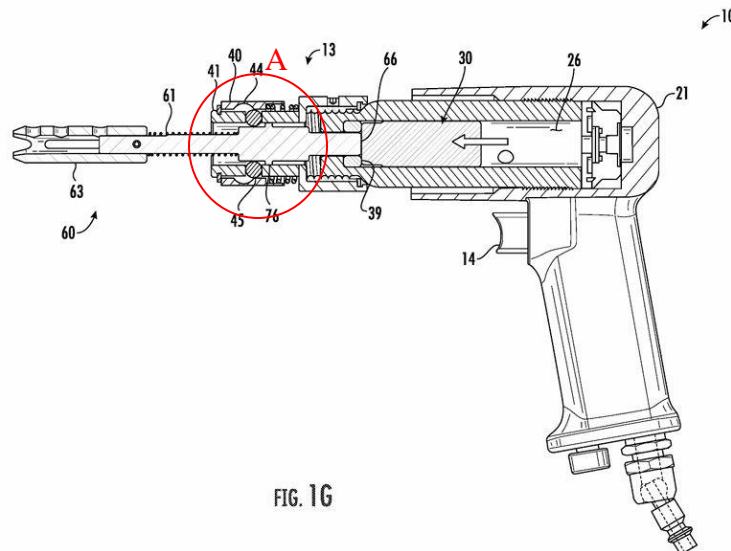


Slika 13. Stanje čekića prilikom povratka alata u početno stanje nakon udarca

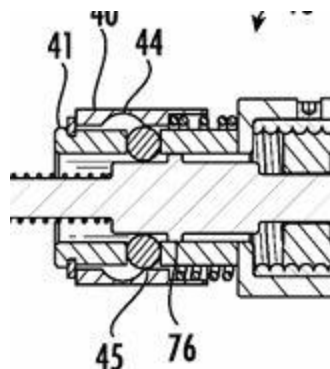
Kada se dio komore iza klipa napuni zrakom (slika 13.), dolazi do pomicanja klipa prema naprijed. Komora se puni sa zrakom sve dok klip ne udari u alat. Nakon toga zrak se ispušta kroz ventile na samom kućištu kao što je prikazano na slici 10. i komora se sada puni sa zrakom ispred klipa. Proces je sličan i za komoru kod alata. Nakon što klip udari u alat, dolazi do punjenja komore zrakom iza alata. Nakon udarca, zrak iza alata se prazni kroz ispušni ventil, dok se za to vrijeme komora ispred alata puni zrakom potiskujući alat nazad u početni položaj. U ovom slučaju moglo bi se reći da zrak djeluje poput opruge.

2.1.2. Opruga na vanjskom dijelu konstrukcije

U ovom slučaju opisan je jedan lagani pneumatski čekić. Na slikama 14., 15., 16. i 17. može se vidjeti princip rada jednog takvog čekića. Donald W. Carlson opisao je cijeli proces ovog čekića u svojem patentu pod brojem US 2021/0347029 A1.



Slika 14. Prikaz čekića u trenutku dodira klipa i alata



Slika 15. Detalj A opuštene opruge prije udarca

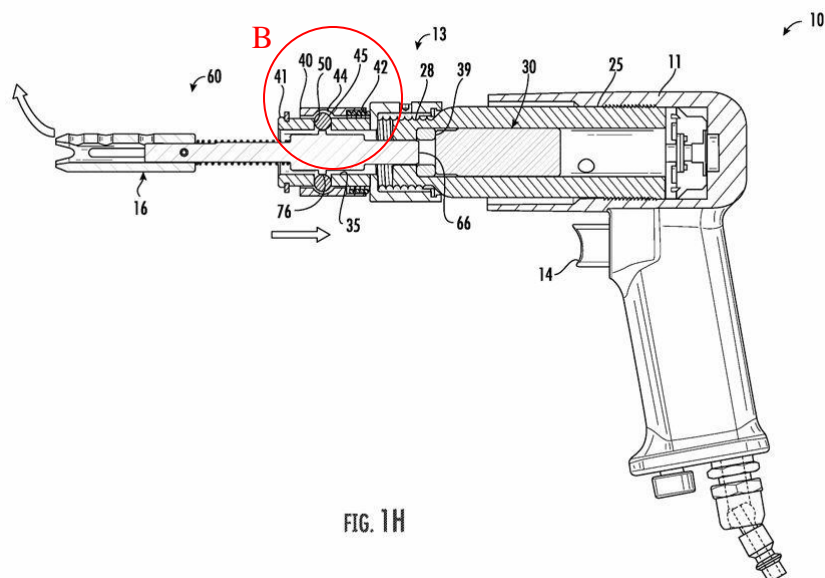
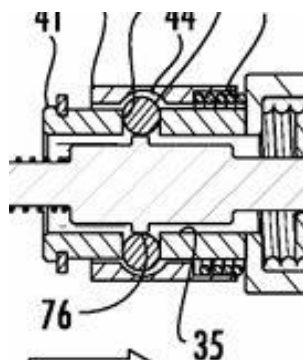


FIG. 1H

Slika 16. Prikaz čekića u trenutku povratka alata u početni položaj

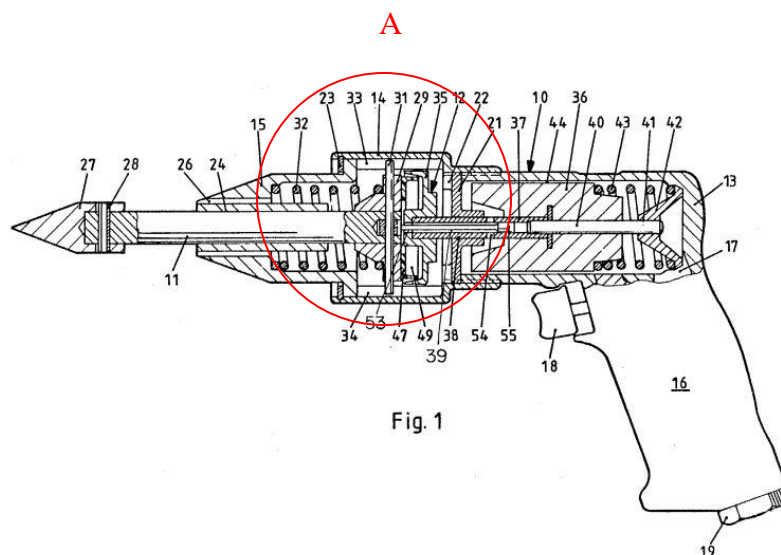


Slika 17. Detalj B sabijene opruge prije vraćanja u početni položaj

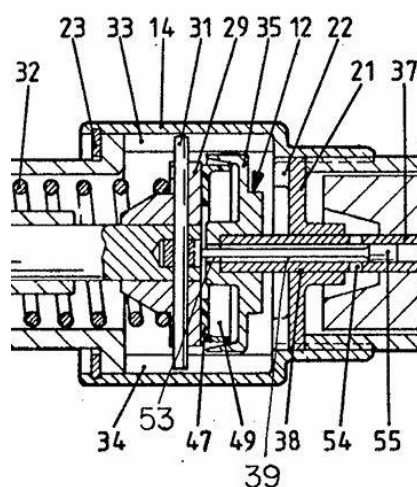
U početnom položaju opruga je opuštena kao na slikama 14. i 15. Nakon što klip udari alat, dolazi do pomicanja alata prema van. Zbog svojeg oblika prilikom pomicanja prema van, alat gura kuglasti ležaj (45) u prazan prostor (44) koji se može vidjeti na slici 15. Kako se kuglasti ležaj pomiče u prazan prostor, tako se i gornji dio konstrukcije (40) pomiče u desno i sabija oprugu što se može vidjeti na slici 17. Prilikom povratka alata u početni položaj, opruga se rasterećuje i gura konstrukciju natraga sve do graničnika s lijeve strane.

2.1.3. Opruga u unutarnjem dijelu konstrukcije

U ovom slučaju opruga se nalazi unutar samog kućišta pneumatskog čekića. Na slici 18. nalazi se još jedan pneumatski čekić koji spada u kategoriju laganih čekića. Cijeli princip rada objasnio je Per L. A. Gidlund u svojem patentu US4355564A.



Slika 18. Prikaz pneumatskog čekića sa oprugom unutar kućišta



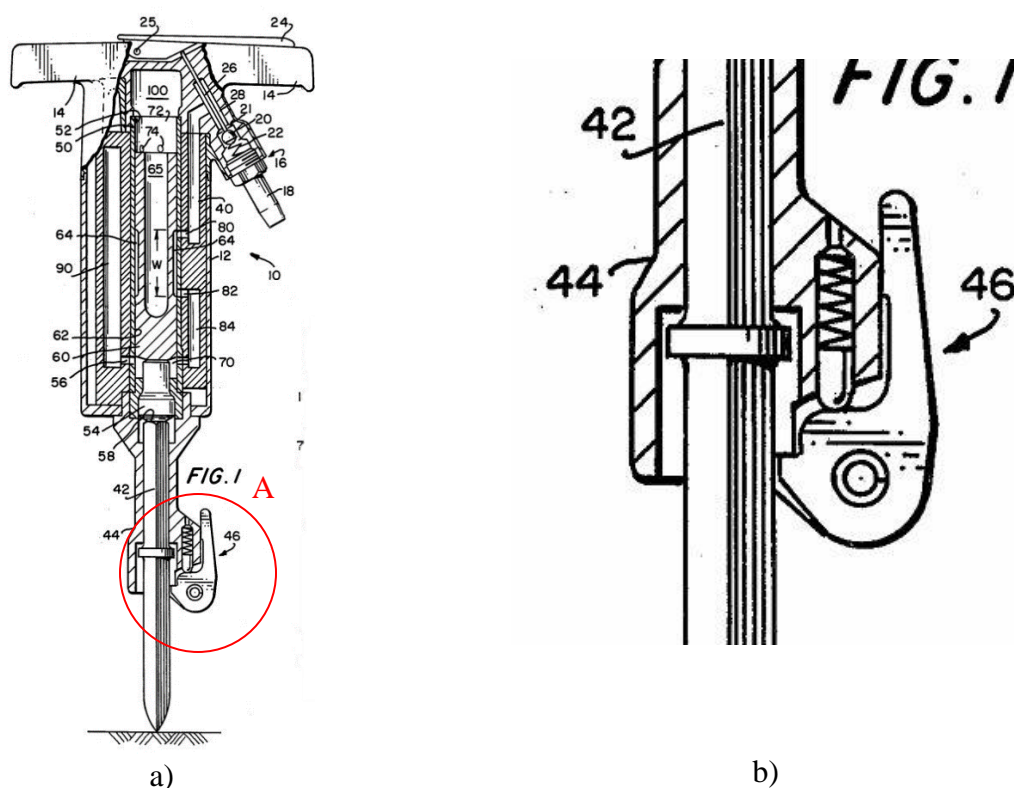
Slika 19. Detalj A aktivne membrane (12) unutar kućišta

Za razliku od prijašnjih modela, ovdje se javlja aktivna membrana (12) koja se nalazi između dvije opruge (32 i 43). Komprimirani zrak pomiče stap (55), koji zatim pomiče stražnji dio radnog alata (29). Prije pomicanja radnog alata (11), aktivna membrana je u kontaktu sa radnim alatom. Kada se radni alat kreće prema van, opruga (32) se sabija. Kada se radni alat pomakne za svoju maksimalnu vrijednost, sila u sabijenoj opruzi vraća radni alat u početni položaj. Prilikom povratka radni alat udara u aktivnu membranu te ju tako pomiče prema stražnjem

dijelu čekića. Prilikom pomicanja aktivne membrane, pomiće se i kruti pomični dio (36) koji sabija oprugu (43) u stražnjem dijelu kućišta. Ista taj kruti pomični dio pomaže smanjiti vibracije na korisnika.

2.1.4. Držać alata (eng. latch retainer)

Jedan malo drugačiji pristup koji se koristi i u modernijim čekićima za teške poslove je takozvani „latch retainer“ ili držać alata. Kao što je prikazano na slici 20. radi se o malom mehanizmu koji sprječava ispadanje alata za vrijeme rada. Također cijeli rad ovog čekića opisao je John J. Casperovich u svom patentu US4440237.



Slika 20. a) Presjek pneumatskog čekića, b) Detalj A Držać alata

Na slici 20. b) vidi se da se zapravo radi o nekoj vrsti poluge koja služi kao graničnik. Iznad poluge nalazi se mala opruga koja sprječava da se poluga otvori tijekom rada. Radni alat se može slobodno gibati gore-dolje za vrijeme kada čekić ne radi. Pošto se radni alat može slobodno gibati, vraćanje u početni položaj je poprilično jednostavno. Prilikom korištenja čekića radni alat je u stalnom dodiru sa podlogom pa se stoga radni alat vraća u početni položaj jednostavnim spuštanjem cijelog čekića na vrh radnog alata.

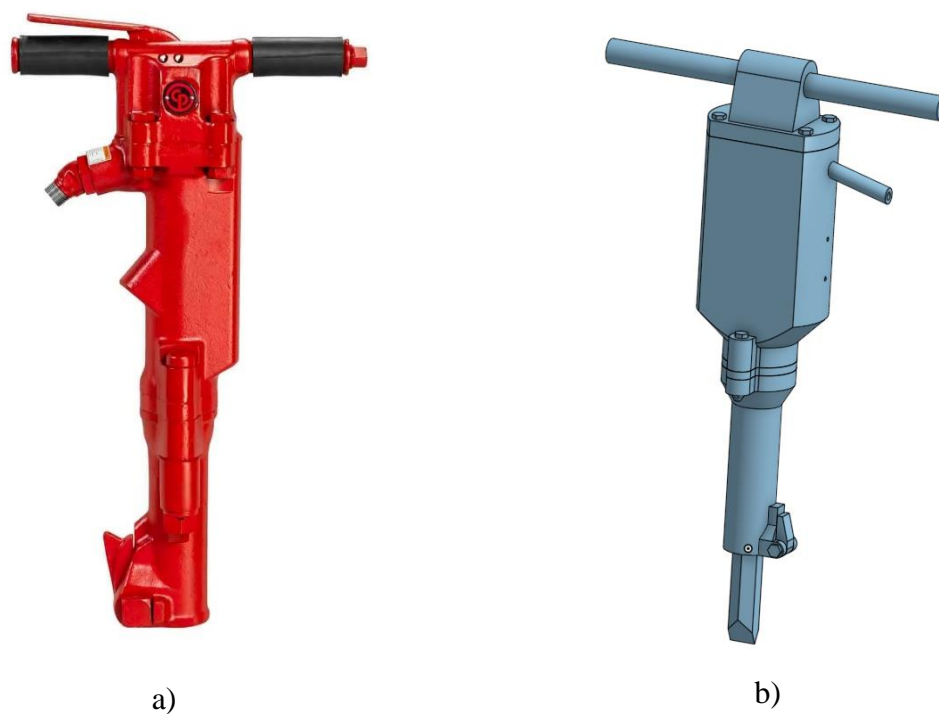
2.2. Odabir konstrukcije za daljnji proračun

Za nastavak rada odlučio sam se za tip konstrukcije iz poglavlja 2.1.4. Konstrukcija pneumatskog čekića odabrana je zbog široke primjene u praksi. Proučavanjem tržišta došao sam do zaključka da jedna od najpoznatijih i najpouzdanijih tvrtki, Chicago Pneumatics, u većini svojih modela koristi identičan princip rada, što potvrđuje njegovu pouzdanost i efikasnost u raznim radnim uvjetima. Također, jednostavan dizajn omogućava lakšu proizvodnju, rukovanje i održavanje, dok dostupnost dijelova osiguravaju brzo i jednostavno popravljavanje u slučaju pucanja. Ovisno o kojem modelu se radi, zamijena cijelog seta držača alata u prosjeku košta od 100\$ do 200\$ i ne zahtijeva ulaganje previše vremena. Ove karakteristike ga čine ekonomičnim i praktičnim izborom za srednje teške i teške pneumatske čekiće. Sama konstrukcija i dijelovi će biti detaljnije opisani u nastavku rada.

3. 3D MODEL KONSTRUKCIJE

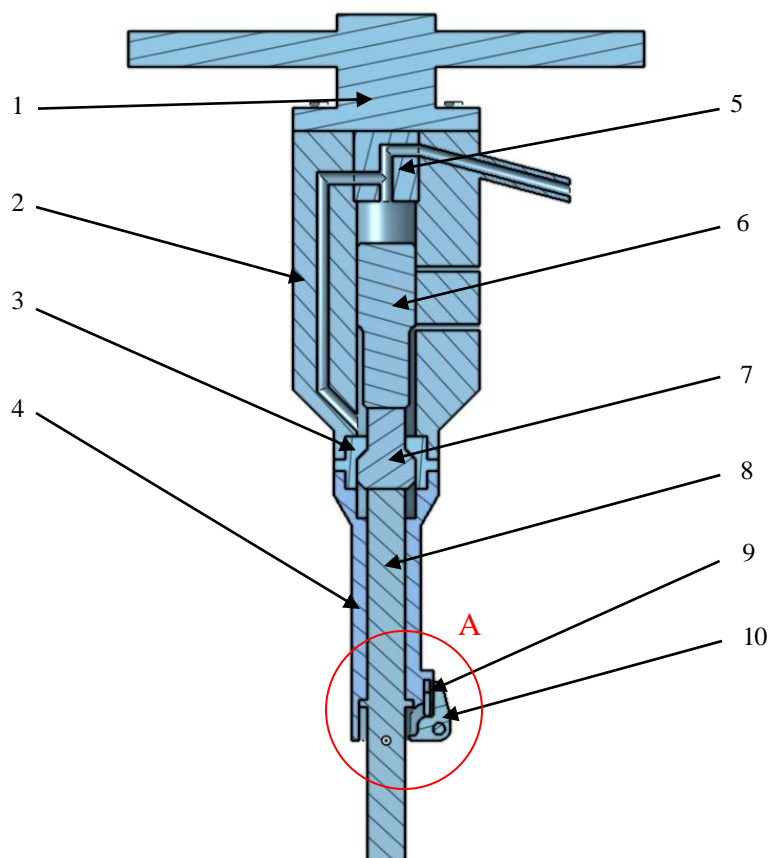
Sama izrada 3D modela konstrukcije pneumatskog čekića predstavlja ključan korak za proračun. 3D model omogućava lakše razumijevanje rada čekića i vizualiziranje ključnih komponenta za njegov rad. Prilikom izrade modela konstrukcije poslužio sam se stvarnim primjerima pneumatskih čekića koji se koriste u industrijskoj praksi, čime sam osigurao realističan prikaz mehaničkih komponenti i funkcionalnost pneumatskog čekića. Kroz proces modeliranja prikazani su svi bitni dijelovi čekića koji omogućuju daljnju analizu rada i proračun čekića.

Kao što je objašnjeno u poglavlju 2.2. za primjer konstrukcije odabran je pneumatski čekić sa držačem alata. Slika 21.a) prikazuje primjer stvarnog pneumatskog čekića sa držačem alata koji se koristi u praksi, dok slika 21.b) prikazuje 3D model sa istim mehanizmom.

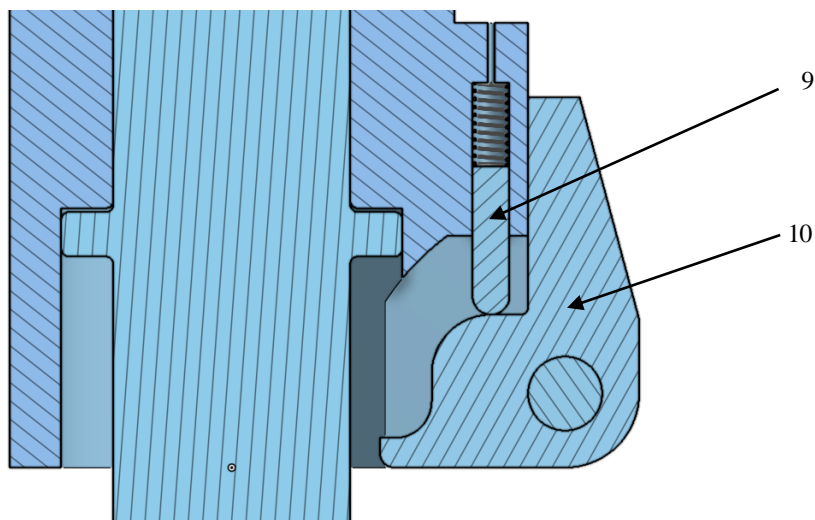


Slika 21. a) Primjer pneumatskog čekića sa držačem alata; b) 3D model pneumatskog čekića sa držačem alata

Kako su za daljni proračun vibracija potrebne mase glavnih dijelova čekića, nije bilo potrebe za detaljnijom izradom 3D modela. Slika 22. prikazuje presjek konstrukcije čekića sa svim glavnim dijelovima, dok slika 23. prikazuje detalj A držača alata.



Slika 22. Presjek 3D modela pneumatskog čekića



Slika 23. Detalj A držača alata

U tablici 6. može se vidjeti popis svih glavnih dijelova zajedno sa njihovima masama. Sve slike i podatci uzeti su iz programa Onshape u kojem je i rađen 3D model konstrukcije, dok su tehnički crteži rađeni u programu Solidworks. Detaljan prikaz svakog dijela zasebno može se vidjeti u prilogu na kraju rada.

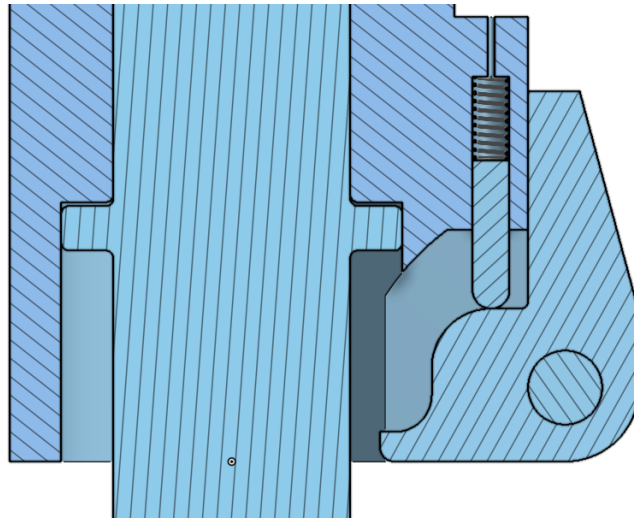
Tablica 6. Popis glavnih dijelova

Broj dijela	Naziv dijela	Masa [kg]
1	Gornje kućište	2,50
2	Srednje kućište	8,65
3	Prirubnica	1,12
4	Donje kućište	4,30
5	Glavni ventil	0,41
6	Cilindar	1,80
7	Udarni bat	0,68
8	Dlijeto	2,43
9	Cilindrični zatic	0,003
10	Držač alata	0,13

Ukupna masa modeliranog čekića zajedno sa svim vijcima i oprugom iznosi 22,31 kg. Znači da čekić spada u kategoriju srednje teških pneumatskih čekića. Pošto je cilj izrade 3D modela bio prikazati jedan od načina izvedbe pneumatskih čekića iz poglavlja 2.1. u nastavku će biti detaljnije objašnjena konstrukcija 3D modela.

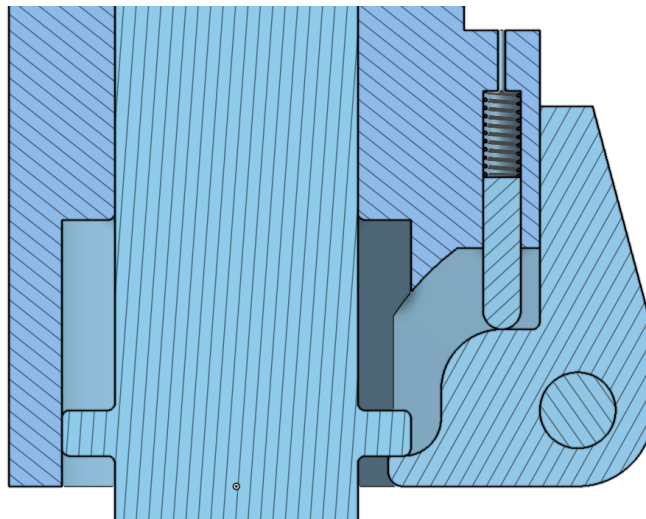
3.1. Opis konstrukcije sa držačem alata

Kako je za odabranu konstrukciju odabran pneumatski čekić sa držačem alata, većina toga je bila bazirana oko dimenzija dlijeta. Nakon istraživanja tržišta pronašao sam neke standardne dimenzije dlijeta i napravio 3D model kao što je prikazano u prilogu na crtežu broj 8. Cilj držača alata je da sprječiti dlijeto od ispadanja iz kućišta čekića. Na slikama 24., 25. i 26. prikazan je princip rada jednog takvog držača.



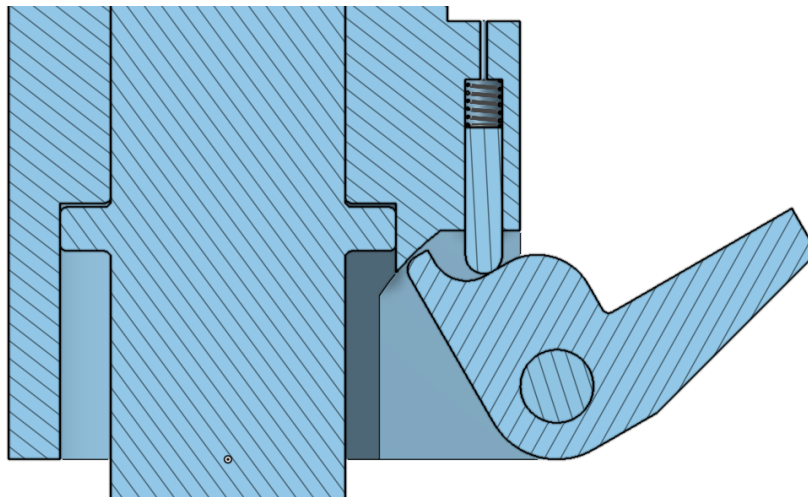
Slika 24. Početni položaj dljeta prije udarca

Kako je prikazano na slici 24. u početnom položaju cilindrični zatic pomoću opruge osigurava da držač alata ostane zatvoren za vrijeme rada čekića. Kada ne bi bilo cilindričnog zatika i opruge, držač bi se mogao slobodno rotirati oko vijka.



Slika 25. Krajnji položaj dljeta nakon udarca

Nadalje, kada dljeto dođe u krajnji položaj kao na slici 25. tada držač alata služi kao graničnik i ograničava pomak dljeta kako dljeto ne bi ispalo van kućišta. Postoje različite vrste dljeta ovisno o vrsti zahvata i o materijalu površine na kojoj se vrši zahvat. Stoga je potrebno osigurati jednostavnu zamjenu dljeta u svakom trenutku.



Slika 26. Položaj držača alata za vrijeme zamjene alata

Slika 26. prikazuje postupak zamjene alata. Prilikom rotiranja držača alata dolazi do tlačenja opruge koja ga zajedno sa cilindričnim zatikom nakon promjene alata vraća u početni položaj. Iznad opruge nalazi se rupa malog promjera koja omogućava da zrak prilikom tlačenja opruge može izaći u okoliš.

4. NUMERIČKA ANALIZA PNEUMATSKOG ČEKIČA

4.1. O vibracijama

Vibracije predstavljaju oscilatorno gibanje tijela oko ravnotežnog položaja i mogu utjecati na rad i sigurnost različitih konstrukcija. Vibracije su svuda oko nas, od strojeva i vozila do zgrada i mostova. Proučavanje vibracija važno je u brojnim industrijama poput strojarstva, građevinarstva, automobilske industrije i zrakoplovstva. Razumijevanje vibracija pomaže nam da smanjimo njihove štetne učinke, poboljšamo performanse i povećamo trajnost konstrukcija.

U praksi se vibracije mogu pojaviti iz raznih razloga kao što su vanjske sile, neravnoteža rotirajućih dijelova, aerodinamički i hidrodinamički utjecaji ili rezonancija konstrukcije. Iako u nekim slučajevima mogu biti korisne, poput vibracijskih strojeva i alata, u većini situacija nisu poželjne jer mogu uzrokovati zamor materijala, bespotrebno dodatno opteretiti korisnika, smanjiti učinkovitost i povećati buku.

Analiza vibracija temelji se na modeliranju mehaničkih sustava i proučavanju njihovog dinamičkog ponašanja. Jedna od podjela vibracija su linearni i nelinearni sustavi. Linearni sustavi lakše se analiziraju jer za njih postoje dobro razvijene metode rješavanja. S druge strane, nelinearni sustavi su složeniji i njihova analiza zahtijeva naprednije matematičke metode.

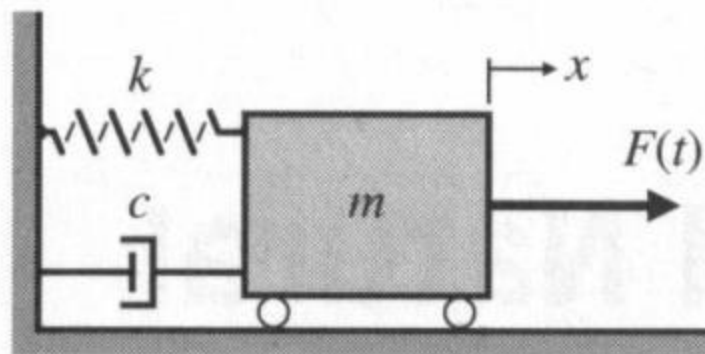
Jedan od najjednostavnijih i najvažnijih modela u proučavanju vibracija je sustav s jednim stupnjem slobode. On služi kao osnova za razumijevanje složenijih sustava i omogućuje analizu osnovnih principa vibracijskog gibanja.

Također važna podjela temelji se na prisutnosti vanjske sile. Ako sustav oscilira bez utjecaja vanjske sile, govorimo o slobodnim vibracijama. No, ako na sustav djeluje vanjska pobuda, radi se o prisilnim vibracijama.

Isto tako vibracijski sustavi mogu se djeliti na prigušene i neprigušene sustave, ovisno o tome postoji li u modelu prigušivač koji smanjuje amplitudu oscilacija. U stvarnim sustavima uvijek postoji određeno prigušenje, ali na nama je da procijenimo da je li ono dovoljno malo da ga se može zanemariti u analizi.

4.1.1. Vibracije sustava s jednim stupnjem slobode

Sustav s jednim stupnjem slobode je onaj čije se gibanje može opisati pomoću samo jedne varijable. Najjednostavniji primjer je masa pričvršćena na oprugu s prigušivačem, koja oscilira u jednoj ravnini. Ovaj model koristi se za analizu ključnih karakteristika vibracija, poput prirodne frekvencije, vlastitih oscilacija, prigušenja i prisilnih vibracija. Slika 27. prikazuje primjer vibracijskog sustava s jednim stupnjem slobode.



Slika 27. Vibracijski sustav s jednim stupnjem slobode

Matematički gledano, ovaj sustav opisuje diferencijalna jednadžba koja povezuje inercijske sile, elastične sile opruge i prigušne sile. Ovisno o tome postoji li prigušenje i vanjska sila, vibracije mogu biti slobodne neprigušene, slobodne prigušene i prisilne vibracije.

Slobodne neprigušene vibracije javljaju se kada sustav oscilira vlastitom frekvencijom bez vanjskih utjecaja i bez prigušenja. Dok se slobodne prigušene vibracije javljaju kada se zbog prisutnog prigušenja amplituda vibracija s vremenom smanjuje. Na kraju prisilne vibracije. One se javljaju kada na sustav djeluje vanjska sila, što može dovesti do rezonancije ako je pobudna frekvencija blizu prirodne frekvencije sustava.

Razumijevanje sustava s jednim stupnjem slobode ključno je za analizu složenijih konstrukcija, jer se mnogi sustavi mogu pojednostaviti i promatrati kao skup međusobno povezanih jednostavnih sustava.

4.1.2. Vibracijski sustav s više stupnja slobode gibanja i prigušenjem

Vibracijski sustav s više stupnjeva slobode je sustav čije se gibanje ne može opisati samo jednom varijablom, već je za njegovo potpuno definiranje potrebno uzeti u obzir više nezavisnih koordinata. Takvi sustavi su česti u inženjerskoj praksi i nalaze se u raznim konstrukcijama. Tipičan sustav s više stupnjeva slobode gibanja može se modelirati kao niz masa međusobno povezanih oprugama i prigušivačima. Svaka masa može oscilirati u određenim smjerovima, a broj stupnjeva slobode jednak je broju nezavisnih načina na koje se sustav može gibati.

Uvođenjem prigušenja u sustav dolazi do disipacije energije, čime se smanjuje amplituda vibracija tijekom vremena. Prigušenje može nastati iz više razloga, a neki od njih su unutarnja svojstva materijala, viskozni otpor fluida ili kontrolirani mehanizmi poput amortizera.

Kako bi se opisalo gibanje prigušenog sustava s više stupnjeva slobode koristi se sustav diferencijalnih jednadžbi:

$$M\ddot{\vec{x}}(t) + C\dot{\vec{x}}(t) + K\vec{x}(t) = \vec{F}(t), \quad (1)$$

gdje su:

M – matrica masa,

C – matrica prigušenja,

K – matrica krutosti,

$\vec{x}(t)$ – vektor pomaka,

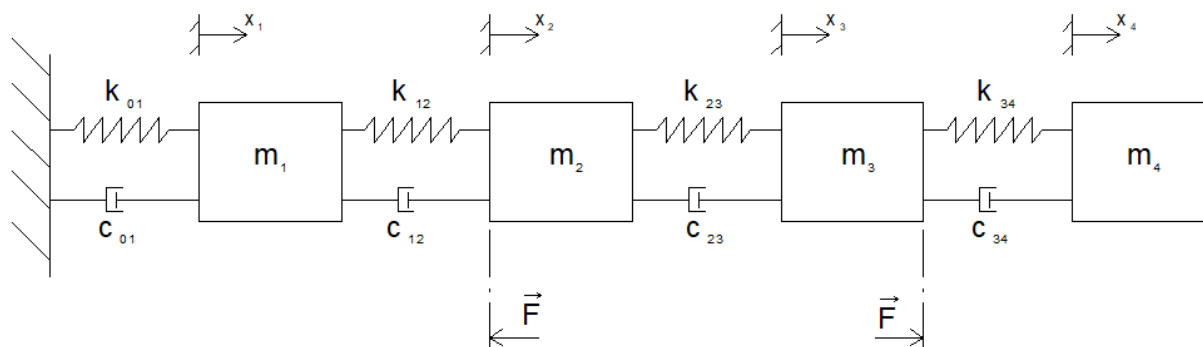
$\dot{\vec{x}}(t)$ – vektor brzine,

$\ddot{\vec{x}}(t)$ – vektor ubrzanja,

$\vec{F}(t)$ – vektor vanjske sile.

4.2. Proračunski model

Kako je sama konstrukcija pneumatskog čekića veoma složena, bilo bi poprilično zahtjevno proračunavati svaki dio zasebno. Stoga je potrebno pojednostaviti konstrukciju do te razine na kojoj će dobiveni rezultati biti prihvatljivi i neće biti prevelikih odstupanja od početne konstrukcije. Na slici 28. može se vidjeti pojednostavljeni proračunski model konstruiranog pneumatskog čekića iz poglavlja 3.



Slika 28. Pojednostavljeni proračunski model

Kako je vidljivo sa slike 28. model je podijeljen na 4 mase koje su međusobno povezane oprugama i prigušivačima. Masa 1 predstavlja masu okoline na koju djelujemo čekićem. Masa 2 stoga predstavlja masu svih pokretnih dijelova čekića. U ovom slučaju to su dijelovi dljeto, udarni bat i cilindar. Masa 3 predstavlja masu kućišta alata, odnosno masu svih nepokretnih dijelova čekića. I na kraju masa 4 predstavlja masu korisnika čekića, točnije masu ruke koja je u direktnom kontaktu sa čekićem.

Također, osim mase pojavljuje se i koeficijent viskoznog prigušenja koji je na slici 28. prikazan prigušivačem. Njegova je oznaka c_{xx} [Ns/m]. Indeks označuje između koje dvije mase djeluje koeficijent viskoznog prigušenja. Nadalje potrebno je odrediti i krutosti u sustavu. Krutosti su označene na slici 28. sa oprugama i njihova oznaka je k_{xx} [N/m]. Isto kao i kod koeficijenta viskoznog prigušenja, indeks označuje između koje dvije mase djeluje.

4.3. Ulazni podaci

Za početak proračuna potrebno je definirati ulazne vrijednosti. Kako je poprilično teško definirati koeficijente viskoznog prigušenja, sustav će se promatrati za 2 različita slučaja. U prvom slučaju koeficijenti viskoznog prigušenja imat će male vrijednosti te će sustav kao takav biti gotovo neprigušen. U drugom slučaju će koeficijenti viskoznog prigušenja imati velike vrijednosti pa će sustav biti kritično prigušen.

Da bi se mogli koristiti programski paketi koje nudi Python, jednadžbu (1) potrebno je pretvoriti u sustav jednadžbi 1. reda. Sustav jednadžbi 1. reda dobivamo pomoću matematičkog modela prostora stanja na sljedeći način:

$$\vec{q} = \begin{bmatrix} \dot{\vec{x}} \\ \vec{x} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\dot{\vec{q}} = A\vec{q} + B\vec{u}, \quad (3)$$

$$\vec{z} = D\vec{q} + E\vec{u}. \quad (4)$$

gdje su:

\vec{q} – vektor stanja,

\vec{z} – vektor izlaza,

\vec{u} – vektor ulaza,

A – matrica sustava,

B – matrica ulaza,

D – matrica izlaza,

E – matrica prijenosa.

4.3.1. Prvi slučaj

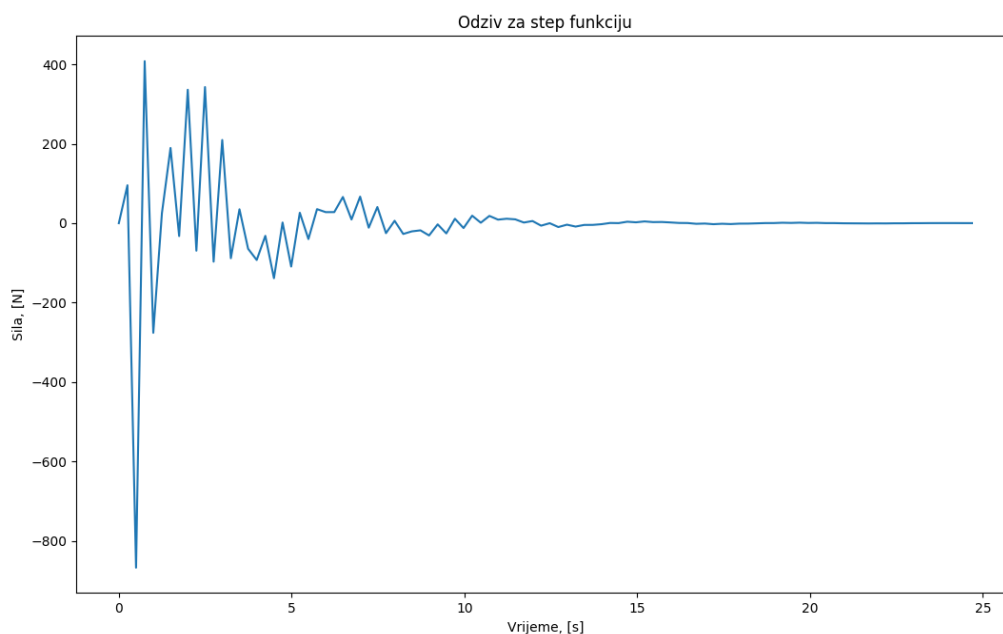
U tablici 7. nalaze se ulazne vrijednosti za prvi slučaj kada je sustav gotovo neprigušen.

Tablica 7. Ulazne vrijednosti za slučaj broj 1

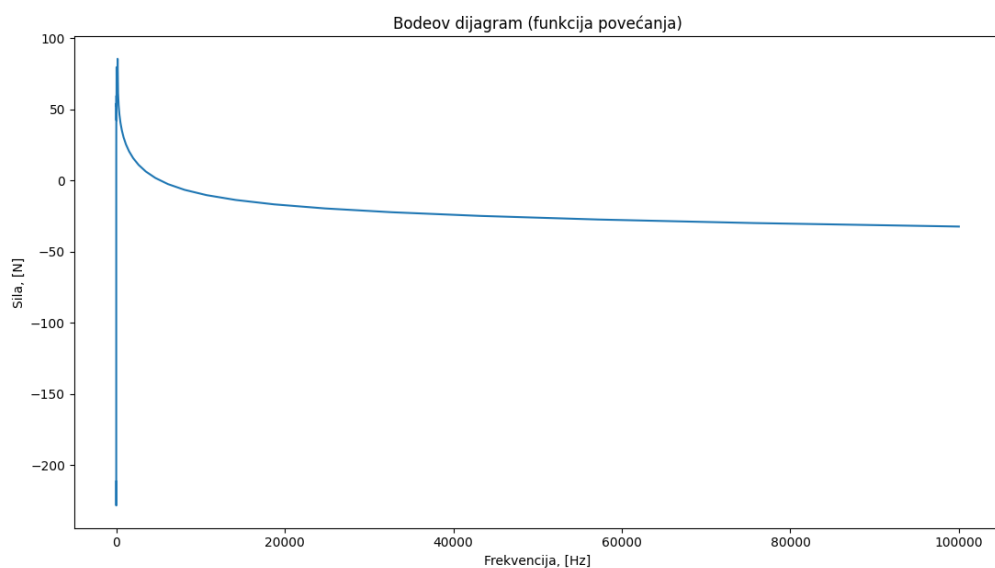
	Vrijednost:	Mjerna jedinica:
m_1	100	kg
m_2	4,91	kg
m_3	16,60	kg
m_4	10	kg
k_{01}	100000	N/m
k_{12}	100000	N/m
k_{23}	19635	N/m
k_{34}	1635	N/m
c_{12}	10	Ns/m

c_{23}	10	Ns/m
c_{34}	10	Ns/m
F	1178	N

Nakon uvrštavanja poznatih vrijednosti u programski paket Python dobivaju se sljedeći rezultati. Ukupna sila između mase 1 i 2 prikazana je na slici 29. Ako bi između masa 2 i 3 djelovala harmonijska sila na slici 30. možemo vidjeti kako bi izgledala funkcija povećanja za masu 1 i 2.

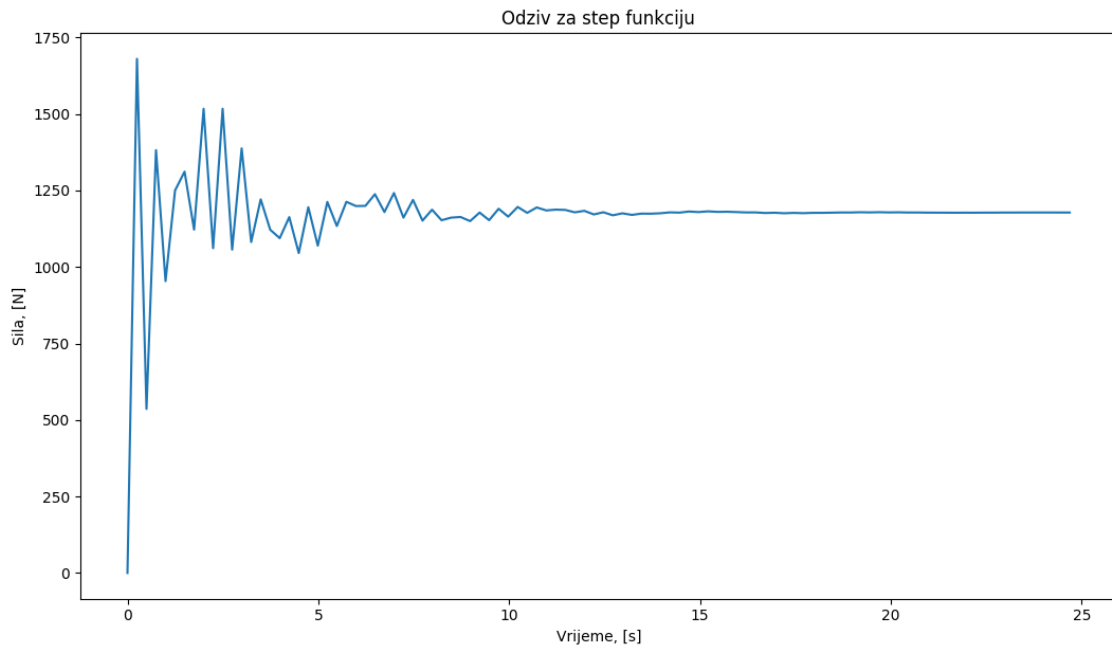


Slika 29. Prikaz ukupne sile između masa 1 i 2

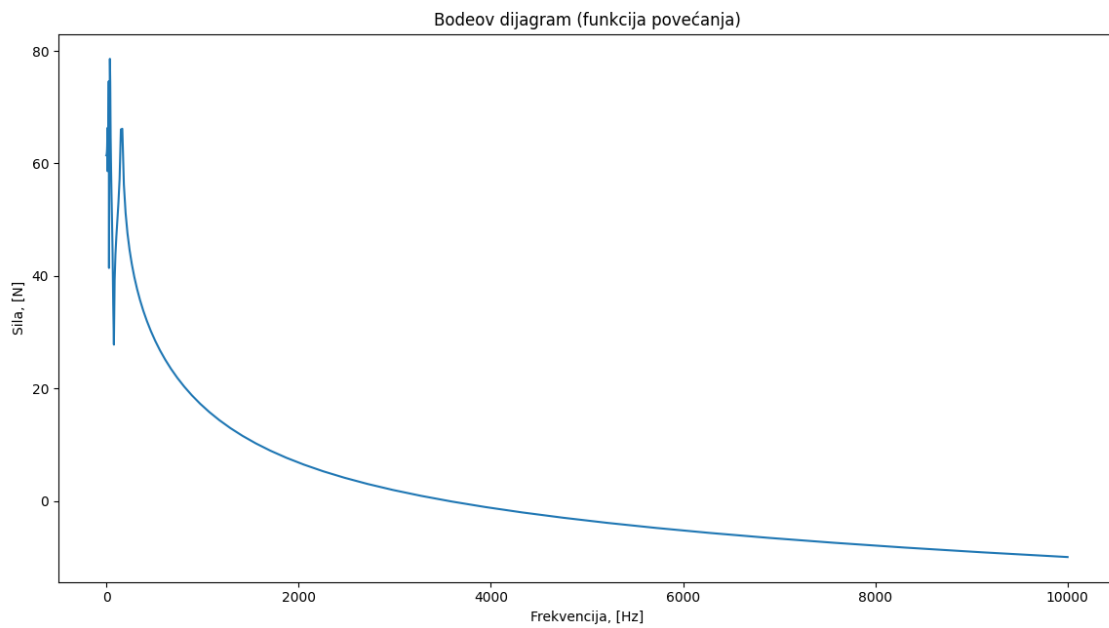


Slika 30. Prikaz funkcije povećanja između masa 1 i 2

Zatim na slikama 31. i 32. može se vidjeti ukupna sila između masa 2 i 3 zajedno sa funkcijom povećanja.

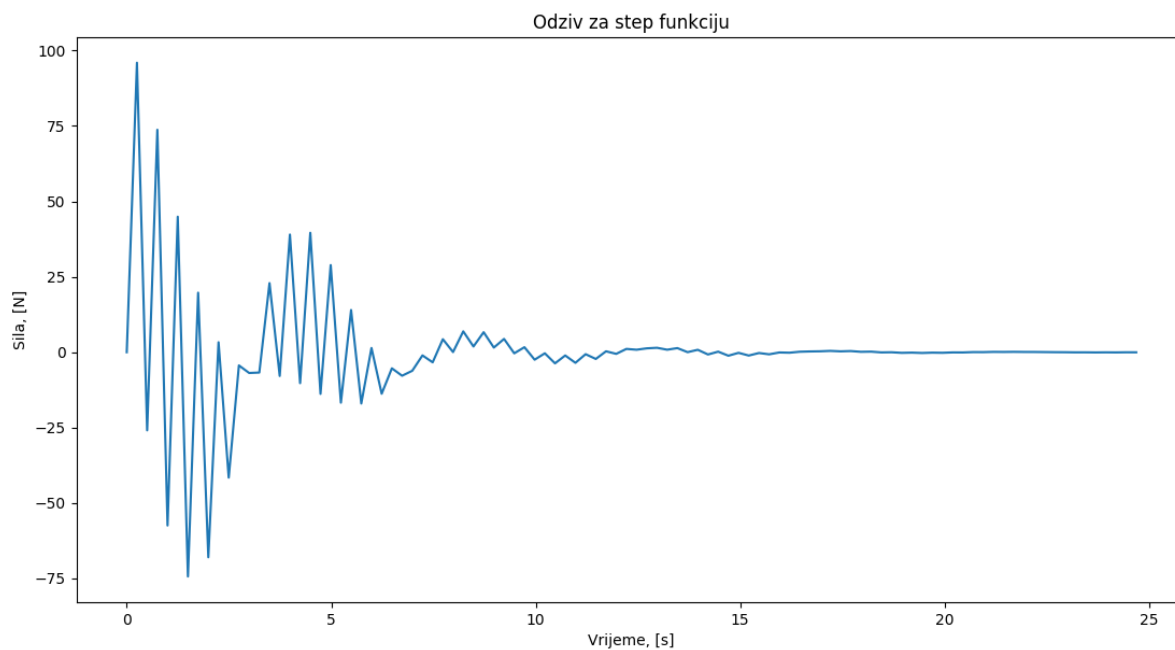


Slika 31. Prikaz ukupne sile između masa 2 i 3

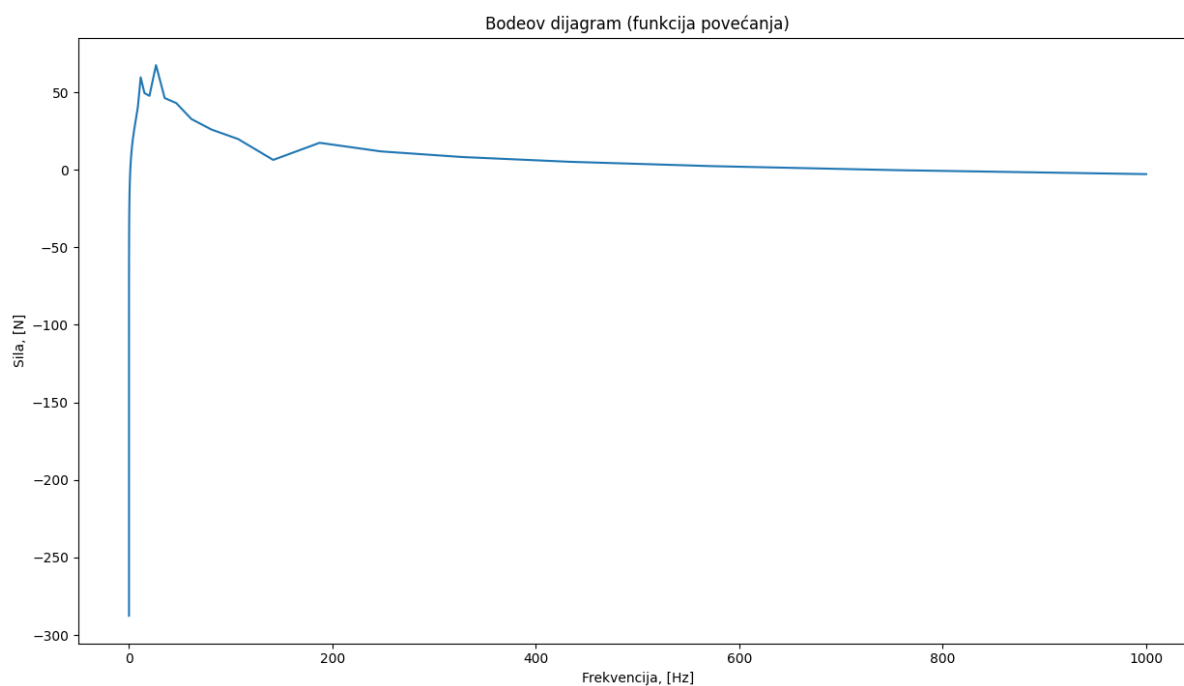


Slika 32. Prikaz funkcije povećanja između masa 2 i 3

I na kraju na slikama 33. i 34. može se vidjeti ukupna sila između masa 3 i 4 te funkcija povećanja.



Slika 33. Prikaz ukupne sile između masa 3 i 4



Slika 34. Prikaz funkcije povećanja između masa 3 i 4

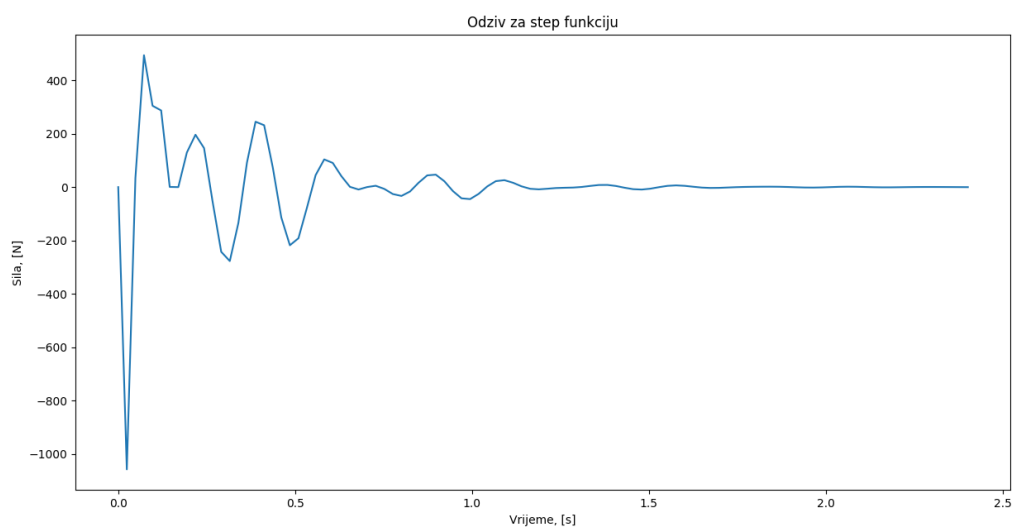
4.3.2. Drugi slučaj

U tablici 8. nalaze se ulazne vrijednosti za drugi slučaj. Sve vrijednosti su ostale iste osim koeficijenta viskoznog prigušenja. Pošto je cilj približiti se kritično prigušenom sustavu, iznosi koeficijenta viskoznog prigušenja su 10 puta veći u odnosu na prvi slučaj.

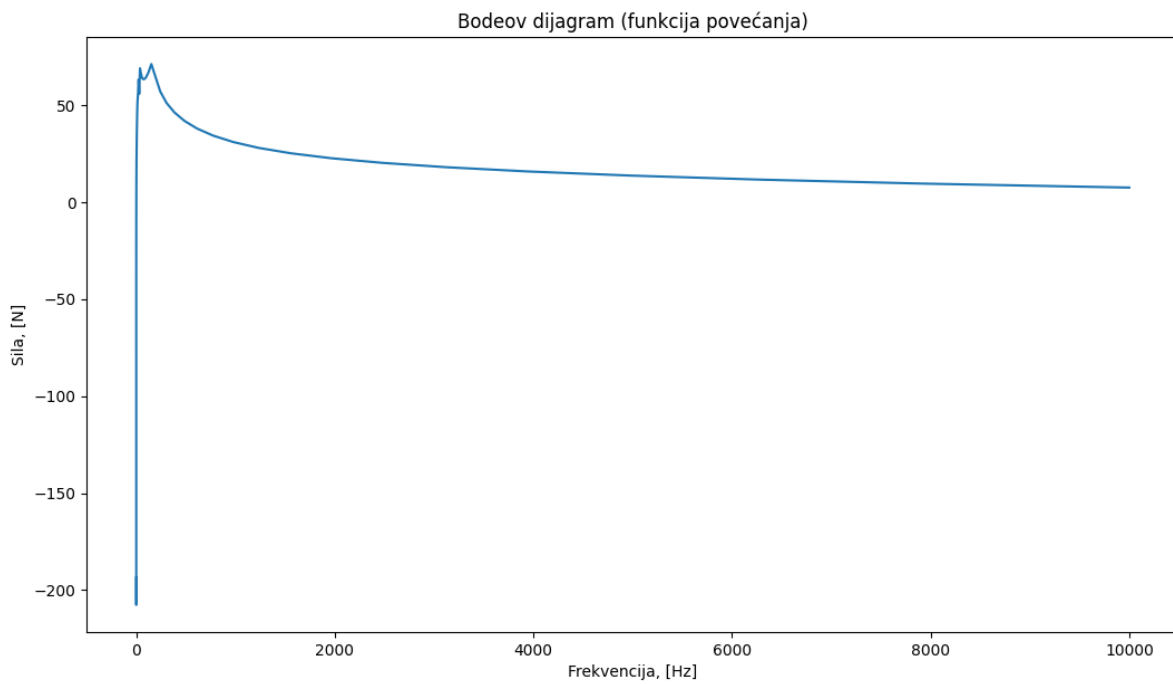
Tablica 8. Ulazne vrijednosti za slučaj broj 2

	Vrijednost:	Mjerna jedinica:
m_1	100	kg
m_2	4,91	kg
m_3	16,60	kg
m_4	10	kg
k_{01}	100000	N/m
k_{12}	100000	N/m
k_{23}	19635	N/m
k_{34}	1635	N/m
c_{12}	100	Ns/m
c_{23}	100	Ns/m
c_{34}	100	Ns/m
F	1178	N

Slike 35. i 36. prikazuju ukupnu silu između masa 1 i 2 te pripadajuću funkciju povećanja.

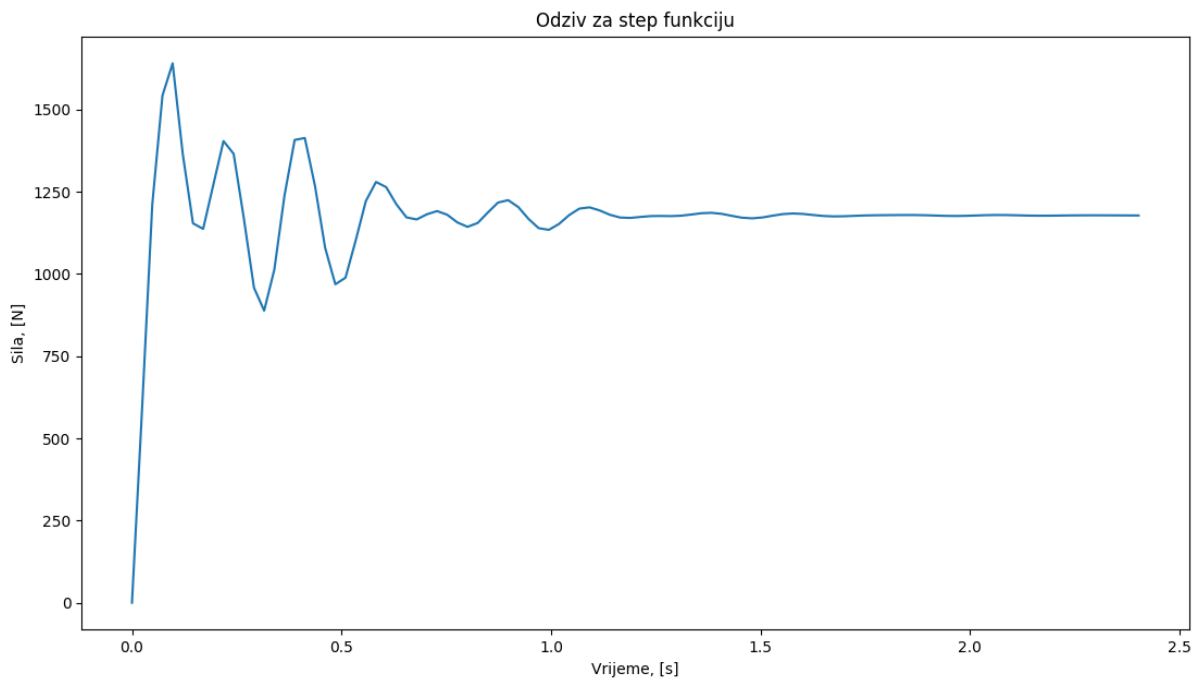


Slika 35. Prikaz ukupne sile između masa 1 i 2

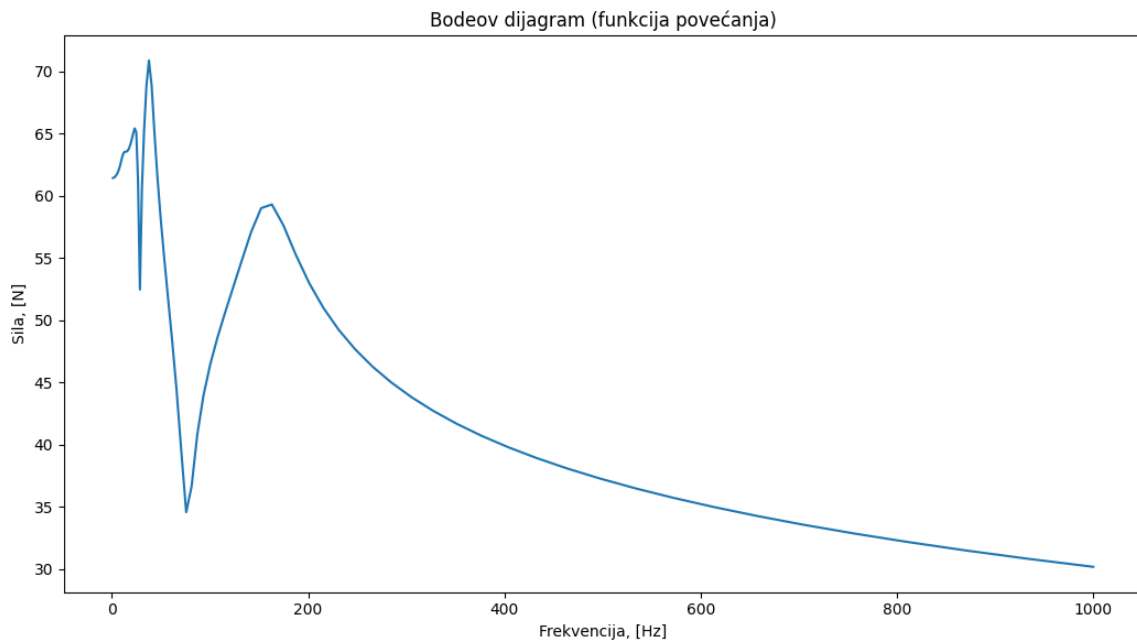


Slika 36. Pripadajuća funkcija povećanja između masa 1 i 2

Na slikama 37. i 38. može se vidjeti ukupna sila između masa 2 i 3 te funkcija povećanja.

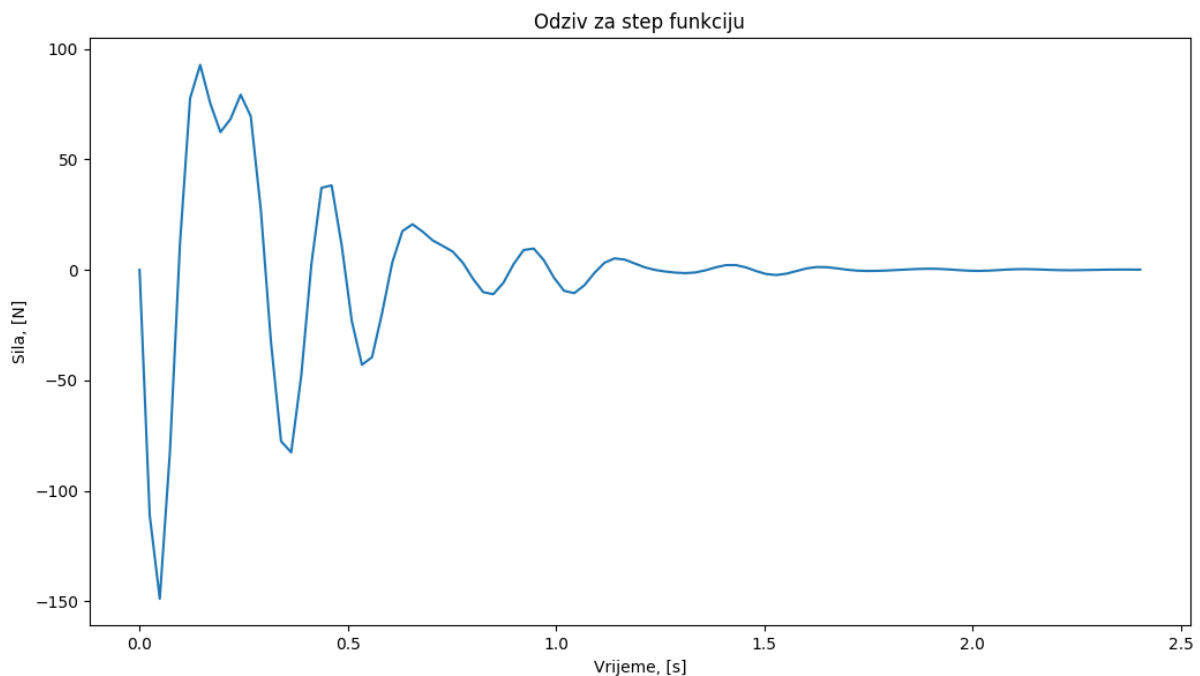


Slika 37. Prikaz ukupne sile između masa 2 i 3

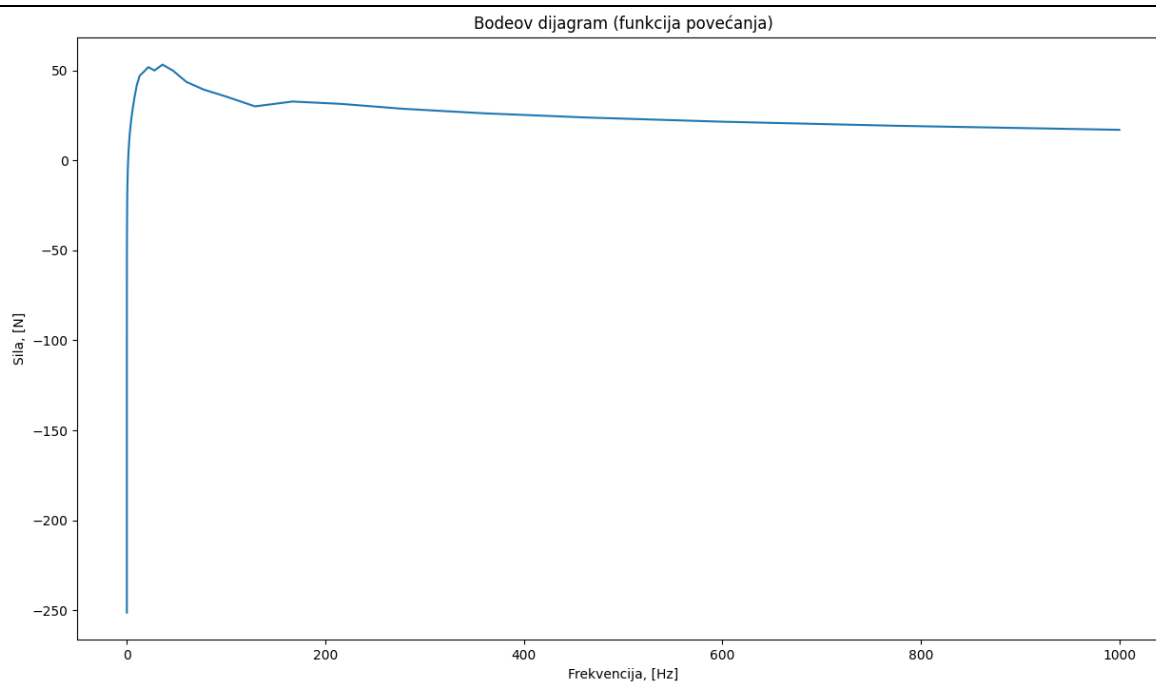


Slika 38. Prikaz funkcije povećanja između masa 2 i 3

Te na kraju slike 39. i 40. prikazuju ukupnu silu između masa 3 i 4 zajedno sa pripadajućom funkcijom povećanja.



Slika 39. Prikaz ukupne sile između masa 3 i 4



Slika 40. Prikaz funkcije povećanja između masa 3 i 4

4.4. Usporedba rezultata

Potrebno je naglasiti da rezultati ovise o nekim ulaznim podacima koji su pretpostavljeni. Pretpostavljeni su iz razloga što ih je u praksi jako teško jednoznačno odrediti.

Općenito se može vidjeti iz gornjih slika da za gotovo neprigušen sustav sila oscilira duži vremenski period, dok kod kritično prigušenog sustava to nije slučaj. Ako se uspoređi ukupna sila između masa 1 i 2, može se vidjeti da je amplituda sile veća kod kritično prigušenog sustava. Odnosno kod kritično prigušenog sustava se javlja kraće osciliranje, ali uz veći iznos sile. Kod masa 2 i 3 to nije slučaj. Za gotovo neprigušen sustav amplituda ukupne sile je veća nego za kritično prigušen sustav. Pošto ulazna sila djeluje direktno između masa 2 i 3 to je bilo i za očekivati, jer je koeficijent viskoznog prigušenja znatno veći za drugi slučaj. Ono što je zanimljivo je usporedba ukupne sile između masa 3 i 4. Može se vidjeti da je iznos sile na početku skoro 2 puta veći kod kritično prigušenog sustava nego kod gotovo neprigušenog sustava. Funkcije povećanja su više manje slične za mase 1 i 2 te mase 3 i 4. Vidljivo je sa slika da je za slučaj kritično prigušenog sustava krivulja više „glada“, odnosno nema naglih skokova što bi značilo da takav sustav ima bolje prigušene vibracije sa nižim rezonancijskim vrhovima.

5. ZAKLJUČAK

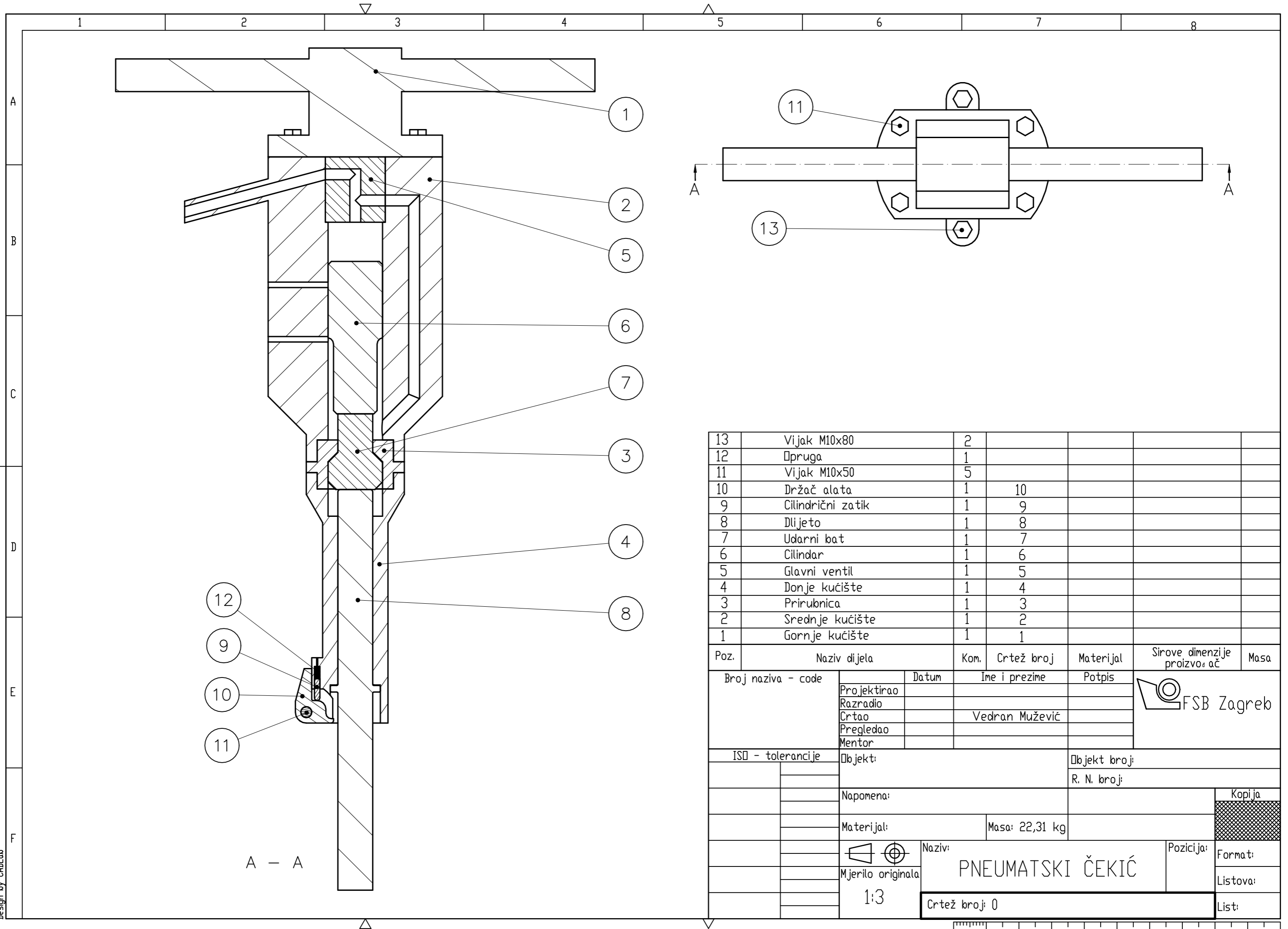
Nakon izrade 3D modela konstrukcije i provođenja analize vibracija za istu, može se zaključiti više stvari. Iz dobivenih rezultata može se vidjeti da vibracije imaju veliki utjecaj na rad pneumatskog čekića. Jače prigušenje smanjuje vrijeme stabilizacije vibracija i omogućava korisniku ugodniji rad sa alatom. Međutim, preveliko prigušenje može uzrokovati slabiju snagu pneumatskog čekića i samim time smanjiti njegovu efikasnost. Bilo bi poželjno, prilikom izrade konstrukcije čekića, ugraditi neke prigušne elemente kako bi se postigao balans između smanjenja vibracija i očuvanja snage udarca. Naprimjer, ugradnjom gumenih elemenata u konstrukciju drške ili kućišta dolazi do manjeg prijenosa vibracija na korisnika bez previše gubitaka na snazi. Također, još jedno rješenje bilo bi da se poveća masa alata. Povećanjem mase postiže se smanjena učestalost vibracija i manji prijenos vibracija na ruku korisnika, ali kao posljedica toga povećava se inercija alata te on postaje težak i manje praktičan. Stoga treba biti oprezan prilikom konstruiranja da ne bi došlo do nepotrebnog predimenzioniranja. Još jedan od načina kontroliranja vibracija bio bi pravilan odabir materijala. Poželjno je odabrati materijal koji nema preveliku, ali isto tako niti premalu krutost. Prevelika krutost može uzrokovati veće vibracije jer dolazi do snažne i neugodne reakcije na udarce, dok sa druge strane premala krutost produžuje trajanje vibracija. Zaključak svega je da sve ovisi o vrsti zahvata i o potrebama korisnika. Ovaj rad daje bolji uvid i odličnu početnu točku za razumijevanje i lakši odabir pneumatskog čekića.

LITERATURA

- [1] Stegić, M., Teorija vibracija linearnih diskretnih mehaničkih sustava, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1996.
- [2] Alfirević I., Nauka o čvrstoći I, Tehnička knjiga, Zagreb, 1995.
- [3] Pustaić, D., Wolf, H., Tonković, Z., Mehanika III, Uvod u analitičku mehaniku s osnovama teorije vibracija, Golden marketing, Zagreb, 2004.
- [4] <https://www.cp.com/en>
- [5] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [6] <https://www.mekanizmalar.com/>

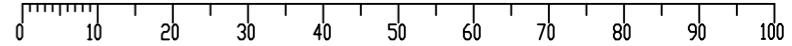
PRILOZI

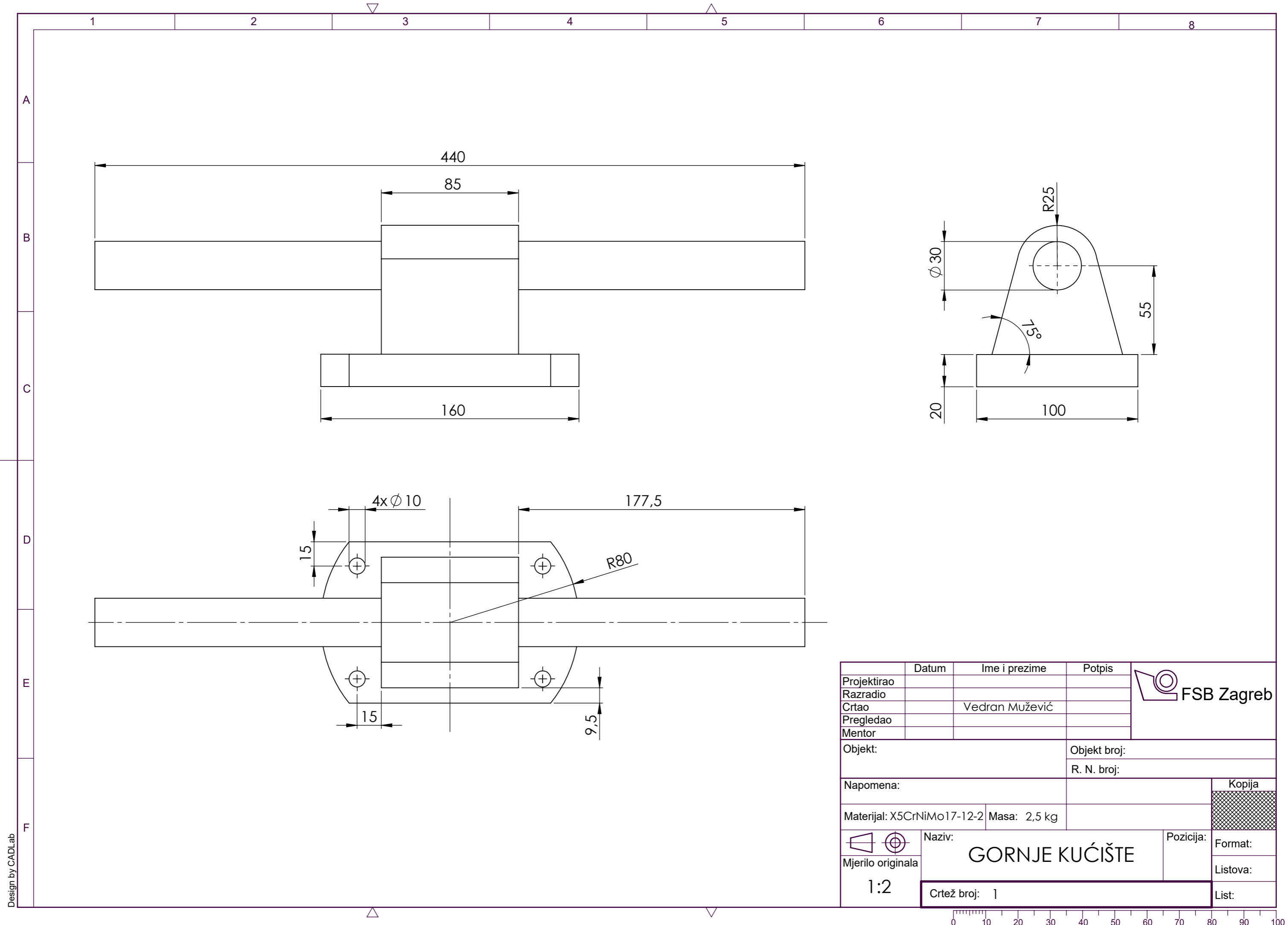
I. Tehnička dokumentacija



13	Vijak M10x80	2				
12	Pruga	1				
11	Vijak M10x50	5				
10	Držač alata	1	10			
9	Cilindrični zatik	1	9			
8	Dlijeta	1	8			
7	Udarni bat	1	7			
6	Cilindar	1	6			
5	Glavni ventil	1	5			
4	Donje kućište	1	4			
3	Prirubnica	1	3			
2	Srednje kućište	1	2			
1	Gornje kućište	1	1			

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije proizvođač	Masa
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
Projektirao						
Razradio						
Crtao			Vedran Mužević			
Pregledao						
Mentor						
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
				R. N. broj:		
		Napomena:				
		Materijal:		Masa: 22,31 kg		
				Naziv:		Pozicija:
		Mjerilo originala		PNEUMATSKI ČEKIĆ		Format:
		1:3		Crtež broj: 0		Listova:
						List:

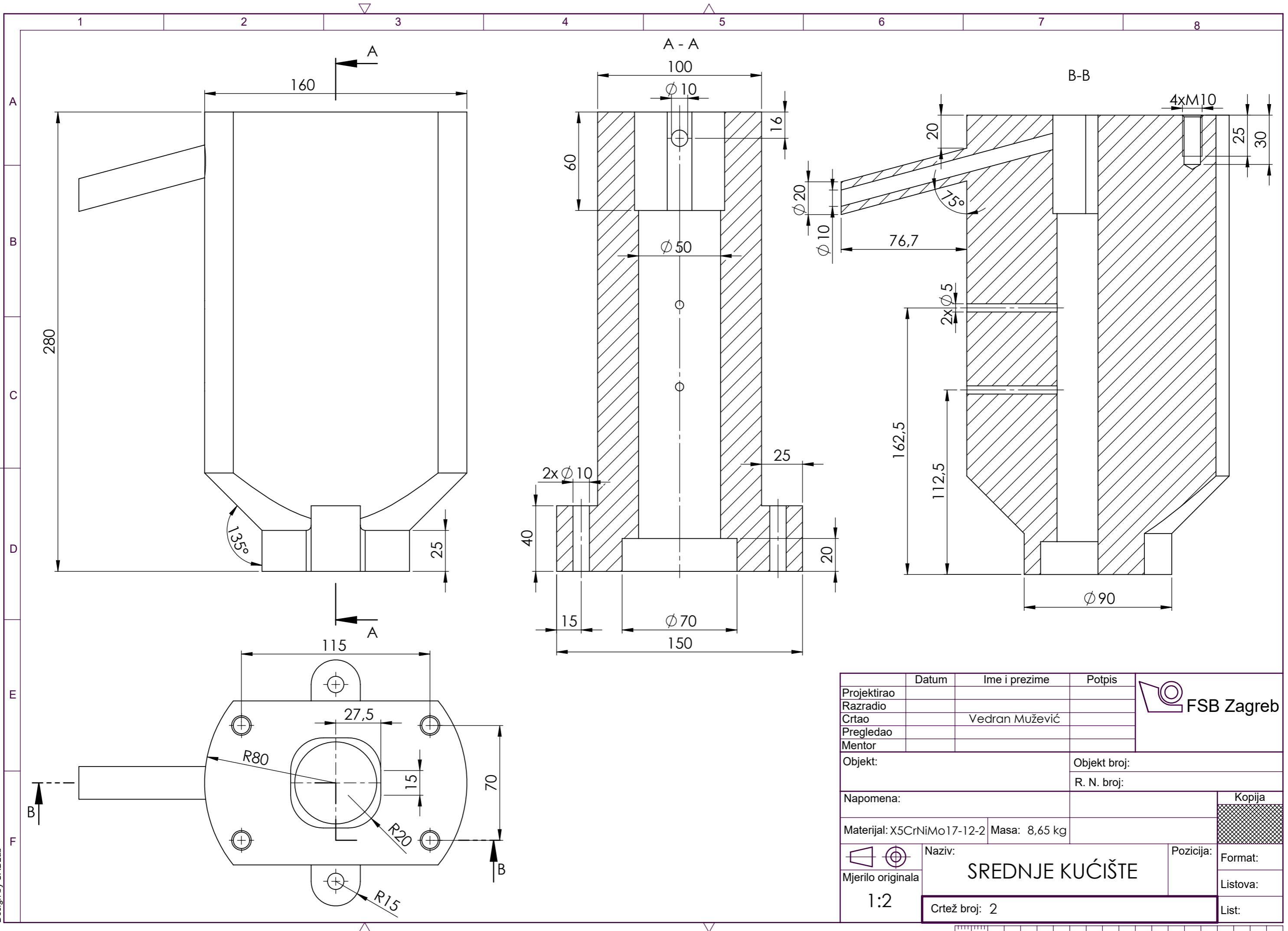




Design by CADLab

Projekтираo	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio				
Crtao		Vedran Mužević		
Pregledao				
Mentor				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal: X5CrNiMo17-12-2		Masa: 2,5 kg		
 Mjerilo originala	Naziv: GORNJE KUĆIŠTE		Pozicija: Format:	
1:2	Crtež broj: 1		Listova: List:	

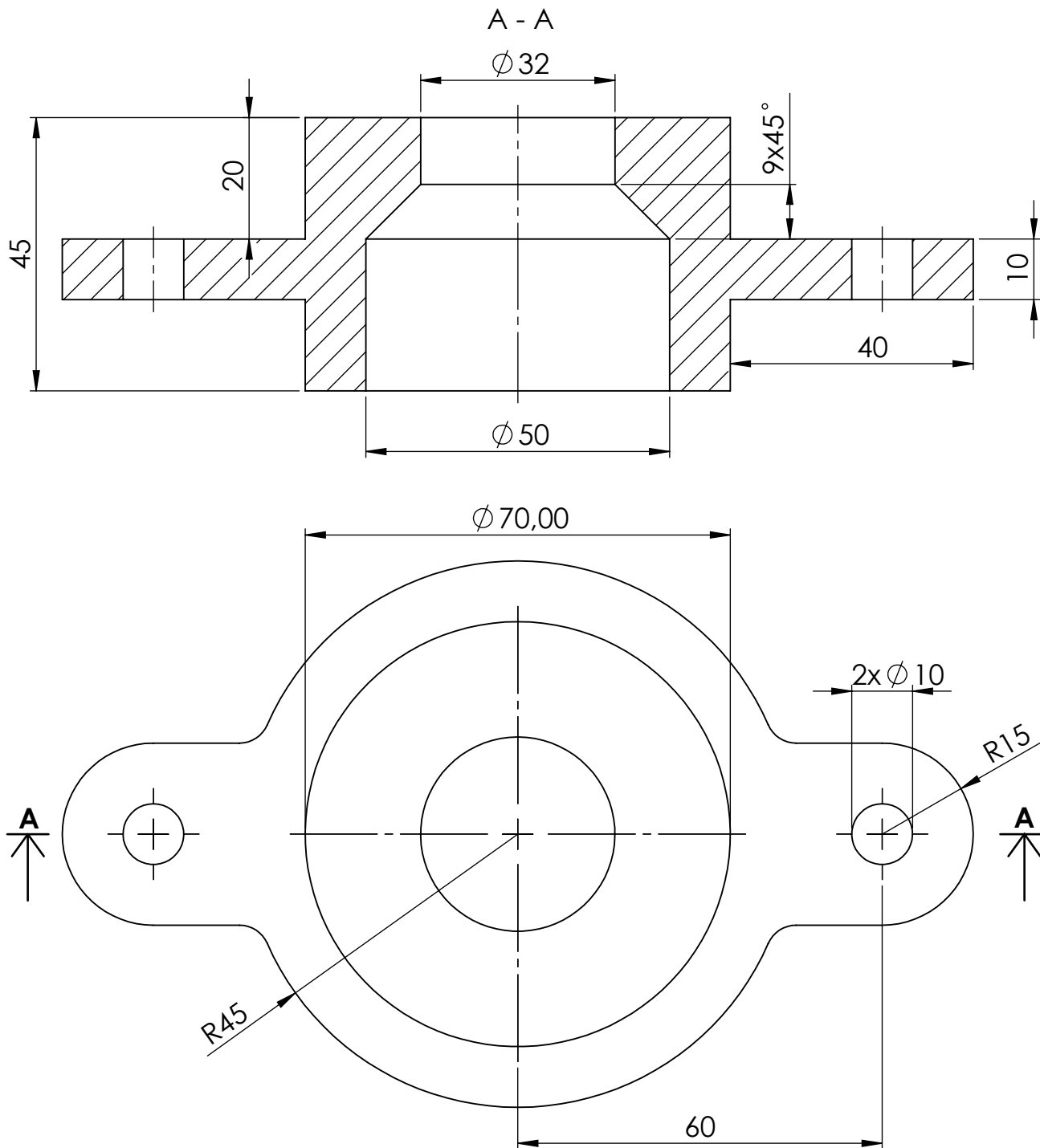




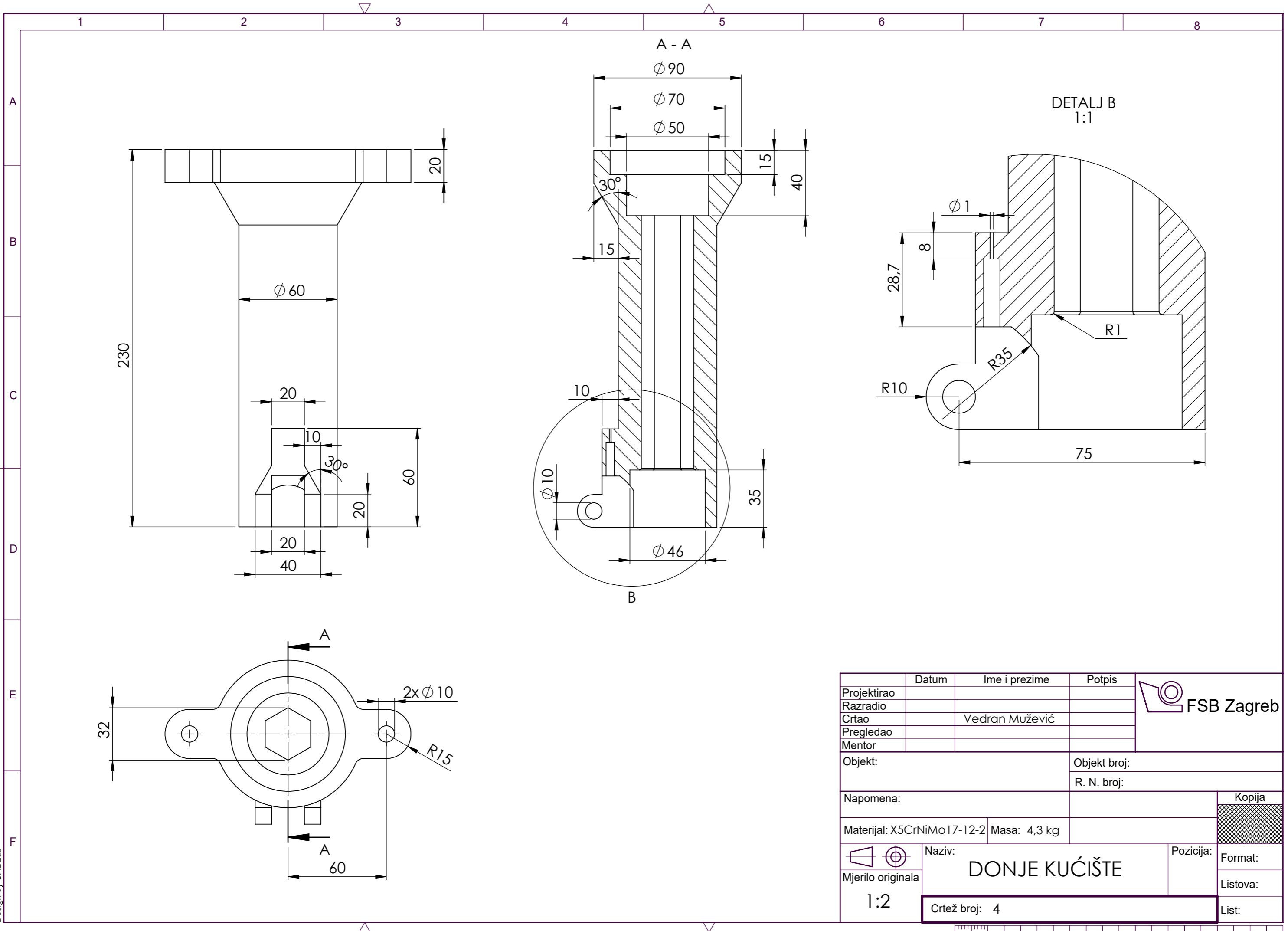
Projekтираo	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio				
Crtao		Vedran Mužević		
Pregledao				
Mentor				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal: X5CrNiMo17-12-2		Masa: 8,65 kg		
Naziv: SREDNJE KUĆIŠTE			Pozicija: Format:	
Mjerilo originala: 1:2			Listova:	
Crtež broj: 2			List:	



Design by CADLab



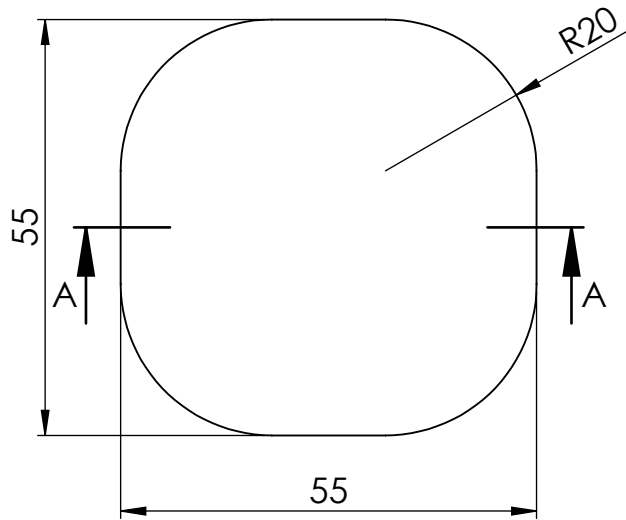
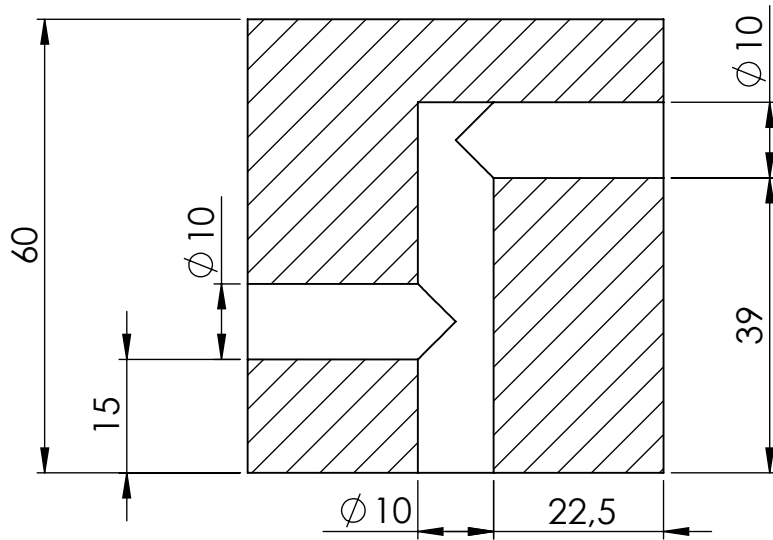
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao				
Razradio				
Crtao		Vedran Mužević		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
				
Materijal: X5CrNiMo17-12-2		Masa: 1,12 kg		
 Mjerilo originala	Naziv:			Pozicija:
	PRIRUBNICA			
1:1			Crtež broj: 3	Format:
				Listova:
				List:



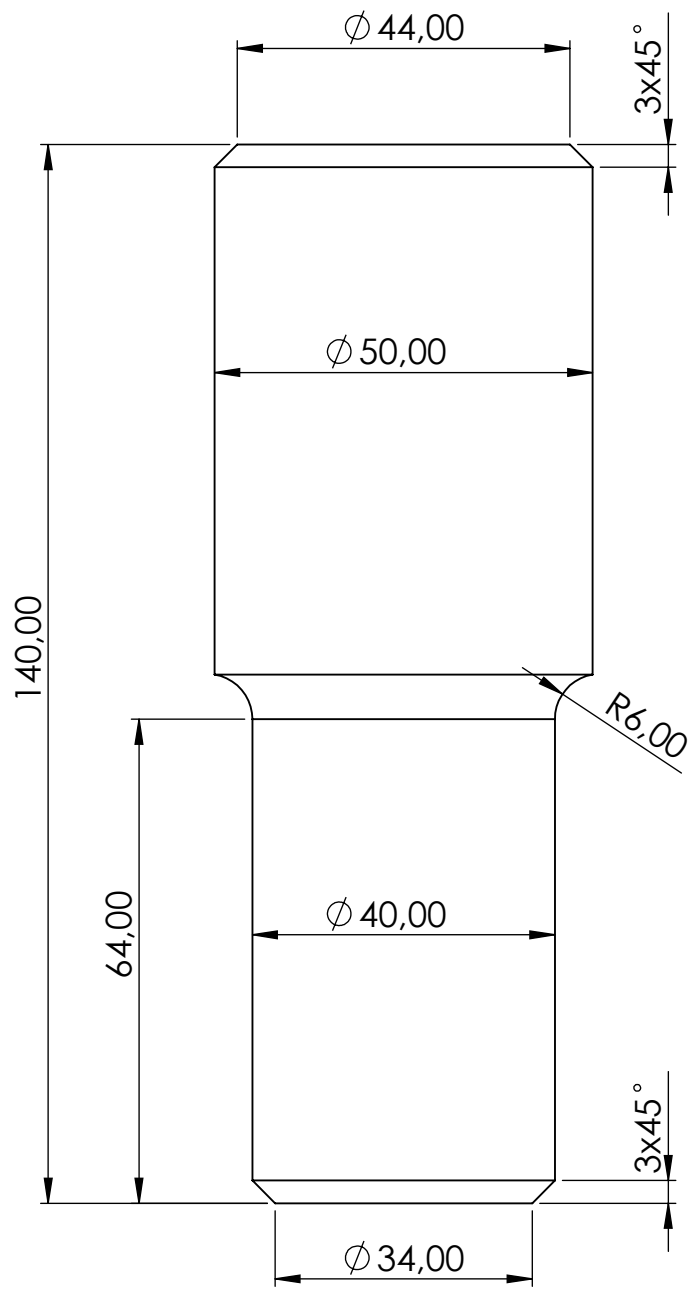
	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao				
Razradio				
Crtao		Vedran Mužević		
Pregledao				
Mentor				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal: X5CrNiMo17-12-2		Masa: 4,3 kg		
Naziv: DONJE KUĆIŠTE			Pozicija:	
Mjerilo originala: 1:2			Format:	Listova:
Crtež broj: 4			List:	

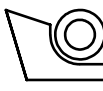
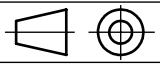


A - A

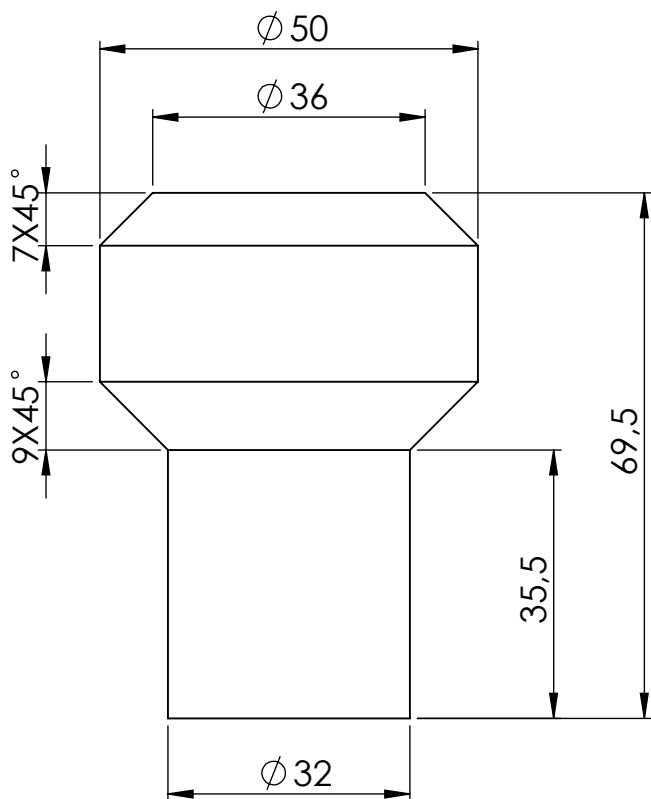


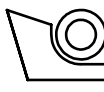
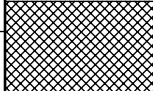
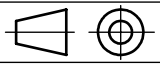
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao				
Razradio				
Crtao		Vedran Mužević		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
				
Materijal:	1350 Alloy	Masa:	0,41 kg	
	Naziv:			Pozicija:
Mjerilo originala	GLAVNI VENTIL			Format:
1:1	Crtež broj: 5			Listova:
				List:



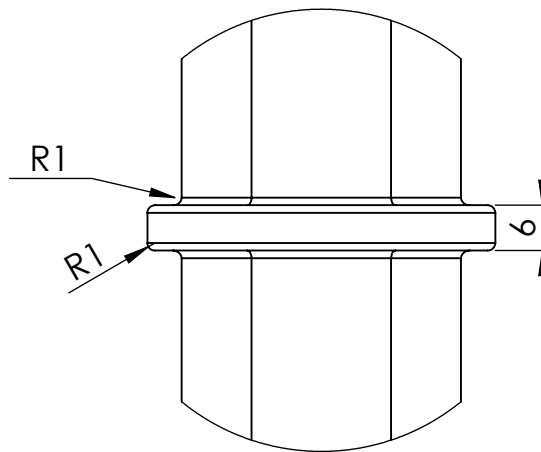
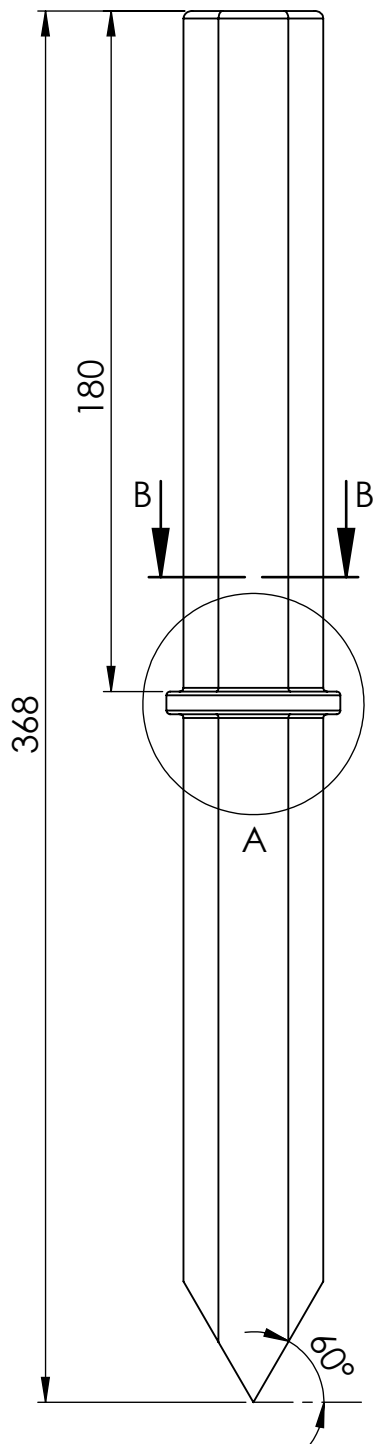
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao				
Razradio				
Crtao		Vedran Mužević		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: Č 0645			Masa: 1,80 kg	
 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	Format:
	CILINDAR			Listova:
1:1	Crtež broj: 6			List:

Design by CADLab

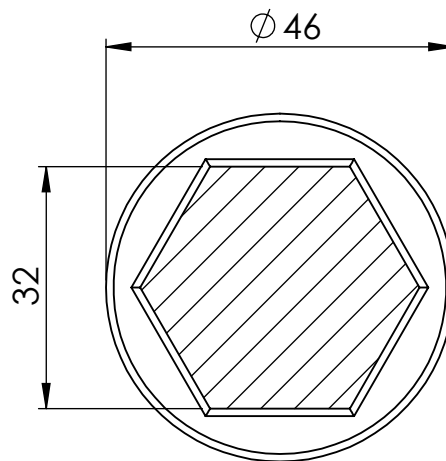


	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao				
Razradio				
Crtao		Vedran Mužević		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
Materijal: Č 0645			Masa: 0,68 kg	
 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	
1:1	UDARNI BAT		Format:	
	Crtež broj: 7		Listova:	
			List:	

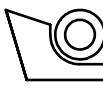
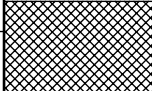
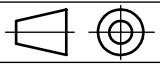
Design by CADLab

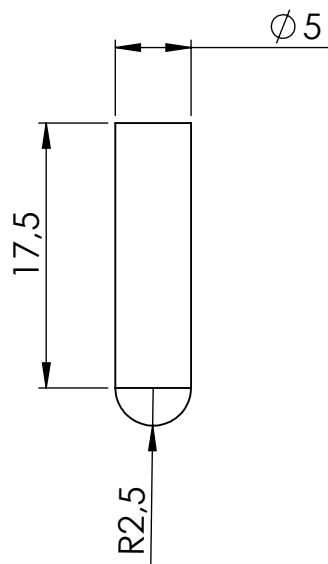


DETALJ A
1:1

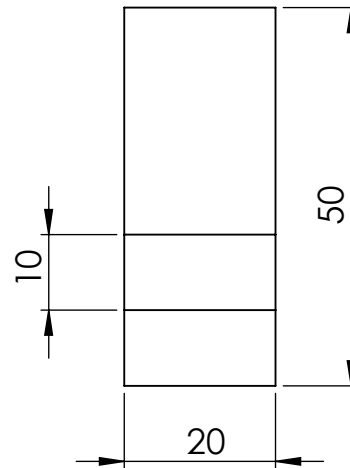
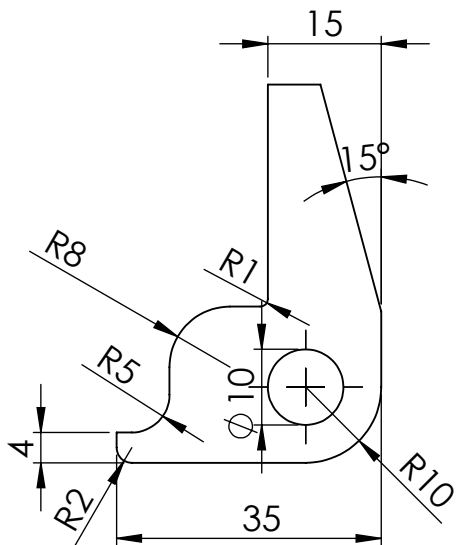


B - B
1:1

	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao				
Razradio				
Crtao		Vedran Mužević		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
				
Materijal:	Č 0645	Masa:	2,43 kg	
 Mjerilo originala 1:2	Naziv:		DLIJETO	Pozicija:
Crtež broj: 8				Format:
				Listova:
				List:



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao				
Razradio				
Crtao		Vedran Mužević		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
				
Materijal: X5CrNiMo17-12-2		Masa: 0,003 kg		
	Naziv:		Pozicija:	Format:
Mjerilo originala	CILINDRIČNI ZATIK			Listova:
2:1			Crtež broj: 9	



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao				
Razradio				
Crtao		Vedran Mužević		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
				
Materijal:	Č 0645	Masa: 0,13 kg		
 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	Format:
1:1	DRŽAČ ALATA			Listova:
Crtež broj: 10				List: