

Preša za grožđe

Gabelica, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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:235:342299>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-20**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Dominik Gabelica

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Dragan Žeželj

Student:

Dominik Gabelica

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu. Zahvaljujem se svome mentoru, doc. dr. sc. Draganu Žeželju, na savjetima i ukazanoj pomoći tijekom izrade ovog rada.

Dominik Gabelica



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

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

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Dominik Gabelica** Mat. br.: 0035183183

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Preša za grožđe**

Naslov rada na engleskom jeziku: **A wine press**

Opis zadatka:

Potrebno je izraditi elektromotorom pogonjenu prešu za grožđe najvećeg kapaciteta 200 litara.

Tijekom razmatranja rješenja u obzir je potrebno uzeti sljedeće:

- kućište mora biti pogodno za jednostavnu demontažu i pranje,
- dijelovi sustava koji dolaze u kontakt s grožđem moraju biti načinjeni od kemijski otpornih materijala,
- potrebno je spriječiti bilo kakav kontakt mazivih sredstava i možebitnih produkata trošenja sustava s groždem i
- potrebno je voditi računa o sigurnosti korisnika, kako s aspekta mehaničkih ozljeda, tako i od udara električne struje.

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

Konstrukcijsko rješenje modelirati u odabranom 3D programu i prikazati sklopnim crtežom. Opseg radioničke dokumentacije dogovoriti s mentorom.

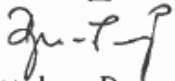
U radu navesti korištenu literaturu, norme kao i eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:
25. studenog 2014.

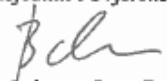
Rok predaje rada:
1. rok: 26. veljače 2015.
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Zadatak zadao:


Doc. dr. sc. Dragan Žeželj

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

| | |
|--|------|
| SADRŽAJ | III |
| POPIS OZNAKA | V |
| POPIS SLIKA | VII |
| POPIS TABLICA..... | VIII |
| 1. UVOD | 1 |
| 1.1. Općenito o prešama | 1 |
| 1.2. Vrste preša..... | 2 |
| 1.3. Problemi kod prešanja..... | 3 |
| 2. ANALIZA POSTOJEĆIH PROIZVODA..... | 4 |
| 2.1. Woodland Fruit & Wine Press Company..... | 4 |
| 2.2. The Vintner's Vault | 5 |
| 2.3. Willmes | 5 |
| 2.4. Enotecnica Pillan..... | 6 |
| 3. FUNKCIJSKA DEKOMPOZICIJA..... | 7 |
| 4. MORFOLOŠKA MATRICA RJEŠENJA | 8 |
| 4.1. Vrednovanje | 9 |
| 5. PRORAČUN | 10 |
| 5.1. Odabir dimenzija spremnika za grožđe | 10 |
| 5.2. Proračun vretena..... | 10 |
| 5.2.1. Predopterećenje kuglastog vretena..... | 11 |
| 5.2.2. Korisnost kuglastog vretena | 12 |
| 5.2.3. Snaga na kuglastom vretenu..... | 13 |
| 5.2.4. Torzijski moment na kuglastom vretenu | 13 |
| 5.3. Odabir elektromotora | 13 |
| 5.4. Proračun para zupčanika | 14 |
| 5.4.1. Kontrola zašiljenosti zuba | 15 |
| 5.4.2. Dimenzije zupčanika u odnosu na korekcijske faktore | 16 |
| 5.4.3. Kontrola tjemene zračnosti..... | 16 |
| 5.4.4. Ostvarivanje potrebne bočne zračnosti..... | 17 |
| 5.4.5. Izbor kružne zračnosti | 17 |
| 5.4.6. Kontrola naprezanja na savijanje u korijenu zuba..... | 19 |
| 5.4.7. Kontrola čvrstoće boka zubi..... | 19 |

| | |
|---|----|
| 5.4.8. Kontrola temperature zagrijavanja | 20 |
| 5.5. Proračun spremnika za grožđe..... | 20 |
| 5.6. Kontrola pritisne ploče | 21 |
| 5.7. Kontrola gornjeg postolja..... | 25 |
| 5.8. Kontrola vijaka za prijenos momenta sa zupčanika na maticu..... | 26 |
| 5.9. Kontrola vijaka za pritezanje kućišta | 27 |
| 5.10. Dimenzioniranje izlaznog vratila elektromotora | 28 |
| 5.10.1. Reakcijske sile u ležajevima..... | 28 |
| 5.10.2. Odabrani ležaji za vratilo..... | 31 |
| 5.10.3. Kontrolni proračun dinamičke sigurnosti vratila..... | 35 |
| 5.10.4. Kontrola sigurnosti presjeka..... | 36 |
| 5.10.5. Odabir ležajeva na kuglastom vretenu prema aksijalnoj sili pritiskanja i radijalnoj sili zupčanika..... | 37 |
| 5.11. Proračun noseće cijevi na savijanje | 41 |
| 5.12. Proračun zavora nosača | 42 |
| 6. ZAKLJUČAK | 44 |
| LITERATURA..... | 45 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Mjerna jedinica | Opis |
|-----------|-----------------|-----------------------------------|
| V | m^3 | Volumen spremnika |
| D_s | m | Promjer spremnika |
| H | m | Visina spremnika |
| p_{max} | N/mm^2 | Maksimalni tlak pritiskanja |
| F_{vr} | N | Sila vretena |
| A_p | mm^2 | Površina pritiskne ploče |
| d_3 | mm | Minimalni promjer vretena |
| S | - | Sigurnost kod izvijanja |
| l_0 | m | Slobodna duljina izvijanja |
| E | N/mm^2 | Modul elastičnosti |
| C_{din} | N | Dinamičko opterećenje |
| F_{pr} | N | Sila prednaprezanja vretena |
| F_{bm} | N | Prosječna sila obrade na vretenu |
| P | mm | Korak navoja vretena |
| d_{sr} | mm | Srednji promjer vretena |
| μ | - | Faktor trenja |
| v_{vr} | m/s | Brzina spuštanja vretena |
| n_{vr} | min^{-1} | Brzina okretanja vretena |
| T_{vr} | Nm | Torzijski moment na vretenu |
| ω | rad/s | Kutna brzina vretena |
| T | Nm | Torzijski moment |
| P | W | Snaga |
| m | mm | Modul zupčanika |
| d_i | mm | Promjer zupčanika |
| z_i | - | Broj zubi |
| x_i | - | Korekcijski faktor pomaka profila |

| | | |
|----------------------|-------------------|-------------------------------------|
| α | ° | Zahvatni kut zupčanika |
| s_a | mm | Duljina zuba na tjemenu promjeru |
| d_a | mm | Tjemeni promjer zupčanika |
| d_b | mm | Temeljni promjer zupčanika |
| d_f | mm | Podnožni promjer zupčanika |
| d_w | mm | Promjer pogonske kružnice zupčanika |
| c | mm | Potrebna tjemena zračnost |
| W_i | | Nazivna mjera preko nekoliko zubi |
| z_w | - | Mjerni broj zubi nazivne mjere |
| j | mm | Kružna zračnost |
| a | mm | Osni razmak zupčanika |
| σ_F | N/mm ² | Savojno naprezanje u korijenu zuba |
| F_{tw} | N | Obodna sila na zupčaniku |
| b | mm | Širina zupčanika |
| Y_F | - | Faktor oblika |
| $K_{F\alpha}$ | - | Faktor raspodjele opterećenja |
| ε_α | - | Stupanj prekrivanja profila |
| Z_H | - | Faktor oblika boka zubi |
| Z_M | - | Faktor utjecaja materijala |
| Z_ε | - | Faktor utjecaja stupnja prekrivanja |
| Φ | kJ/h | Proizvedena toplina |
| r | mm | Polumjer ploče |
| h_p | mm | Debljina pritisne ploče |
| D | Nm | Fleksijska krutost ploče |
| T_{TP} | Nm | Moment trenja između matice i vijka |
| F_v | N | Osna sila u vijku |
| T_N | Nm | Moment navoja u vijku |
| I | mm ⁴ | Moment tromosti |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1 Bazen za prešanje grožđa iz 1. u Jeruzalemu..... | 1 |
| Slika 2 Vrećasti mehanizam za prešanje iz starog Egipta..... | 1 |
| Slika 3 lijevo: vijčana preša (16.st.); desno: nacrt horizontalne preše (17.st)..... | 2 |
| Slika 4 lijevo: mjehurasta preša; desno: vijčana preša..... | 4 |
| Slika 5 lijevo: mjehurasta preša pokretana vodom; desno: automatska mjehurasta preša..... | 5 |
| Slika 6 Willmes preše velikog kapaciteta | 6 |
| Slika 7 Hidraulična vijčana preša TICO60 | 6 |
| Slika 8 Funkcijska dekompozicija..... | 7 |
| Slika 9 Specifikacije odabranog kuglastog vretena..... | 11 |
| Slika 10 Specifikacije elektromotora S 454A 3A 71-04E..... | 14 |
| Slika 11 Specifikacije reduktora S 454A 3A 71-04E..... | 14 |
| Slika 12 Opterećenje spremnika za grožđe | 20 |
| Slika 13 Model opterećenja pritisne ploče | 21 |
| Slika 14 Dimenzije ležaja 7209 BECBM..... | 23 |
| Slika 15 Vijek trajanja ležaja 7209 BECBM | 24 |
| Slika 16 Model opterećenja gornjeg postolja..... | 25 |
| Slika 17 Opterećenje izlaznog vratila elektromotora | 28 |
| Slika 18 Pretpostavljene dimenzije vratila | 29 |
| Slika 19 Dimenzije ležaja 7304 BEGAP..... | 31 |
| Slika 20 Vijek trajanja ležaja 7304 BEGAP | 32 |
| Slika 21 Dimenzije ležaja 6304..... | 33 |
| Slika 22 Vijek trajanja ležaja 6304 | 34 |
| Slika 23 Dimenzije ležaja 7212 BEP | 37 |
| Slika 24 Vijek trajanja ležaja 7212 BEP | 38 |
| Slika 25 Dimenzije ležaja 7312 BEP | 39 |
| Slika 26 Vijek trajanja ležaja 7312 BEP | 40 |
| Slika 27 Opterećenje kvadratnog čeličnog nosača na savijanje..... | 41 |
| Slika 28 Opterećenje zavora donjeg nosača | 42 |
| Slika 29 Preša za grožđe pogonjena elektromotorom (3D model)..... | 43 |

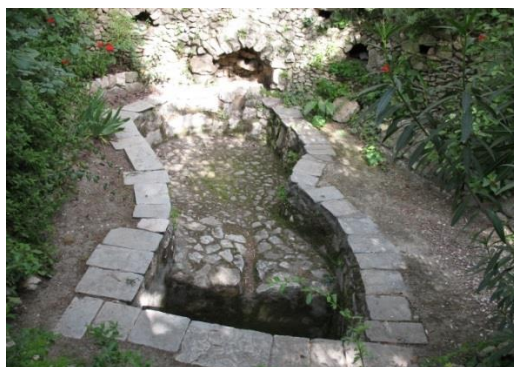
POPIS TABLICA

| | |
|------------------------------------|---|
| Tablica 1 Morfološka matrica | 8 |
|------------------------------------|---|

1. UVOD

1.1. Općenito o prešama

Pri proizvodnji vina često se preradi grožđa ne odaje priznanje koliko samome uzgoju vinove loze. Međutim, da bi vino bilo kvalitetno upravo se tom dijelu proizvodnje mora posvetiti pažnja. Mane vina ovise o kvaliteti grožđa, ali i o nepravilnostima proizvodnje kao što su neadekvatno mjesto prerade, nepravilno vrenje, nečistoća strojeva za preradu (muljače, preše, spremnici, bačve...) itd. Ovi se nedostaci obično pronalaze kod kućne pripreme vina. U ovome radu će se pokušati naći rješenje preše pogonjene elektromotorom za manje količine proizvodnje vina, odnosno za proizvodnju u vlastitom domaćinstvu. Pokušat će se naći konstrukcijsko rješenje koje bi omogućilo korisniku lagano održavanje i čišćenje te istovremeno kvalitetno prešanje grožđa.

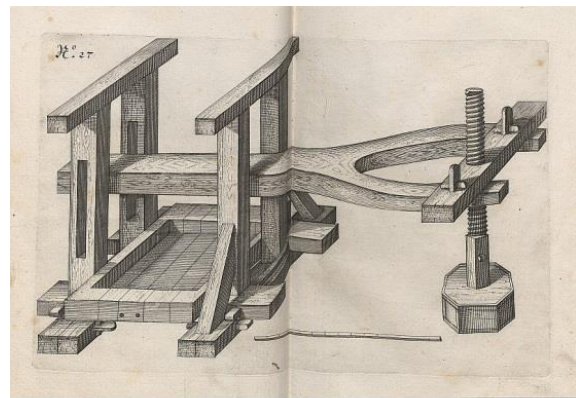


Slika 1 Bazen za prešanje grožđa iz 1. u Jeruzalemu



Slika 2 Vrećasti mehanizam za prešanje iz starog Egipta

Povijest uređaja za prešanje stara je gotovo koliko i povijest samog vina. U početku se prešanje grožđa vršilo ručno, odnosno nogama, a ta se tradicija u nekim vinskim regijama očuvala i do danas kao kulturni običaj. Problem ove metode je što čovjek nije mogao sam ostvariti optimalan pritisak što je vjerojatno rezultiralo vinima slabije boje i okusa. Prvi korak prema mehanizaciji čine stari Egipćani oko 1500. god. pr. Kr. koji koriste tzv. „vrecaste preše“ u obliku propusnih tkanina u kojima se nalazilo grožđe. Te vreće bi se zatim podvezivale i cijedile ručno ili uz pomoć određenih alata. Prva mehanizacija slična današnjoj osmišljena je u grčko-rimskom periodu oko 2. st. pr. Kr. Oni su koristili glomazne naprave sa teškim drvenim gredama koje su stvarale pritisak pomoću koloturnika i užadi. Sličan princip rada prenio se kasnije u srednji vijek kada nastaju preše koje su koristile vijčana vretena i koja su najbližnja današnjim modernim spravama za prešanje grožđa.



Slika 3 lijevo: vijčana preša (16.st.); desno: nacrt horizontalne preše (17.st)

1.2. Vrste preša

Osnovna podjela preša je na kontinuirane (bez prekida u radu) i diskontinuirane (sa prekidom u radu) koje se prazne nakon jednog ciklusa te zatim ponovo pune.

Mehaničke preše – najčešće se sastoje od uspravnog koša i vijka koji prolazi kroz njegovu središnju os i vezan je za donje postolje preše. Preko vijka ručnim, hidrauličnim ili nekom drugom vrstom pogona djeluje mehanizam za prešanje. Kapacitet im se kreće od 100 do 800 litara. Koriste se na privatnim posjedima i u malim proizvodnjama. S vremenom su osmišljeni i horizontalni koševi i automatizirani (programirani) načini rada pa je optimizacija

ove vrste preša visoka. Nekada se koristila i mehanička preša na principu poluge ali se one zbog svoje mase i glomaznosti više ne koriste.

Vodoravne preše – kapaciteta su i do 5000 litara i koriste se u velikim proizvodnjama. Sastoje se od okruglih spremnika u koje se ubacuje grožđe a prešanje se vrši pomoću potisnih kružnih ploča ili savitljive membrane koja se skuplja i širi ubacivanjem i izbacivanjem zraka. Spremnici najčešće imaju mogućnost rotacije za izbacivanje prešanog grožđa. Mošt se slijeva na dnu u posebne spremnike. Ovi uređaji imaju kontrolnu ploču kojom se odabire program prešanja ovisno o količini grožđa i potrebnom pritisku.

Hidraulične preše – mogu biti sa uspravnim i sa vodoravnim košem. Hidraulični pogon postao je poželjan sredinom 19. st. gradnjom većih vinskih podruma i potrebom za većim kapacitetom preša. Ovaj tip preša je često u upotrebi, a jedan od nedostataka je mogućnost kontaminacije mošta izazvana uljima za podmazivanje klipa i složenost zamjene dijelova.

1.3. Problemi kod prešanja

Prije početka prešanja treba odvojiti peteljke od bobica jer one sadrže spojeve koji kvare okus i boju vina. Tijekom prešanja, pritisak se ne smije vršiti konstantno jer se u suprotnom naglo smanjuju kanali za istjecanje mošta. Stoga pri konstruiranju preše treba voditi računa o povremenim stankama između prešanja. S druge strane, poželjno je ciklus prešanja završiti što prije kako bi se spriječila nepoželjna oksidacija mošta. Pretjerano povećanje pritiska preše, radi veće iskoristivosti grožđa, ima kao posljedicu smanjenje kvalitete mošta pa tako i vina. Materijali preše(npr. željezo, cink, bakar) koji su u doticaju s moštom mogu sadržavati spojeve koji usporavaju ili sprječavaju proces fermentacije. Zato je poželjno pokušati izolirati ili izbjeći korištenje tih materijala. Nadalje, punjenje i pražnjenje spremnika za prihvatanje grožđa mora biti jednostavno. Treba maksimalno smanjiti nagle prijelaze i uglove u spremniku radi mogućnosti temeljitog čišćenja. Kod preša koje su pogonjene elektromotorom i sastoje se od potencijalno opasnih elemenata strojeva javlja se i problem sigurnosti korisnika pa i u tom pogledu treba usmjeriti pažnju.

2. ANALIZA POSTOJEĆIH PROIZVODA

2.1. Woodland Fruit & Wine Press Company

Proizvođač ima u ponudi dvije vrste preša – mjehurastu i vijčanu. Mjehurasta je kapaciteta 20 litara i sastoji se od nehrđajućeg čeličnog okvira kroz čije rupice pri prešanju ističe sok. Pritisak se stvara na način da je gumeni mjehur u sredini čeličnog okvira spojen na crijevo kroz koje se pušta voda te širi mjehur iz sredine prema van. Radi sigurnosti postoji i sigurnosni ventil te barometar, a tlak se podešava ručno odvijanjem ventila. Gornji poklopac i okvir su rastavljivi dijelovi i skidaju se pri pražnjenju i čišćenju preše. Svi ostali dijelovi mehanizma izrađeni su također od nehrđajućeg čelika i presvučeni plastificiranim slojem boje.

Vijčana preša rađena je iz istoga materijala i ima kapacitet 14 litara. Pritisak se vrši preko navojnog vretena ručnim okretanjem ručice na vrhu. Praktičnost ove preše je u tome što se cijeli vanjski okvir zajedno sa pritiskom pločom i vijčanim vretenom može nagnuti na stranu pa se olakšava punjenje / pražnjenje spremnika i njegovo čišćenje.



Slika 4 lijevo: mjehurasta preša; desno: vijčana preša

2.2. The Vintner's Vault

Proizvodi preše svih vrsta i različitih kapaciteta. Valja spomenuti da je, za razliku od prethodne tvrtke, njihovu mješurastu prešu moguće osim vodom pogoniti i zrakom što sprječava doticaj vode i mošta i dodatno olakšava čišćenje. Također ima veći kapacitet (160 litara) i pokretna je zahvaljujući kotačićima. U ponudi imaju i mješuraste preše kapaciteta i do 3000 kg čiji zatvoreni spremnici od nehrđajućeg čelika sprječavaju oksidaciju. Također imaju i mogućnost memoriranja 7 programa prešanja čije vrijeme i tlak korisnik unosi sam.



Slika 5 lijevo: mješurasta preša pokretana vodom; desno: automatska mješurasta preša

2.3. Willmes

Ova tvrtka proizvodi preše velikih kapaciteta koje rade na principu mješurastih preša, ali s jednom malom razlikom. Pritisak na grožđe se stvara elastičnom membranom koja je u početku procesa priljubljena uz stijenke spremnika, a zatim se dovođenjem zraka izvana skuplja prema unutra. Iscijedeni mošt izlazi na dnu spremnika u posebnu kadu, a ostatak grožđa se vadi rotiranjem spremnika naopako. Kao i sve druge tvrtke, i Wilmes koristi nehrđajući čelik radi sigurnosti od utjecaja na kvalitetu mošta. Kapacitet preša se kreće od 1200 do 5000 litara. Pustupak se može potpuno automatizirati zadavanjem programa rada na kontrolnoj ploči.



Slika 6 Willmes preše velikog kapaciteta

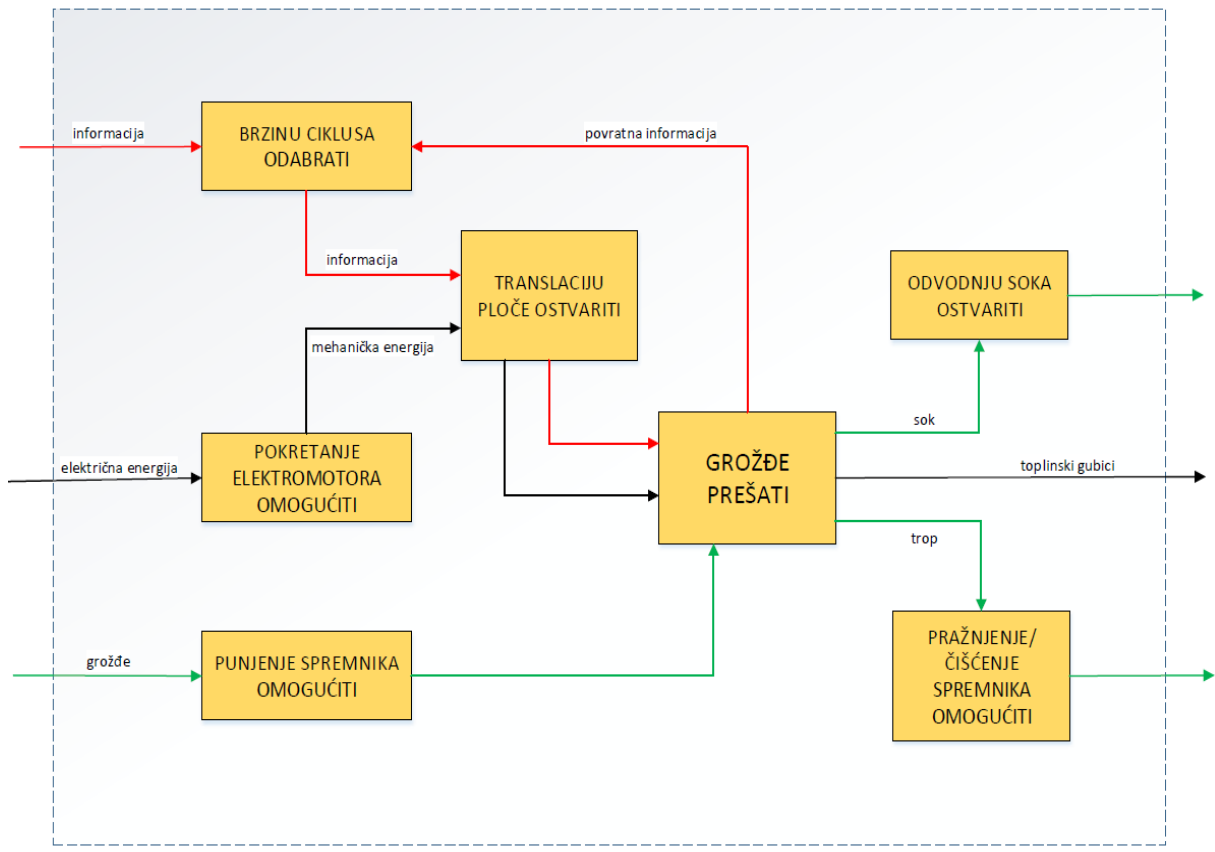
2.4. Enotecnica Pillan

Ova talijanska tvrtka proizvodi sve vrste preša, od tradicionalnih vijčanih sa drvenim koševima do pneumatskih i hidrauličnih sa većim spremnicima. Možemo izdvojiti model TICO60 kapaciteta 220 litara i mase 180 kg. Vanjski okvir spojen sa hidrauličnim cilindrom i potisnom pločom moguće je zakrenuti kako bi se oslobodio prostor za ubacivanje grožđa ili vađenje spremnika. Spremnik dolazi u drvenom obliku presvučen posebnim lakom ili u obliku nehrđajućeg čelika. Cijeli mehanizam je mobilan zahvaljujući kotačima.




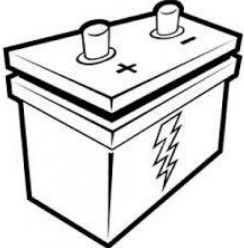
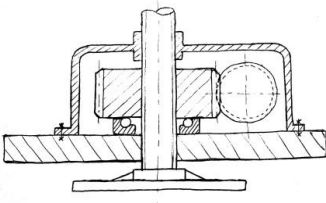
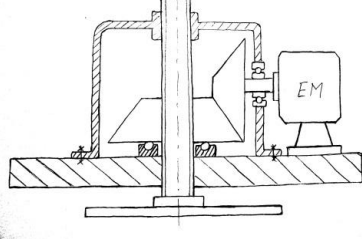
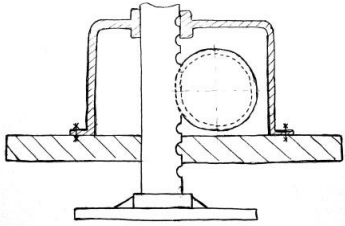
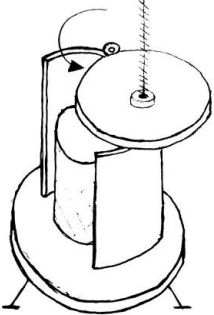
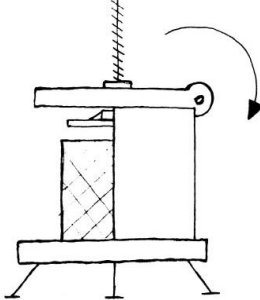
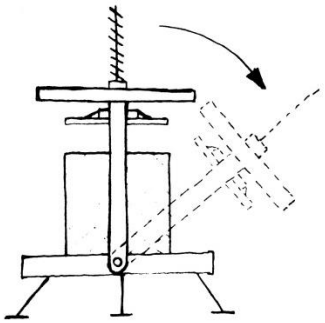
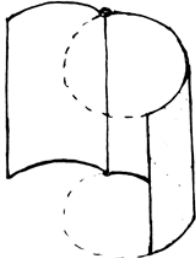
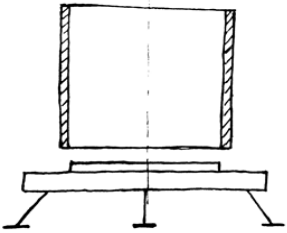
Slika 7 Hidraulična vijčana preša TICO60

3. FUNKCIJSKA DEKOMPOZICIJA



Slika 8 Funkcijska dekompozicija

4. MORFOLOŠKA MATRICA RJEŠENJA

| | | | |
|---|--|--|--|
| <p><i>POKRETANJE ELEKTROMOT ORA OMOGUĆITI</i></p> |  <p><u>1.Spajanje na el. mrežu</u></p> |  <p>2.Akumulator</p> | |
| <p><i>TRANSLACIJU PLOČE OMOGUĆITI</i></p> |  <p>1.Pužni vijak</p> |  <p><u>2.Zupčanički prijenos</u></p> |  <p>3.Zupčasta letva</p> |
| <p><i>PUNJENJE SPREMNIKA OMOGUĆITI</i></p> |  <p>1.Rotiranje poklopca u horizontalnoj ravnini</p> |  <p>2.Preklapanje poklopca</p> |  <p><u>3.Rotiranje mehanizma oko donjeg zgloba</u></p> |
| <p><i>PRAŽNENJE/ ČIŠĆENJE SPREMNIKA OMOGUĆITI</i></p> |  <p><u>1.Rastvaranje spremnika</u></p> |  <p>2.Mobilni spremnik</p> | |

Tablica 1 Morfološka matrica

4.1. Vrednovanje

U savjetovanju sa mentorom, odabrana su najpovoljnija rješenja i označena su crvenom bojom u morfološkoj matrici.

Budući da pužni prijenosnici imaju mali stupanj iskoristivosti, a snaga se još dodatno gubi na vretenu, od te ideje se odustalo.

Također, pretpostavlja se da bi zupčasta letva mogla biti preopterećena budući da je tanja od vretena i prenosi svu snagu praktički preko jednog zuba. Stoga je odabrana kombinacija zupčaničkog para sa ravnim zubima te kuglastog vretena koje ima visoki stupanj iskoristivosti.

Za način punjenja spremnika odabran je mehanizam pod brojem 3 koji se rotira oko donje osi za određeni kut. Taj kut ne smije biti prevelik radi opasnosti od prevrtanja preše. Ovim načinom punjenja se maksimalno smanjuje količina materijala, a time i masa preše.

Nadalje, odabran je spremnik sa mogućnosti rastavljanja iz razloga što ga ne bi bilo moguće podići u zrak jer bi prethodno odabrani rotacijski mehanizam to onemogućio. Isto tako rastavljivi spremnik biti će lakši za čišćenje.

5. PRORAČUN

5.1. Odabir dimenzija spremnika za grožđe

Za zadani volumen i odabrani promjer spremnika, dobiva se visina H:

$$V = 200 \text{ dm}^3$$

$$D_s = 500 \text{ mm}$$

$$H = \frac{4V}{D^2 \pi} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^8}{500^2 \pi} = 1018 \text{ mm}$$

ODABRANO: $H = 1000 \text{ mm}$

5.2. Proračun vretena

Maksimalni tlak pritiskanja je 0,8 bara. Prema tome se određuje sila na vreteno:

$$F_{vr} = p_{\max} \cdot A_p = 0,8 \cdot 10^5 \cdot \frac{0,5^2 \pi}{4} = 15708 \text{ N}$$

Promjer vretena prema elastičnom području izvijanja po Euleru:

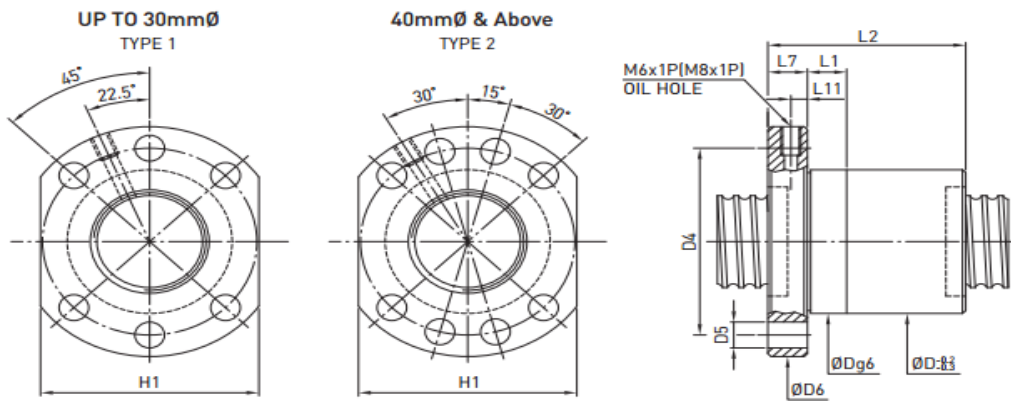
$$d_3 = \sqrt[4]{\frac{64 F_{vr} \cdot S \cdot l_0^2}{E \cdot \pi^3}} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 15708 \cdot 9 \cdot 1,4^2}{210000 \cdot 10^6 \cdot \pi^3}} = 0,0406 \text{ m}$$

$$l_0 = 2l = 2 \cdot 700 = 1400 \text{ mm}$$

$$S = 9$$

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Odabrano prema HIWIN: R50-10K6-FSCDIN kuglasto vreteno



| Model | Size | | Ball Dia. | Circuits | Dynamic Load 1x10 ⁶ revs C (kgf) | Static Load Co (kgf) | D | D4 | Flange Hole No. | D5 | D6 | H1 | L1 | L2 | L7 | L11 | M-Oil Hole |
|--------------|--------------|------|-----------|----------|---|---------------------------|-----|-----|-----------------|------|-----|-----|----|-----|----|-----|------------|
| | Nominal Dia. | Lead | | | | | | | | | | | | | | | |
| R16-5T3-FSI | 16 | | | 3 | 900 | 1700 | 28 | 38 | 6 | 5.5 | 48 | 40 | 10 | 40 | 10 | 5 | M6x1P |
| R20-5T4-FSI | 20 | 5 | 3.175 | 4 | 1300 | 3100 | 36 | 47 | 6 | 6.6 | 58 | 44 | 10 | 52 | 10 | 5 | M6x1P |
| R25-5T4-FSI | 25 | | | 4 | 1500 | 4000 | 40 | 51 | 6 | 6.6 | 62 | 48 | 12 | 52 | 10 | 5 | M6x1P |
| R25-10T3-FSI | | 10 | 4.763 | 3 | 1900 | 4200 | 40 | 51 | 6 | 6.6 | 62 | 48 | 16 | 65 | 10 | 5 | M6x1P |
| R32-5T6-FSI | 32 | 5 | 3.175 | 6 | 2400 | 7900 | 50 | 65 | 6 | 9 | 80 | 62 | 10 | 66 | 12 | 6 | M6x1P |
| R32-10T4-FSI | | 10 | 6.350 | 4 | 3900 | 9100 | 50 | 65 | 6 | 9 | 80 | 62 | 16 | 85 | 12 | 6 | M6x1P |
| R40-5T6-FSI | 40 | 5 | 3.175 | 6 | 2700 | 10200 | 63 | 78 | 8 | 9 | 93 | 70 | 10 | 66 | 14 | 7 | M8x1P |
| R40-10T4-FSI | | 10 | 6.350 | 4 | 4500 | 12100 | 63 | 78 | 8 | 9 | 93 | 70 | 16 | 87 | 14 | 7 | M8x1P |
| R40-20T2-FSI | | 20 | 6.350 | 2 | 1870 | 4244 | 63 | 78 | 8 | 9 | 93 | 70 | 20 | 88 | 14 | 7 | M8 X1P |
| R50-5T6-FSI | | 5 | 3.175 | 6 | 2900 | 13000 | 75 | 93 | 8 | 11 | 110 | 85 | 10 | 70 | 16 | 8 | M8x1P |
| R50-10T6-FSI | 50 | 10 | 6.350 | 6 | 7300 | 23700 | 75 | 93 | 8 | 11 | 110 | 85 | 16 | 112 | 16 | 8 | M8x1P |
| R63-10T6-FSI | 63 | 10 | 6.350 | 6 | 6192 | 21409 | 90 | 108 | 8 | 11 | 125 | 95 | 16 | 114 | 18 | 9 | M8 X 1P |
| R63-20T5-FSI | | 20 | 9.525 | 5 | 11536 | 35194 | 90 | 108 | 8 | 11 | 125 | 95 | 16 | 160 | 20 | 10 | M8 X 1P |
| R80-10T6-FSI | 80 | 10 | 6.350 | 6 | 7093 | 28508 | 105 | 125 | 8 | 13.5 | 145 | 110 | 20 | 114 | 20 | 10 | M8 X 1P |
| R80-20T5-FSI | | 20 | 9.525 | 5 | 13449 | 47447 | 125 | 145 | 8 | 13.5 | 165 | 130 | 25 | 175 | 25 | 12 | M8 X 1P |

* The calculation for dynamic load and static load is based on DIN69051.

Slika 9 Specifikacije odabranog kuglastog vretena

$$C_{din} = 74500 \text{ N}; C_0 = 250000 \text{ N}; d_3 = 44,9 \text{ mm}$$

nazivni promjer = 50mm

korak navoja = 10mm; jednovojni

5.2.1. Predopterećenje kuglastog vretena

$$F_{pr} = \frac{f_{pr}}{100\%} \cdot C_{din} = \frac{5\%}{100\%} \cdot 74500 = 3725 \text{ N}$$

$f_{pr} = 5\%$ -faktor prednaprežanja za jednodijelnu maticu

Prosječna sila obrade: $F_{bm} = \sqrt[3]{F_{vr}^3 \cdot \frac{t}{100} \cdot f_p^3} = \sqrt[3]{15708^3 \cdot 1 \cdot 1,2^3} = 18849 \text{ N}$

$f_p = 1,2$ - faktor stanja za rad bez udara

Dinamička nosivost kuglastog vretena:

$$C_{dinp} = F_{bm} \cdot \sqrt[3]{\frac{L}{10^6}} = 18849 \cdot \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 10^6}{10^6}} = 18849 \text{ N}$$

$L = 1 \cdot 10^6 \text{ h}$ - odabrani minimalni životni vijek kuglastog vretena

$$C_{din} > C_{dinp} \rightarrow \text{ZADOVOLJAVA}$$

Kut kontakta između kuglice i utora te kut trenja:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{P}{\pi \cdot d_{sr}}\right) = \arctan\left(\frac{10}{\pi \cdot 50}\right) = 3,64^\circ$$

$$\beta = \tan^{-1}(\mu) = \tan^{-1}(0,0065) = 0,37^\circ$$

$\alpha > \beta$ - vreteno nije samokočno

5.2.2. Korisnost kuglastog vretena

$$\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \beta)} = \frac{1 - \mu \cdot \tan(\alpha)}{1 + \frac{\mu}{\tan(\alpha)}} = \frac{1 - 0,0065 \cdot \tan(3,64)}{1 + \frac{0,0065}{\tan(3,64)}} = 0,9$$

Za željenu brzinu spuštanja od 10 milimetara u sekundi, brzina okretanja vretena je:

$$n_{vr} = \frac{v_{vr}}{P} = \frac{10}{10} = 1 \text{ min}^{-1}$$

5.2.3. Snaga na kuglastom vretenu

$$P_{vr} = F_{vr} \cdot v_{vr} = 15708 \cdot 0,01 = 158 \text{ W}$$

5.2.4. Torzijski moment na kuglastom vretenu

$$T_{vr} = \frac{P_{vr}}{\omega_{vr}} = \frac{158}{2\pi \cdot 1} = 25 \text{ Nm}$$

5.3. Odabir elektromotora

Potrebna snaga elektromotora:

$$P_{EM} = \frac{P_{vr}}{\eta \cdot \eta_L^2 \cdot \eta_Z} = \frac{158}{0,9 \cdot 0,99^2 \cdot 0,95} = 189 \text{ W}$$

Nakon proučavanja ponude elektromotora Watt Drive prema minimalnoj potrebnoj izlaznoj snazi odabran je elektromotor S 454A 3A 71-04E za koji će biti potrebna redukcija broja okretaja. Iako je izlazni moment premali s obzirom na potreban moment na vretenu, on će se povećati prijenosnim omjerom zupčaničkog para.

Odabran motor prema Watt Drive: S 454A 3A 71-04E

Snaga elektromotora = 250 W

Izlazna brzina okretanja = 99 min⁻¹

Izlazni okretni moment = 21 Nm

Ukupna masa = 20,9 kg

| Motor data : | | |
|---|----------------------------------|---------------------|
| Series : | WEG Modular System Motor (EUSAS) | |
| Housing material : | Aluminium | |
| Efficiency class η : | IE1-59.0% | |
| Type : | 3AWA | |
| Motor power : | 0.25 | [kW] |
| Rated speed : | 1310 | [rpm] |
| Rated torque : | 1.8 | [Nm] |
| Voltage : | 230/400 | [V] |
| Frequency : | 50 | [Hz] |
| Connection : | D/Y | |
| Rated current : | 1.4 / 0.81 | [A] |
| Starting to rated current : | 3.5 | |
| 'cos ϕ ' : | 0.76 | |
| Protection class : | IP 55 | |
| Mounting position of the terminal box : | side 2 cable entry I | |
| Insulation class : | F | |
| Mass moment of inertia : | 0.39x10 ⁻³ | [kgm ²] |

Slika 10 Specifikacije elektromotora S 454A 3A 71-04E

| Gear data : | | |
|---|---|-------|
| Max. perm. thermal power limit at +20 °C and S1 operation : | 1.2 | [kW] |
| Output speed : | 99 | [rpm] |
| Output torque : | 21 | [Nm] |
| Service factor : | 3.80 | |
| Gear stages : | 2 | |
| Ratio : | 13.20 | |
| Perm. input torque at fB1 : | 6.9 | [Nm] |
| Max. perm. input speed : | 3500 | [rpm] |
| Mounting position : | H30 | |
| Hollow shaft : | Ø 30 H7 | [mm] |
| Keyway : | DIN6885.1 | |
| Painting : | LC1 - Indoor installation neutral atmosphere NDFT 60 µm (C1 - DIN EN ISO 12944-5) | |
| Color : | RAL 9007 (Grey aluminium) | |
| Total weight : | 18.1 | [kg] |

Slika 11 Specifikacije reduktora S 454A 3A 71-04E

5.4. Proračun para zupčanika

Potreban prijenosni omjer prema izlaznoj brzini vratila i željenoj brzini okretanja vretena:

$$i = \frac{n_{EM}}{n_{vr}} = \frac{99}{60} = 1,65$$

Za dobiveni prijenosni omjer te odabrani modul i promjer zupčanika 1 prema raspoloživom prostoru za ugradnju na nosivoj ploči, dobivamo dimenzije zupčanika 2 i broj zubi:

$$m = 4, \quad d_1 = 90 \text{ mm}$$

$$d_2 = d_1 \cdot i = 90 \cdot 1,65 = 148,5 \text{ mm} \rightarrow \text{odabran promjer } d_2 = 150 \text{ mm}$$

$$z_1 = \frac{d_1}{m} = \frac{90}{4} \approx 23$$

$$z_2 = \frac{d_2}{m} = \frac{150}{4} \approx 37$$

Novi prijenosni omjer: $i = \frac{Z_2}{Z_1} = 1,6$

Dovedeni okretni moment na vreteno: $T_{vr} = \eta \cdot \eta_L^2 \cdot \eta_z \cdot i = 0,9 \cdot 0,99^2 \cdot 0,95 \cdot 1,6 = 28 \text{ Nm}$

Pomak profila:

$$a = m \cdot \frac{Z_1 + Z_2}{2} = 120 \text{ mm} \quad - \text{ odabran standardni osni razmak: } a_w = 125 \text{ mm}$$

$$x_1 + x_2 = (Z_1 + Z_2) \frac{ev\alpha_w - ev\alpha}{2 \tan \alpha} = (23 + 37) \frac{0,0319 - 0,0149}{2 \cdot \tan 20} = 1,4$$

$$\alpha_w = \arccos \left(a \cdot \frac{\cos \alpha}{a_w} \right) = 25,5^\circ$$

$$ev\alpha = \tan \alpha - \frac{\alpha\pi}{180} = 0,0149 \quad , \quad ev\alpha_w = \tan \alpha_w - \frac{\alpha_w\pi}{180} = 0,0319$$

$$x_1 = \frac{i \cdot \sum x_i}{1+i} = \frac{1,52 \cdot (-0,0038)}{1+1,52} = 0,861$$

5.4.1. Kontrola zašiljenosti zuba

Za materijal zupčanika odabran je konstrukcijski čelik E 295. Iterativnim postupkom će se utvrditi da li će on zadovoljiti. Karakteristike materijala su:

$$\sigma_{H\text{lim}} = 340 \text{ N/mm}^2; \quad \sigma_{F\text{lim}} = 190 \text{ N/mm}^2$$

Debljina zuba na tjemenu promjeru: $s_a \geq 0,2m = 0,2 \cdot 4 = 0,8 \text{ mm}$

Prema „Ozubljenja i zupčanici“ očitana maksimalna vrijednost korekcijskog faktora:

$$x_{1\text{max}} = 1,05$$

Odabrano: $x_1 = 0,8$; $x_2 = \sum x_i - x_1 = 1,4 - 0,8 = 0,6 \rightarrow V+$ par

5.4.2. Dimenzije zupčanika u odnosu na korekcijske faktore

Zupčanik 1 $d_1 = z_1 \cdot m = 25 \cdot 4 = 92 \text{ mm}$

$$d_{a1} = d_1 + 2m(1 + x_1) = 92 + 2 \cdot 4(1 + 0,8) = 106,4 \text{ mm}$$

$$d_{w1} = d_1 \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = 92 \cdot \frac{\cos 20}{\cos 25,5} = 95,98 \text{ mm}$$

$$d_{f1} = d_1 - 2m(c - x_1) = 92 - 2 \cdot 4 \cdot (1,25 - 0,8) = 88,4 \text{ mm}$$

$$d_{b1} = d_{w1} \cdot \cos \alpha_w = 95,98 \cdot \cos 25,5 = 86,6 \text{ mm}$$

Zupčanik 2 $d_2 = z_2 \cdot m = 37 \cdot 4 = 148 \text{ mm}$

$$d_{a2} = d_2 + 2m(1 + x_2) = 148 + 2 \cdot 4(1 + 0,6) = 160,8 \text{ mm}$$

$$d_{w2} = d_2 \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = 148 \cdot \frac{\cos 20}{\cos 25,5} = 154,08 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2m(c - x_2) = 148 - 2 \cdot 4(1,25 - 0,6) = 142,8 \text{ mm}$$

$$d_{b2} = d_{w2} \cdot \cos \alpha_w = 154,08 \cdot \cos 25,5 = 139,07 \text{ mm}$$

5.4.3. Kontrola tjemene zračnosti

$$c = a_w - \frac{d_{a1} + d_{f2}}{2} = 125 - \frac{106,4 + 142,8}{2} = 0,4 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = 0,12m = 0,48 \text{ mm}$$

Budući da je c manji od c_{\min} , potrebno je skraćivanje tjemena

$$k \cdot m = a + (x_1 + x_2) \cdot m - a_w = 0,6 \text{ mm} \rightarrow k = \frac{0,6}{m} = 0,15$$

Tjemeni promjeri nakon skraćanja glave:

$$d_{ak1} = d_{a1} - 2k = 106,1 \text{ mm}$$

$$d_{ak2} = d_{a2} - 2k = 160,5 \text{ mm}$$

5.4.4. Ostvarivanje potrebne bočne zračnosti

$$W_{1,2} = m \cos \alpha \cdot \left(\pi (z_{w1,2} - 0,5) + z_{1,2} \cdot e v \alpha + 2x_{1,2} \cdot \tan \alpha \right)$$

$$z_{w1} = \frac{z_1}{\pi} \left(\tan \alpha_{x1} - e v \alpha \right) - \frac{2x_1 \tan \alpha}{\pi} + 0,5 \approx 0,273 \dots = 1$$

$$\tan \alpha_{x1} = \sqrt{\tan^2 \alpha + \frac{4 \left(\frac{x_1}{z_1} \right) \left(1 + \frac{x_1}{z_1} \right)}{\cos \alpha}} = 0,53$$

$$z_{w2} = \frac{z_2}{\pi} \left(\tan \alpha_{x2} - e v \alpha \right) - \frac{2x_2 \tan \alpha}{\pi} + 0,5 = 0,277 \dots = 1$$

$$\tan \alpha_{x2} = \sqrt{\tan^2 \alpha + \frac{4 \left(\frac{x_2}{z_2} \right) \left(1 + \frac{x_2}{z_2} \right)}{\cos \alpha}} = 0,45$$

Nazivne mjere preko nekoliko zubi: $W_1 = 9,38 \text{ mm}$; $W_2 = 9,61 \text{ mm}$

5.4.5. Izbor kružne zračnosti

za $m=4 \rightarrow j_{\max} = 210 \mu\text{m}$; $j_{\min} = 125 \mu\text{m}$

Izbor graničnih odstupanja razmaka osi vratila:

Za kvalitetu obrade=10 i razmak osi $a=125 \text{ mm} \rightarrow A_{a,g,d} = \pm 32 \mu\text{m}$

Stupanj površinske hrapavosti zupčanika: za $m=4 \rightarrow N6$

Granična odstupanja debljine zubi i razmaka osi vratila:

$$-(A_{w1,d} + A_{w2,d}) = j_{\max} \cdot \cos \alpha - 2A_{a,g} \cdot \sin \alpha_w = 176,81 \mu\text{m}$$

$$-(A_{w1,g} + A_{w2,g}) = j_{\min} \cdot \cos \alpha - 2A_{a,d} \cdot \sin \alpha_w = 137,98 \mu\text{m}$$

Za $m=4$; $d_1=100\text{mm}$; $d_2=152\text{mm}$; kvaliteta 8, odabrano:

$$A_{w1,g} = -96 \mu\text{m} \quad A_{w2,g} = -150 \mu\text{m}$$

$$A_{w1,d} = -144 \mu\text{m} \quad A_{w2,d} = -200 \mu\text{m}$$

Uvjet za izbjegavanje zaglavljivanja zubi:

$$j_{\min} > 2(T_{i1}'' + T_{i2}'') \cdot \tan \alpha_w$$

Za $m=4$; $d_1=100\text{mm}$; $d_2=152\text{mm}$; kvaliteta 8 \rightarrow odabrano: $T_{i1}'' = 105 \mu\text{m}$; $T_{i2}'' = 110 \mu\text{m}$

$$j_{\min} > 2(105 + 110) \cdot \tan 18,7 = 146 \mu\text{m}$$

$$j_{\min} = -\frac{(A_{w1,g} + A_{w2,g})}{\cos \alpha} + 2A_{a,d} \cdot \tan \alpha_w = 240 > 146 \mu\text{m}$$

$$j_{\max} = -\frac{(A_{w1,d} + A_{w2,d})}{\cos \alpha} + 2A_{a,g} \cdot \tan \alpha_w = 388 > 146$$

Ostvarena srednja vrijednost kružne zračnosti: $j = (j_{\min} + j_{\max}) \cdot \frac{1}{2} = 314 \mu\text{m}$

Radijalni pomak alata pri izradi: $j_r'' = \frac{j}{4 \tan \alpha_w} \approx 232 \mu\text{m}$

Srednja kružna zračnost: $j_r = 2 \cdot j_r'' = 464 \mu\text{m}$

5.4.6. Kontrola naprezanja na savijanje u korijenu zuba

$$\sigma_{F1} = \frac{F_{tw}}{b \cdot m} \cdot Y_{F1} \cdot Y_{\varepsilon1} \cdot K_{F\alpha1} \leq \sigma_{FP1}$$

$$F_{tw} = \frac{2T_{1\max}}{d_{w1}} = \frac{2 \cdot 21 \cdot 10^3}{95,98} = 464 \text{ N}$$

$$b = \lambda \cdot m = 15 \cdot 4 = 60 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{\alpha1} = \frac{\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - 2a_w \cdot \sin \alpha_w}{2\pi \cdot m \cdot \cos \alpha} = 1,65$$

Očitani faktori prema [4.]: $Y_{F1} = 2,7$; $Y_{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon_{\alpha1}} = 0,61$; $K_{F\alpha1} = 1,9$;

$$\sigma_{FP1} = \frac{\sigma_{F\lim}}{S_F} = 95 \text{ N/mm}^2$$

$S_f = 1,3 \dots 2 \rightarrow$ za interminirajući pogon

$$\sigma_{F\lim} = 190 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{F1} = 6,05 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{FP1} = 95 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{zadovoljava}$$

5.4.7. Kontrola čvrstoće boka zubi

$$\sigma_H = Z_M \cdot Z_H \cdot Z_{\varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{u+1}{u} \cdot \frac{F_{tw}}{b \cdot d_1} \cdot K_{H\alpha}} \leq \sigma_{HP}$$

Očitani faktori prema: $Z_M = 189,5$; $Z_H = 2,5$; $K_{H\alpha} = 1,4$; $Z_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_{\alpha}}{3}} = 1,06$

$$\sigma_H = 219,6 \text{ N/mm}^2$$

$$S_H = \frac{\sigma_{\lim}}{\sigma_H} = \frac{340}{219,6} = 1,5$$

Određivanje materijala većeg zupčanika: $\sigma_{H1} = \sigma_{H2} = 219,6 \text{ N/mm}^2$; $S_H = 1 \dots 1,5$

$\sigma_{H\text{lim}} = \sigma_H \cdot S_H = 329,4 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ odabran materijal zupčanika2: E295 isto kao zupčanik1

5.4.8. Kontrola temperature zagrijavanja

Gubitci u reduktoru: $P_{g''RE} = P_{EM} \cdot P_{gRE} = 0,25 \cdot 0,0315 = 0,0078 \text{ kW}$

$$P_{gRE} = P_{gV} + P_{gZ} + P_{gBB} + P_{gVR} = 0,25 + 0,5 + 1 + 1,4 = 3,15\%$$

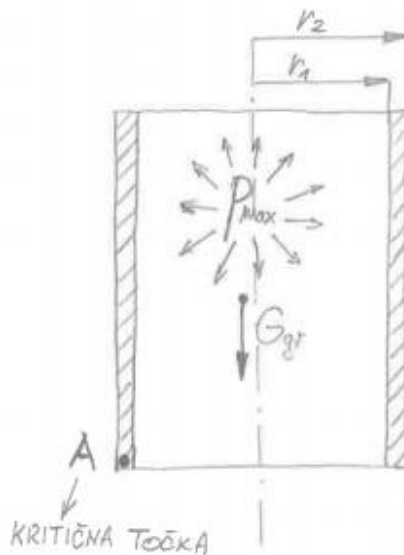
Proizvedena toplina: $\Phi = P_{g''RE} \cdot 3,6 \cdot 10^3 = 28,35 \text{ kJ/h}$

Proizvedena toplina je mala. Proračunata potrebna temperatura ulja za hlađenje je 22°C , a pretpostavljena temperatura radne okoline je 20°C . Stoga je dovoljno podmazivanje zupčanika mašću.

Pomoću „Ozubljenja i zupčanici“ odabrana mast za podmazivanje prema JUS B.H3.273

Oznaka masti za podmazivanje: OZ-20

5.5. Proračun spremnika za grožđe



Slika 12 Opterećenje spremnika za grožđe

$$p_{uk} = p_{\max} + p_{gr} = 0,8 + 0,11 = 0,91 \text{ bar}$$

$$p_{gr} = \rho_{gr} \cdot g \cdot H = 1100 \cdot 9,81 \cdot 1 \approx 0,11 \text{ bar}$$

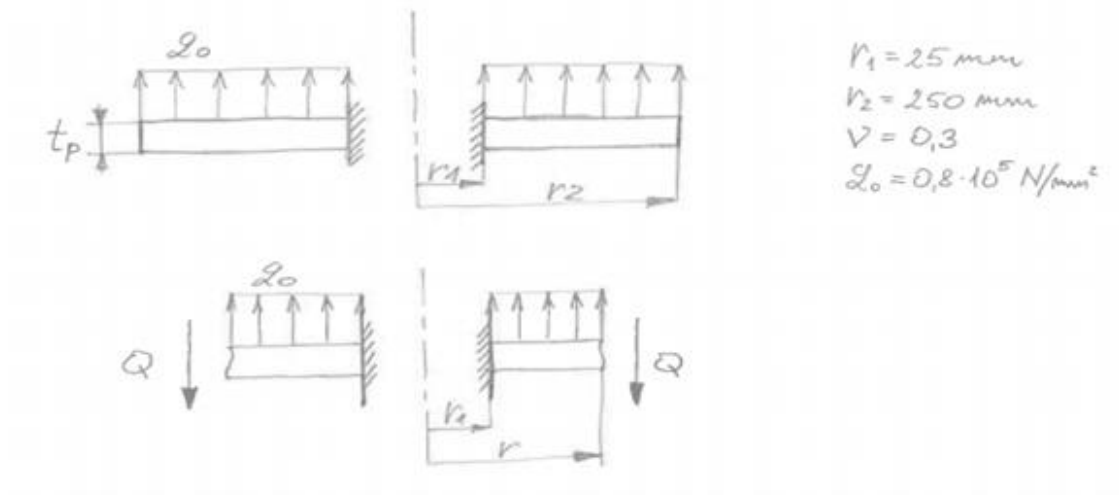
Dimenzioniranje po HMH teoriji:

Spremnik je u dodiru sa groždanim sokom pa je odabran materijal od nehrđajućeg čelika prema DIN EN 10025-2 → X5CrNi18-10

$$\sigma_{dop} = 100 \dots 140 \text{ N/mm}^2$$

$$r_2 \geq r_1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{dop}}{\sigma_{dop} - p_{uk} \cdot \sqrt{3}}} = 0,25 \cdot \sqrt{\frac{120 \cdot 10^6}{120 \cdot 10^6 - 0,91 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{3}}} = 0,2502 \text{ m} \rightarrow \text{odabrano: } t_s = 2 \text{ mm}$$

5.6. Kontrola pritisne ploče



Slika 13 Model opterećenja pritisne ploče

Pretpostavljena debljina pritiskne ploče: $h_p = 8 \text{ mm}$

$$Q \cdot 2r\pi - q_0 \cdot (r - r_1)^2 \pi = 0 \rightarrow Q = \frac{q_0 \cdot (r - r_1)^2}{2r}$$

Diferencijalna jednačina savijanja kružne ploče: $\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \cdot (\alpha r) \right] = \frac{Q}{D}$

fleksijska krutost ploče: $D = \frac{E \cdot h_p^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} = \frac{200000 \cdot 8^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} = 9377 \text{ Nm}$

Nakon sređivanja diferencijalne jednačine i uvrštavanja rubnih uvjeta dobije se izraz za nagib ploče u ovisnosti o polumjeru:

$$\alpha = 260416,7r^3 - 34722,2r^2 - 434r + 868r \cdot \ln(r) + 4341,2r$$

$$\frac{d\alpha}{dr} = 4593 - 69444,4r + 781250,1r^2 + 868 \ln(r)$$

$$\frac{\alpha}{r} = 3473 - 34722,2r + 260416,7r^2 + 868 \ln(r)$$

Za $r=r_1 \rightarrow M=M_{\max}$ $M_{\max} = D \left(\frac{d\alpha}{dr} + \nu \frac{\alpha}{r} \right) = 101,69 \text{ Nm/m}$

Maksimalno naprezanje: $\sigma_{\max} = \frac{6M_{\max}}{h_p^2} = \frac{6 \cdot 101,69}{0,008^2} = 4,9 \text{ N/mm}^2$

Materijal pritiskne ploče je nehrđajući čelik X5CrNi18-10 prema DIN EN 10025-2

$$\sigma_{dop} = 100 \dots 140 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_{dop} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Prema SKF odabran ležaj između pritiskne ploče i vretena:

Radijalno-aksijalno kuglični ležaj s kosim dodirom \rightarrow 7209 BECBM

| Principal dimensions | | | Basic load ratings | | Fatigue load limit | Speed ratings | | Mass | Designation |
|----------------------|----|----|--------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|----------------|------|------------------------|
| d | D | B | dynamic C | static C ₀ | P _u | Reference speed | Limiting speed | kg | * SKF Explorer bearing |
| mm | | | kN | | kN | r/min | | | - |
| 45 | 85 | 19 | 38 | 28,5 | 1,22 | 10000 | 10000 | 0,44 | 7209 BECBM * |

Calculation factors

- k_r 0,095
- k_a 1,4
- e 1,14
- X 0,35
- Y 0,57
- Y_0 0,26

Slika 14 Dimenzije ležaja 7209 BECBM

Proračunski faktori:

$$k_r = 0,095 \quad X = 0,35$$

$$k_a = 1,4 \quad Y = 0,57$$

$$e = 1,14 \quad Y_0 = 0,26$$

Input parameters

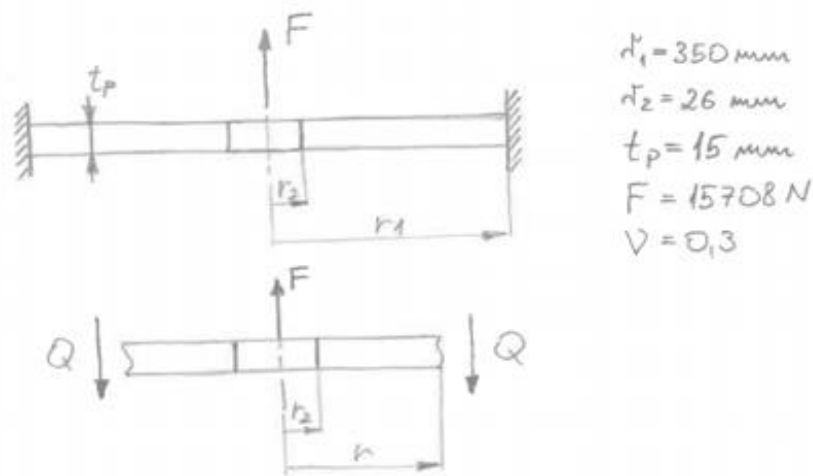
| | |
|--|--|
| Mounting arrangement | Single |
| F_r Radial load | 0 kN |
| F_a Axial load | 15.708 kN |
| n_i Rotational speed of the inner ring | 60 r/min |
| Operating temperature Bearing outer ring | 40 °C |
| η_c specification method | Cleanliness classification(recommended) |
| Lubricant type and cleanliness | Normal cleanliness (e.g. shielded bearing) |
| Viscosity calculation input type | Viscosity input at 40 °C (VI is 95) |
| Viscosity at 40 °C | 95 mm ² /s |

Result

| | |
|---|--------------------------|
| L_{10mh} SKF rating life | 8480 hour |
| a_{SKF} SKF life modification factor a _{SKF} | 0.4 |
| κ Viscosity ratio | 0.56 |
| P Equivalent dynamic bearing load | 8.95 kN |
| η_c Factor for contamination level | 0.21 |
| v₁ Required kinematic viscosity for κ=1 | 168.7 mm ² /s |
| L_{10h} Basic rating life | 21300 hour |
| C/P Load ratio | 4.2 |

Slika 15 Vijek trajanja ležaja 7209 BECBM

5.7. Kontrola gornjeg postolja



Slika 16 Model opterećenja gornjeg postolja

Za materijal ploče odabran konstrukcijski čelik E 335

$$F_{vr} = -Q \cdot 2r\pi \rightarrow Q = \frac{-F_{vr}}{2r\pi}$$

Pretpostavljena debljina ploče: $t_p = 15 \text{ mm}$

Diferencijalna jednačba savijanja kružne ploče: $\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \cdot (\alpha r) \right] = \frac{Q}{D}$

$$D = \frac{E \cdot h_p^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} = \frac{210000 \cdot 0,015^3}{12 \cdot (1 - 0,3^2)} = 61813 \text{ Nm}$$

Nakon sređivanja diferencijalne i uvrštavanja rubnih uvjeta dobije se izraz za nagib ploče u ovisnosti o polumjeru:

$$\alpha = 4063,7r - 20142,8r - 8127,4r \cdot \ln(r)$$

$$\frac{d\alpha}{dr} = -8127,4 \ln(r) - 8127,4 + 4063,7 - 20142,8$$

$$\frac{\alpha}{r} = -81274,4 \ln(r) + 4063,7 - 20142,8$$

$$M_{\max} = M(r_1) = D \left(\frac{d\alpha}{dr} + \nu \frac{\alpha}{r} \right) = 24,6 \text{ Nm/m}$$

$$\text{Maksimalno naprezanje: } \sigma_{\max} = \frac{6M_{\max}}{h_p^2} = \frac{6 \cdot (-2758,9)}{0,015^2} = 73,57 \text{ N/mm}^2$$

Prema Krautu za konstrukcijski čelik Č.0645 $\rightarrow \sigma_{dopIII} = 105 \square 140 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{\max} < \sigma_{dop} \rightarrow$ zadovoljava

5.8. Kontrola vijaka za prijenos momenta sa zupčanika na maticu

Odabrani vijci prema DIN EN 20898 [2.]: M10 ČV.6.8 ($Re=480\text{N/mm}^2$)

$$A_j = 52,3 \text{ mm}^2; d_3 = 8,376 \text{ mm}; n = 8; \sigma_{dop} = 0,3 \cdot R_e = 144 \text{ N/mm}^2$$

Prijenos momenta sa zupčanika na maticu ostvaruje se trenjem pomoću prolaznih vijaka.

$$\text{Potrebni moment trenja na podlozi: } T_{TP} = T_{vr} \cdot S = 25 \cdot 1,5 = 37,5 \text{ Nm}$$

$$\text{Sila trenja između podloge i matice: } F_{TP} = \frac{T_{TP}}{n \cdot r_p} = \frac{37,5}{8 \cdot 6,5} = 721,15 \text{ N}$$

$$\text{Prema sili trenja dobivamo osnu silu u vijku: } F_v = \frac{F_{TP}}{\mu_p} = \frac{721,15}{0,12} = 6009 \text{ N}$$

$S=1,5$ sigurnost

$\mu_p = 0,12$ trenje između podloge

$r_p = 6,5 \text{ mm}$ srednji polumjer sile trenja na podlozi matice

$d_2 = 9,026 \text{ mm}$

$$\text{Kut uspona navoja: } \alpha = \tan^{-1} \frac{P_h}{d_2 \pi} = \tan^{-1} \frac{1,5}{9,026\pi} = 3,02^\circ$$

$$\text{Korigirani kut trenja u navoju: } \rho' = \tan^{-1} \frac{\mu_N}{\cos \beta} = \tan^{-1} \frac{0,2}{\cos 30} = 13^\circ$$

$$\text{Moment navoja u vijku: } T_N = F_v \cdot \tan(\rho' + \alpha) \cdot \frac{d_2}{2} = 7,786 \text{ Nm}$$

$$\text{Ukupni moment pritezanja na vijku: } T_p = \frac{T_{TP}}{n} + T_N = \frac{37,5}{8} + 7,789 = 12,47 \text{ Nm}$$

$$\text{Opterećenje vijka na tlak: } \sigma_v = \frac{F_v}{A_j} = \frac{6009}{52,3} = 114 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_v < \sigma_{dop} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

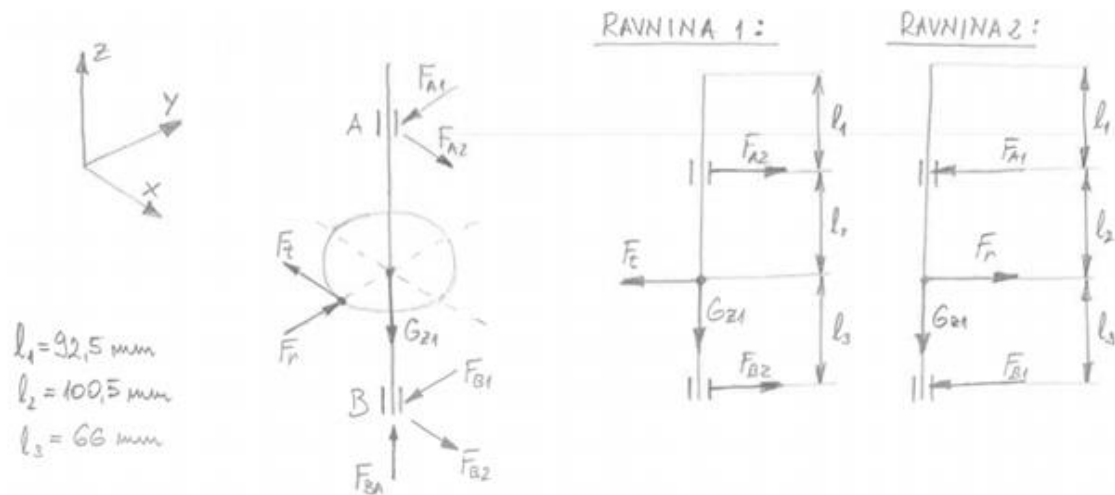
5.9. Kontrola vijaka za pritezanje kućišta

Odabrani vijci prema DIN EN 20898: M8 ČV.5.8($R_e = 400 \text{ N/mm}^2$)

$$A_j = 32,8 \text{ mm}^2; n = 8; \sigma_{dop} = 0,3 \cdot R_e = 120 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tlak: } F_{vr} \leq F_{dop} = A_j \cdot \sigma_{dop} \cdot n = 31488 \text{ N} \quad F_{vr} \leq F_{dop} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

5.10. Dimenzioniranje izlaznog vratila elektromotora



Slika 17 Opterećenje izlaznog vratila elektromotora

5.10.1. Reakcijske sile u ležajevima

Tangencijalna sila:
$$F_t = \frac{T_{EM}}{r_1} = \frac{23 \cdot 10^3}{50} = 640 \text{ N}$$

Radijalna sila:
$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha = 234 \text{ N}$$

$$\sum M_{B1} = 0; F_{A1}(l_2 + l_3) - F_r l_3 = 0 \rightarrow F_{A1} = \frac{F_r l_3}{l_2 + l_3} = 93 \text{ N}$$

$$F_{B1} = F_r - F_{A1} = 141 \text{ N}$$

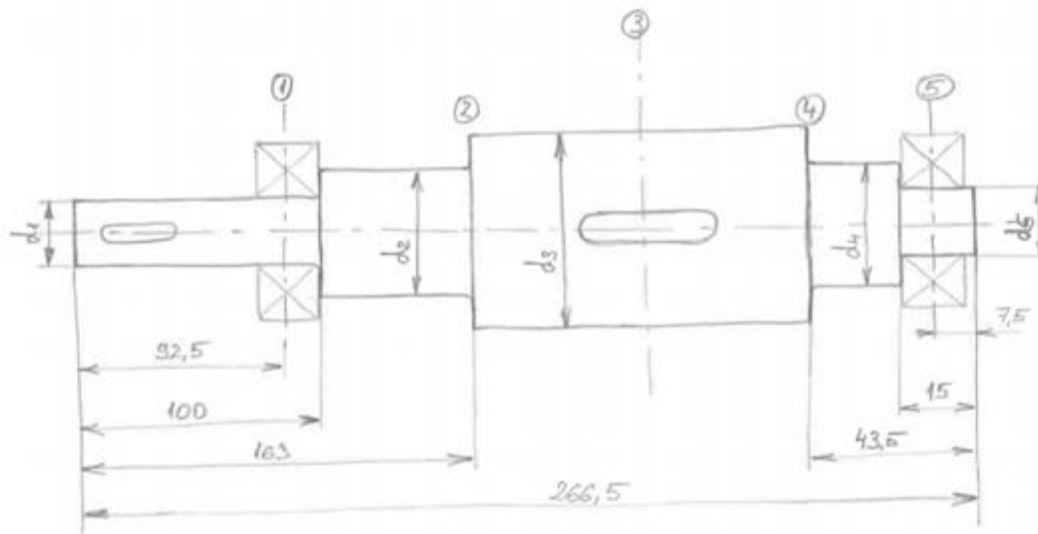
$$\sum M_{B2} = 0; F_{A2}(l_2 + l_3) - F_t l_3 = 0 \rightarrow F_{A2} = \frac{F_t l_3}{l_2 + l_3} = 254 \text{ N}$$

$$F_{B2} = F_t - F_{A2} = 386 \text{ N}$$

$$F_A = \sqrt{F_{A1}^2 + F_{A2}^2} = 271 \text{ N}$$

$$F_B = \sqrt{F_{B1}^2 + F_{B2}^2} = 411 \text{ N}$$

$$F_{BA} = -G_{Z1} = m_{Z1} \cdot g = 37 \text{ N}$$



Slika 18 Pretpostavljene dimenzije vratila

Za materijal vratila odabran je konstrukcijski čelik S 355 JR. Daljnjim proračunom će se utvrditi da li on zadovoljava. Karakteristike materijala su:

$$\sigma_{fDNdop} = 50 \text{ N/mm}^2; \sigma_{fDN} = 240 \text{ N/mm}^2; \tau_{tDI} = 190 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73\tau_{tDI}} = 0,73$$

Presjek 1 (\$x_1=92,5\$mm; savijanje+torzija):

$$M_1 = F_A (100 - 92,5) = 2032,5 \text{ Nmm}$$

$$M_{red1} = \sqrt{M_1^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T)^2} = 14682 \text{ Nmm};$$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{10M_{red1}}{\sigma_{fDNdop}}} = 14,31 \text{ mm}$$

Presjek 2 (\$x_2=100\$; savijanje+torzija):

$$M_2 = F_A (163 - 92,5) = 19105 \text{ Nmm}$$

$$M_{red2} = \sqrt{M_2^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T)^2} = 24009 \text{ Nmm};$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{10M_{red2}}{\sigma_{fDNdop}}} = 16,87 \text{ mm}$$

Presjek 3 ($x_3=163$; savijanje+torzija):

$$M_3 = F_A (163 + 30) = 52303 \text{ Nmm}$$

$$M_{red3} = \sqrt{M_3^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T)^2} = 54286 \text{ Nmm};$$

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{10M_{red3}}{\sigma_{fDNdop}}} = 22,14 \text{ mm}$$

Presjek 4 ($x_4=223$; savijanje):

$$M_4 = F_B (43,5 - 7,5) = 14796 \text{ Nmm};$$

$$d_4 = \sqrt[3]{\frac{10M_4}{\sigma_{fDNdop}}} = 14,35 \text{ mm}$$

Presjek 5 ($x_5=251,5$; savijanje):

$$M_5 = F_B \cdot 7,5 = 3083 \text{ Nmm};$$

$$d_5 = \sqrt[3]{\frac{10M_5}{\sigma_{fDNdop}}} = 8,51 \text{ mm}$$

Odabrano:

$d_1 = 20 \text{ mm}$ (radi promjera izlazne rupe elektromotora i promjera ležaja)

$d_2 = 25 \text{ mm}$ (radi simetričnosti i naslona za ležaj)

$d_3 = 30 \text{ mm}$ (radi promjera rupe zupčanika)

$d_4 = 25 \text{ mm}$ (radi simetričnosti i naslona za ležaj)

$d_5 = 20 \text{ mm}$ (radi promjera ležaja)

5.10.2. Odabrani ležaji za vratilo

Radijalno-aksijalni kuglični s kosim dodirom- 7304 BEGAP [12.]

| Principal dimensions | | | Basic load ratings | | Fatigue load limit | Speed ratings | | Mass | Designation |
|----------------------|----|----|--------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|----------------|------|------------------------|
| d | D | B | dynamic C | static C ₀ | P ₀ | Reference speed | Limiting speed | kg | * SKF Explorer bearing |
| mm | | | kN | | kN | r/min | | | - |
| 20 | 52 | 15 | 19 | 10 | 0,425 | 18000 | 18000 | 0,14 | 7304 BEGAP * |

Calculation factors

- k_r 0,1
- k_a 1,6
- e 1,14
- X 0,35
- Y 0,57
- Y_0 0,26

Slika 19 Dimenzije ležaja 7304 BEGAP

Proračunski faktori:

$$k_r = 0,1$$

$$k_a = 1,6$$

$$e = 1,14$$

$$X = 0,35$$

$$Y = 0,57$$

$$Y_0 = 0,26$$

Input parameters

| | |
|--|--|
| Mounting arrangement | Single |
| F_r Radial load | 0.234 kN |
| F_a Axial load | 0.037 kN |
| n_i Rotational speed of the inner ring | 90 r/min |
| Operating temperature Bearing outer ring | 40 °C |
| η_c specification method | Cleanliness classification(recommended) |
| Lubricant type and cleanliness | Normal cleanliness (e.g. shielded bearing) |
| Viscosity calculation input type | Viscosity input at 40 °C (VI is 95) |
| Viscosity at 40 °C | 95 mm ² /s |

Result

| | |
|---|--------------------------|
| L_{10mh} SKF rating life | >1000000 hour |
| a_{SKF} SKF life modification factor a _{SKF} | 2.68 |
| κ Viscosity ratio | 0.59 |
| P Equivalent dynamic bearing load | 0.234 kN |
| η_c Factor for contamination level | 0.14 |
| v₁ Required kinematic viscosity for κ=1 | 161.1 mm ² /s |
| L_{10h} Basic rating life | >1000000 hour |
| C/P Load ratio | 81.2 |

Slika 20 Vijek trajanja ležaja 7304 BEGAP

Radijalni kuglični ležaj → 6304

| Principal dimensions | | | Basic load ratings | | Fatigue load limit | Speed ratings | | Mass | Designation |
|----------------------|----|----|--------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|----------------|------|------------------------|
| d | D | B | dynamic C | static C ₀ | | Reference speed | Limiting speed | | * SKF Explorer bearing |
| mm | | | kN | | kN | r/min | | kg | - |
| 20 | 52 | 15 | 16,8 | 7,8 | 0,335 | 30000 | 19000 | 0,14 | 6304 * |

Calculation factors
 k_r 0,03
 f_0 12

Slika 21 Dimenzije ležaja 6304

Proračunski faktori:

$$k_r = 0,1$$

$$f_0 = 12$$

Input parameters

| | |
|--|--|
| Select bearing internal radial clearance | Normal internal radial clearance |
| F_r Radial load | 0.234 kN |
| F_a Axial load | 0 kN |
| n_i Rotational speed of the inner ring | 90 r/min |
| Operating temperature Bearing outer ring | 40 °C |
| η_c specification method | Cleanliness classification(recommended) |
| Lubricant type and cleanliness | Normal cleanliness (e.g. shielded bearing) |
| Viscosity calculation input type | Viscosity input at 40 °C (VI is 95) |
| Viscosity at 40 °C | 95 mm ² /s |

Result

| | |
|---|--------------------------|
| L_{10mh} SKF rating life | >1000000 hour |
| a_{SKF} SKF life modification factor a _{SKF} | 2 |
| κ Viscosity ratio | 0.59 |
| P Equivalent dynamic bearing load | 0.234 kN |
| η_c Factor for contamination level | 0.14 |
| v₁ Required kinematic viscosity for κ=1 | 161.1 mm ² /s |
| L_{10h} Basic rating life | >1000000 hour |
| C/P Load ratio | 71.8 |

Slika 22 Vijek trajanja ležaja 6304

5.10.3. Kontrolni proračun dinamičke sigurnosti vratila

Presjek 1: $M_{1red} = \sqrt{(M_1 \cdot \beta_{kf})^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T_{EM} \cdot \beta_{kt})^2} = 19973 \text{ Nmm}$

$$\beta_{kf} = 1 + c_1 (\beta_{kf2} - 1) = 1,38$$

$$\beta_{kt} = 1 + c_2 (\beta_{kt1,4} - 1) = 1,36$$

$$\frac{\rho}{d} = 0,05; c_2 = 0,9; c_1 = 0,51$$

Presjek 2: $M_{2red} = \sqrt{(M_2 \cdot \beta_{kf})^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T_{EM} \cdot \beta_{kt})^2} = 31997 \text{ Nmm}$

$$\beta_{kf} = 1 + c_1 (\beta_{kf2} - 1) = 1,34$$

$$\beta_{kt} = 1 + c_2 (\beta_{kt1,4} - 1) = 1,32$$

$$\frac{\rho}{d} = 0,04; c_2 = 0,8; c_1 = 0,45$$

Presjek 3: $M_{3red} = \sqrt{(M_3 \cdot \beta_{kf})^2 + 0,75(\alpha_0 \cdot T_{EM} \cdot \beta_{kt})^2} = 98535 \text{ Nmm}$

$$\beta_{kf} = 1,8 \text{ (za } R_m = 500 \text{ N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_{kt} = 2 \text{ (za } b = 10 \text{ mm; } t = 4,7 \text{ mm; } h = 8 \text{ mm; } \rho = 1,5 \text{ mm)}$$

Presjek 4: $M_4 = F_B \cdot 36 = 14796 \text{ Nmm}$

Presjek 5: $M_5 = F_B \cdot 7,5 = 3083 \text{ Nmm}$

5.10.4. Kontrola sigurnosti presjeka

$$S_{potr} = 3$$

Presjek 1:
$$S_{post1} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\varphi \cdot \sigma_{red}} = 8,95 > S_{potr}$$

$$\sigma_{red} = \frac{M_{red1}}{W_1} = \frac{M_{red1}}{0,1 \cdot d_1^3} = 24,96 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = 0,95; \quad b_2 = 0,98 \text{ (za Ra3,2)}$$

Presjek 2:
$$S_{post2} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\varphi \cdot \sigma_{red}} = 10,1 > S_{potr}$$

$$\sigma_{red} = \frac{M_{red2}}{W_2} = \frac{M_{red2}}{0,1 \cdot d_2^3} = 20,47 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = 0,925; \quad b_2 = 0,93 \text{ (za Ra6,3)}$$

Presjek 3:
$$S_{post3} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\varphi \cdot \sigma_{red}} = 5,79 > S_{potr}$$

$$\sigma_{red} = \frac{M_{red3}}{W_3} = \frac{M_{red2}}{0,1 \cdot d_3^3} = 36,5 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = 0,9; \quad b_2 = 0,93 \text{ (za Ra6,3)}$$

Presjek 4:
$$S_{post4} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\varphi \cdot \beta_{kf} \cdot \sigma_{f4}} = 16,26 > S_{potr}$$

$$\sigma_{f4} = \frac{M_4}{W_4} = \frac{M_4}{0,1 \cdot d_4^3} = 9,47 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = 0,925; \quad b_2 = 0,93 \text{ (za Ra6,3)}; \quad c_1 = 0,45; \quad \beta_{kf2} = 1,75$$

$$\beta_{kf} = 1 + c_1 (\beta_{kf2} - 1) = 1,34$$

Presjek 5:
$$S_{post5} = \frac{b_1 \cdot b_2 \cdot \sigma_{fDN}}{\varphi \cdot \beta_{kf} \cdot \sigma_{f5}} = 42,1 > S_{potr}$$

$$\sigma_{f5} = \frac{M_5}{W_5} = \frac{M_5}{0,1 \cdot d_5^3} = 3,85 \text{ N/mm}^2$$

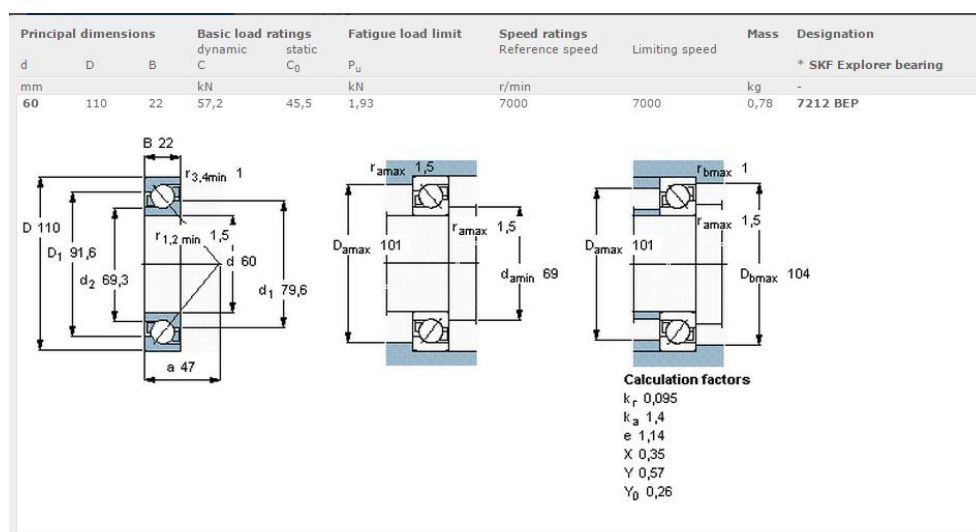
$$b_1 = 0,95; b_2 = 0,98 \text{ (za Ra3,2)}; c_1 = 0,51; \beta_{kf2} = 1,75$$

$$\beta_{kf} = 1 + c_1 (\beta_{kf2} - 1) = 1,38$$

5.10.5. Odabir ležajeva na kuglastom vretenu prema aksijalnoj sili pritiskanja i radijalnoj sili zupčanika

Prema [12.] odabrani ležaji između matice i kućišta:

Gornji → radijalno-aksijalni kuglični 7212 BEP



Slika 23 Dimenzije ležaja 7212 BEP

Proračunski faktori:

$$k_r = 0,095 \quad k_a = 1,4$$

$$e = 1,14 \quad X = 0,35$$

$$Y = 0,57 \quad Y_0 = 0,26$$

Input parameters

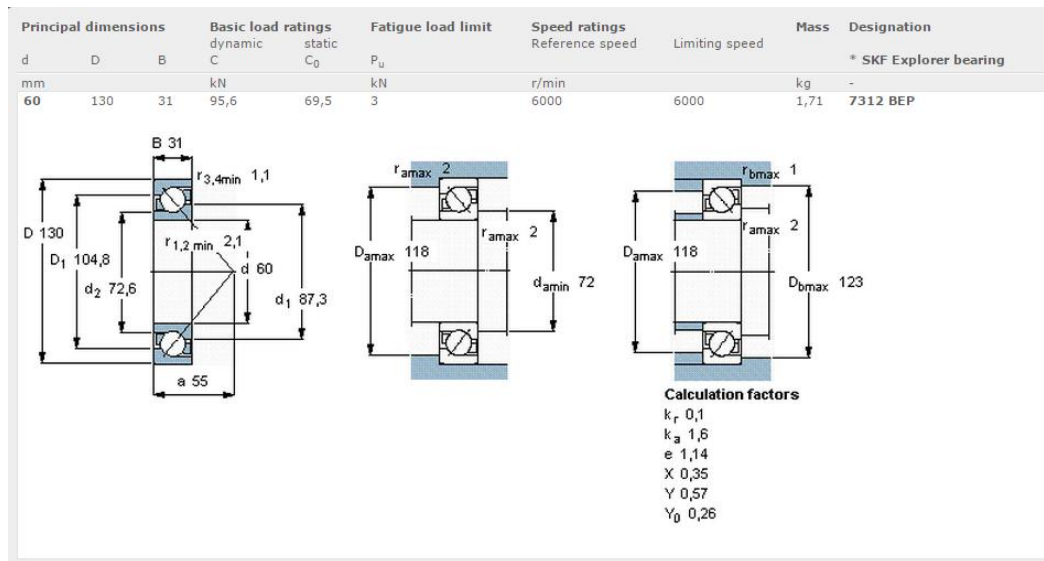
| | |
|--|--|
| Mounting arrangement | Single |
| F_r Radial load | 0.234 kN |
| F_a Axial load | 15.708 kN |
| n_i Rotational speed of the inner ring | 60 r/min |
| Operating temperature Bearing outer ring | 40 °C |
| η_c specification method | Cleanliness classification(recommended) |
| Lubricant type and cleanliness | Normal cleanliness (e.g. shielded bearing) |
| Viscosity calculation input type | Viscosity input at 40 °C (VI is 95) |
| Viscosity at 40 °C | 95 mm ² /s |

Result

| | |
|---|--------------------------|
| L_{10mh} SKF rating life | 45700 hour |
| a_{SKF} SKF life modification factor a _{SKF} | 0.65 |
| κ Viscosity ratio | 0.65 |
| P Equivalent dynamic bearing load | 9.04 kN |
| η_c Factor for contamination level | 0.27 |
| v₁ Required kinematic viscosity for κ=1 | 146.7 mm ² /s |
| L_{10h} Basic rating life | 70400 hour |
| C/P Load ratio | 6.3 |

Slika 24 Vijek trajanja ležaja 7212 BEP

Donji → radialno-aksijalni kuglični 7312 BEP



Slika 25 Dimenzije ležaja 7312 BEP

Proračunski faktori:

$$k_r = 0,1$$

$$k_a = 1,6$$

$$e = 1,14$$

$$X = 0,35$$

$$Y = 0,57$$

$$Y_0 = 0,26$$

Input parameters

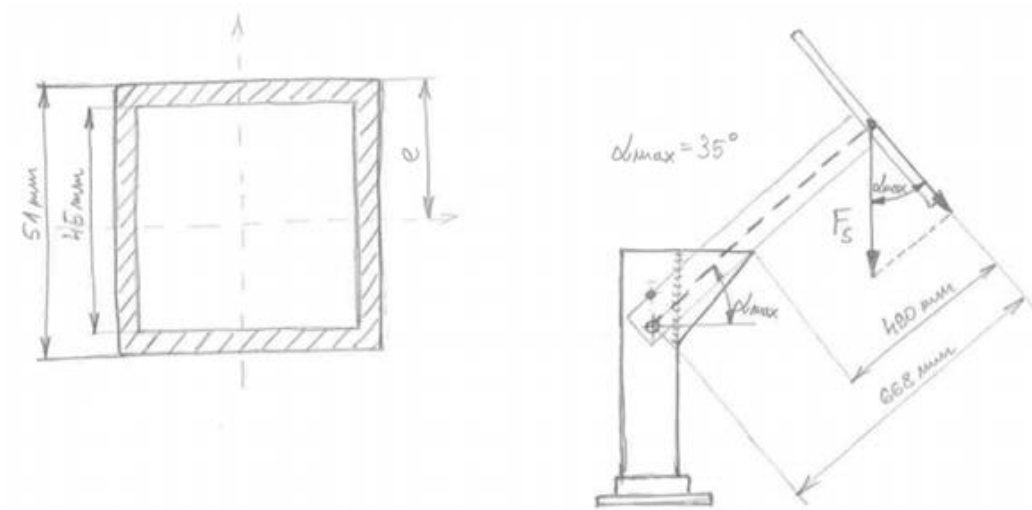
| | |
|--|--|
| Mounting arrangement | Single |
| F_r Radial load | 0.234 kN |
| F_a Axial load | 15.708 kN |
| n_i Rotational speed of the inner ring | 60 r/min |
| Operating temperature Bearing outer ring | 40 °C |
| η_c specification method | Cleanliness classification(recommended) |
| Lubricant type and cleanliness | Normal cleanliness (e.g. shielded bearing) |
| Viscosity calculation input type | Viscosity input at 40 °C (VI is 95) |
| Viscosity at 40 °C | 95 mm ² /s |

Result

| | |
|---|--------------------------|
| L_{10mh} SKF rating life | 361000 hour |
| a_{SKF} SKF life modification factor a _{SKF} | 1.1 |
| κ Viscosity ratio | 0.69 |
| P Equivalent dynamic bearing load | 9.04 kN |
| η_c Factor for contamination level | 0.31 |
| v₁ Required kinematic viscosity for κ=1 | 138.3 mm ² /s |
| L_{10h} Basic rating life | 328500 hour |
| C/P Load ratio | 10.6 |

Slika 26 Vijek trajanja ležaja 7312 BEP

5.11. Proračun noseće cijevi na savijanje



Slika 27 Opterećenje kvadratnog čeličnog nosača na savijanje

Čelična cijev S 236 JR $\rightarrow \sigma_{dop} = 100 \div 130 \text{ N/mm}^2$

$$F_s = m_s \cdot g = 94 \cdot 9,81 = 922 \text{ N} \quad \rightarrow \quad F_{s1} = F_s \cdot \cos \alpha_{\max} = 755 \text{ N}$$

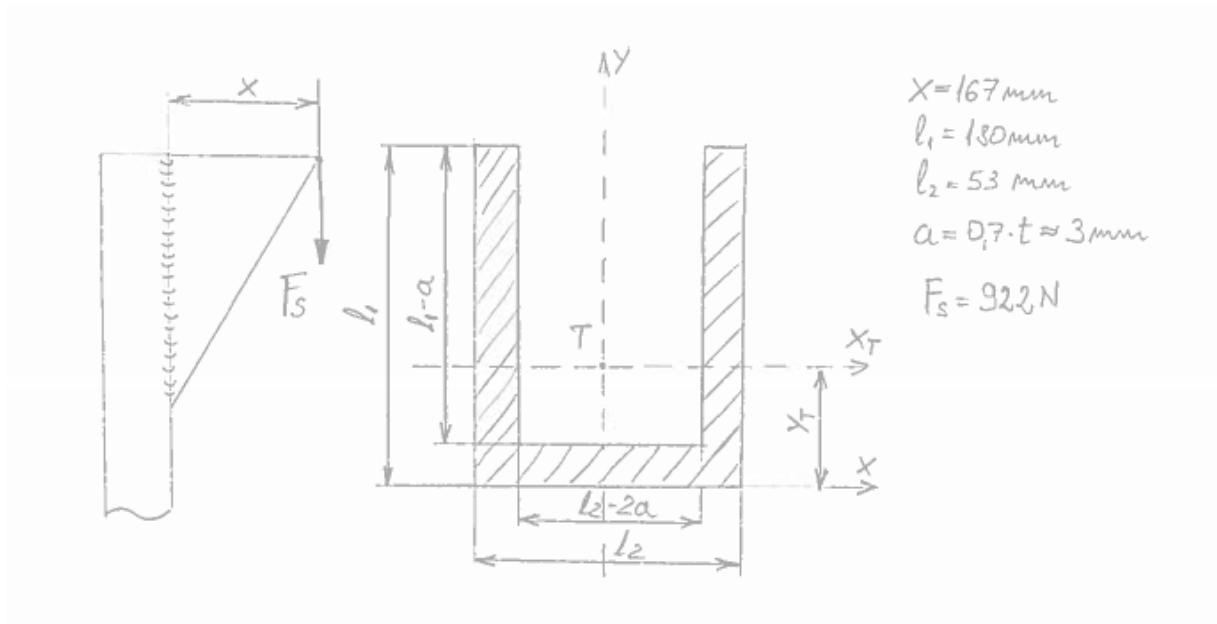
$$I_1 = \frac{a_1^4}{12} = 341719 \text{ mm}^4; \quad I_2 = \frac{a_2^4}{12} = 563767 \text{ mm}^4; \quad I = I_1 - I_2 = 222048 \text{ mm}^4$$

$$W = \frac{I}{e} = \frac{222048}{25,5} = 8707,8 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{F_{s1} \cdot 490}{8707,8} = 42,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_{dop}$$

5.12. Proračun zavora nosača



Slika 28 Opterećenje zavora donjeg nosača

Smik:
$$\tau = \frac{F_s}{2 \cdot l_1 \cdot a} = \frac{922}{2 \cdot 180 \cdot 5} = 0,51 \text{ N/mm}^2$$

Savijanje: nosivost zavora okomitog na smjer sile se zanemaruje. Stoga se uzima za y_T polovica visine paralelnih zavora

$$y_T = \frac{l_1}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$I = \frac{l_2 \cdot l_1^3}{12} - \frac{(l_2 - 2a) \cdot l_1^3}{12} = \frac{53 \cdot 180^3}{12} - \frac{43 \cdot 180^3}{12} = 4860000 \text{ mm}^4;$$

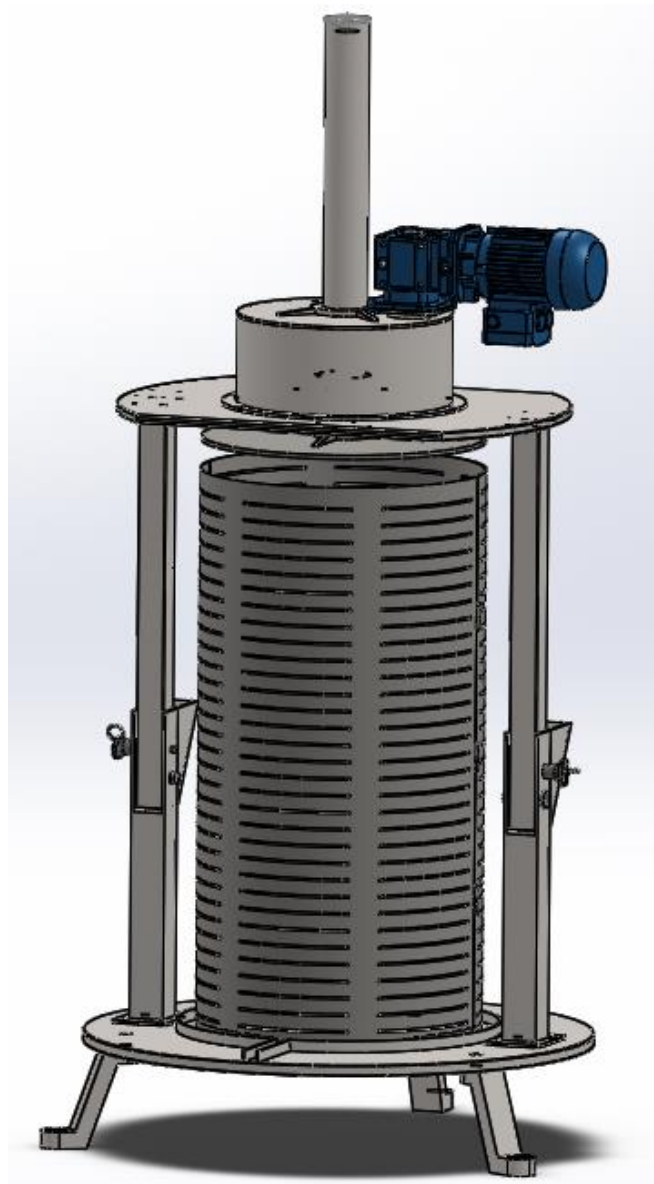
$$W = \frac{I}{y_T} = 54000 \text{ mm}^3$$

$$n_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{F_s \cdot 167}{54000} = 2,85 \text{ N/mm}^2$$

Reducirano naprezanje: $\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{\perp max}^2 + 1,8(\tau_{\perp max}^2 + \tau_{\square max}^2)} = 3,44 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{\perp max} = \tau_{\perp max} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot n_{max} = 2,02 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{red} < \sigma_{dop} = 100 \square 130 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{zadovoljava}$



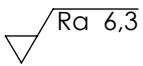
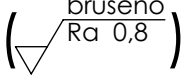
Slika 29 Preša za grožde pogonjena elektromotorom (3D model)

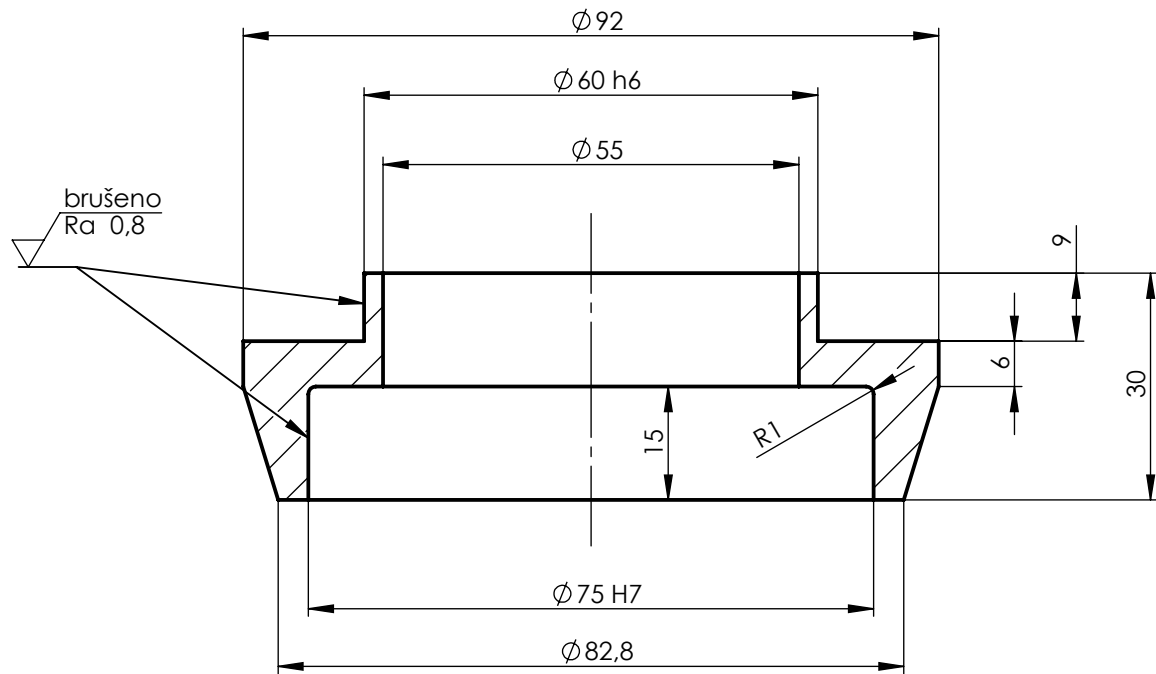
6. ZAKLJUČAK

Zadatak je bio konstruirati prešu za grožđe pogonjenu elektromotorom za rad u manjim domaćinstvima, odnosno kapaciteta do 200 litara. Istraživanjem tržišta uzete su u obzir različite dimenzije i materijali za izradu preše te mehanizmi prešanja. Pažnju je trebalo obratiti na mogućnost laganog punjenja i pražnjenja spremnika za grožđe. Dijelovi koji su u dodiru sa grožđanim sokom napravljeni su od nehrđajućeg čelika. Okretni moment elektromotora prenosi se preko zupčaničkog para sa ravnim zubima na maticu, a preko matice vreteno koje spušta i podiže ploču za prešanje. Umjesto običnog trapeznog vretena koristi se kuglasto vreteno kako bi se smanjili veliki gubici snage, odnosno okretnog momenta. Proveden je proračun za sve elemente koji prenose gibanje, kao i za sve nosive elemente.

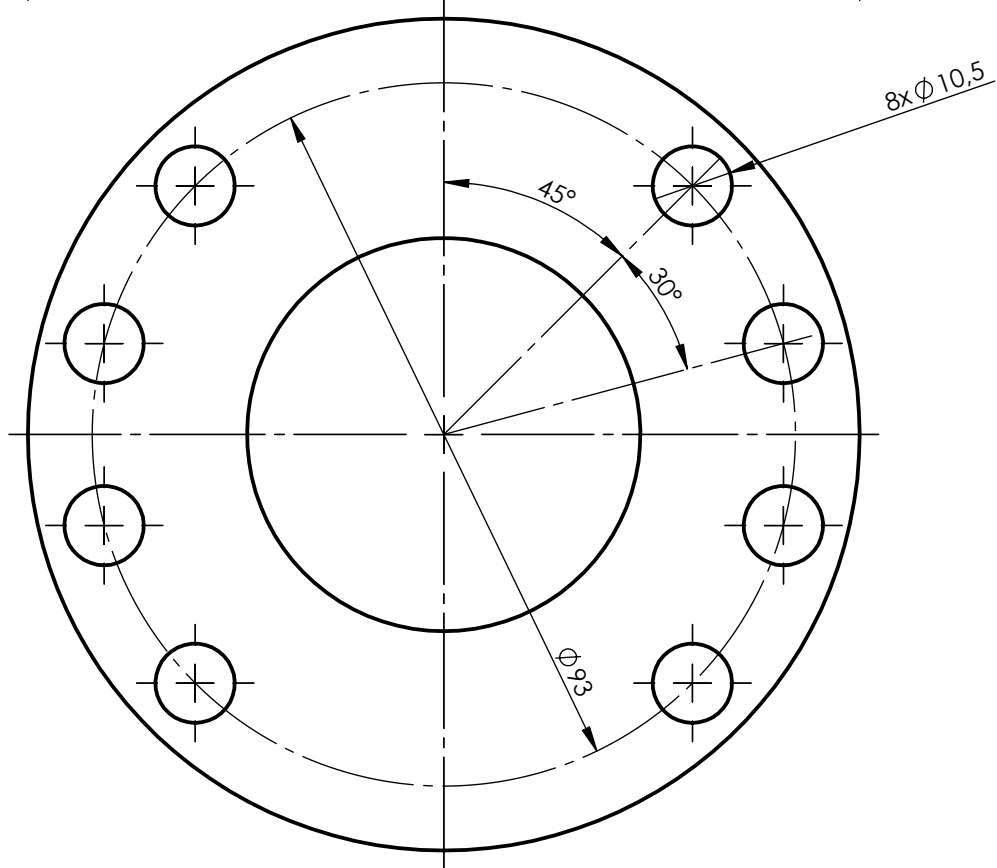
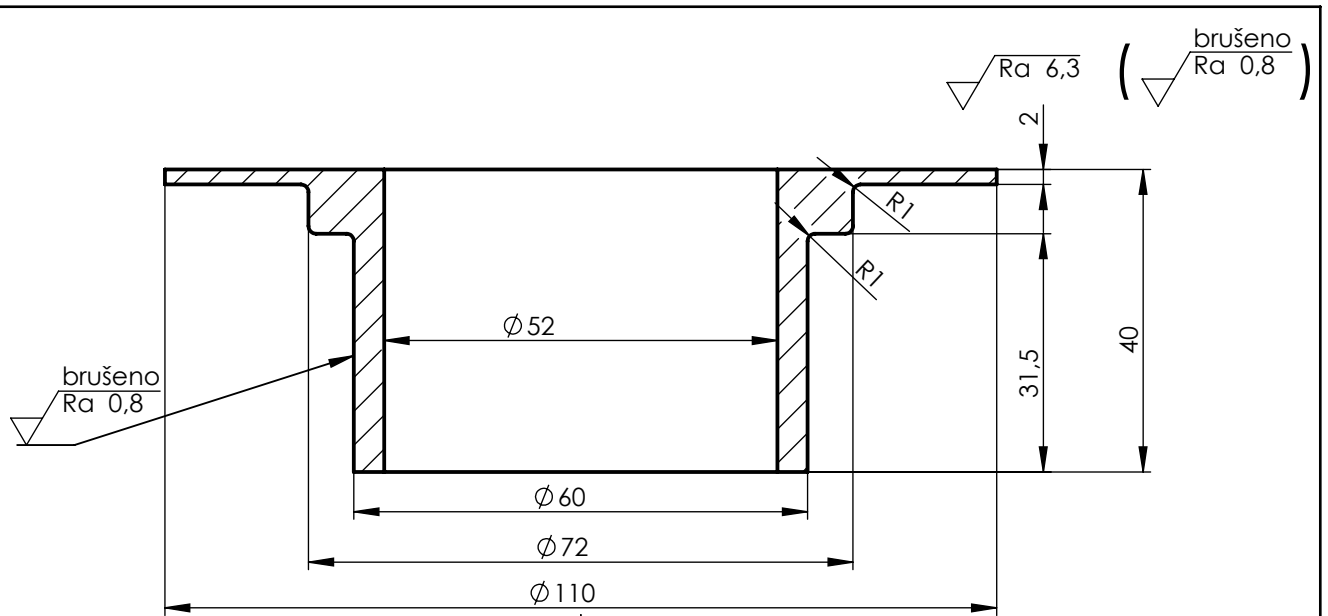
LITERATURA

- [1.] Bojan Kraut, Strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb, 1975.
- [2.] Karlo-Heinz Decker, Elementi strojeva, Tehnička knjiga, Zagreb, 2005.
- [3.] Ivo Alfirević, Linearna analiza konstrukcija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.
- [4.] Prof. dr. Eugen Oberšmit, Ozubljenja i zupčanici, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1987.
- [5.] <http://www.wattdrive.com/en/>
- [6.] <http://www.hiwin.com/ballscrews.html>
- [7.] <http://morewinemaking.com/category/wine-bladder-presses.html>
- [8.] <http://thevintnervault.com/category/43/Wine-Presses.html>
- [9.] <http://www.willmes.de/en/home/index.html>
- [10.] <https://fruitwinepress.com/products/>
- [11.] <http://www.enotecnicapillan.it/index.php?lang=en>
- [12.] <http://www.skf.com/hr/index.html>

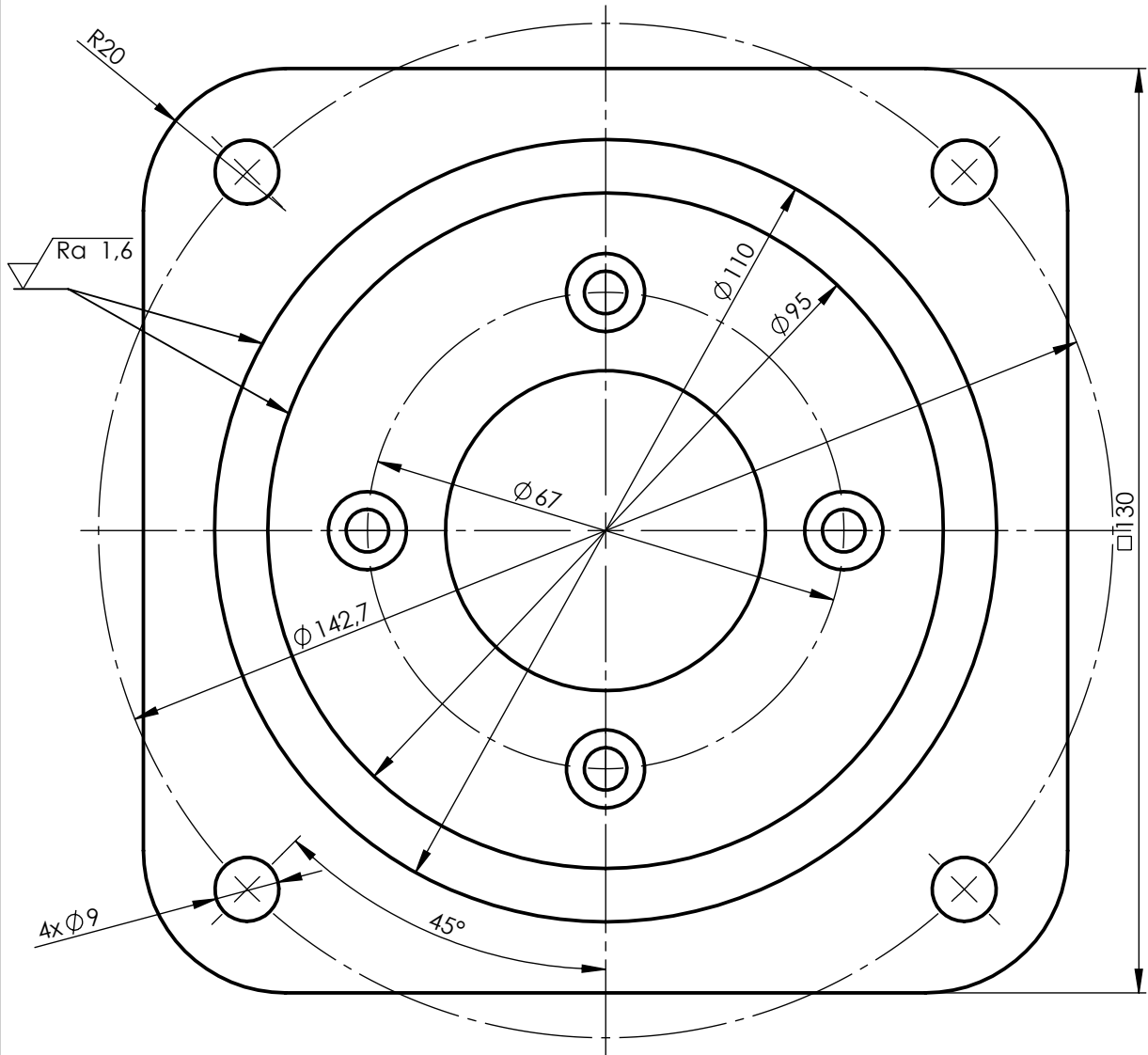
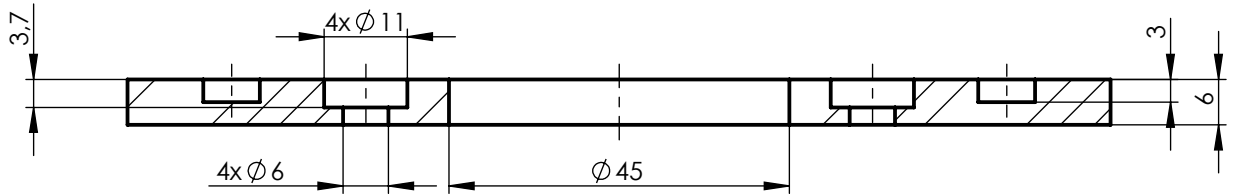


| | | | | | | | |
|--------------------|-------------|---|-----------------------|--|---|---|------------|
| Broj naziva - code | | Datum | Ime i prezime | | Potpis |  FSB Zagreb | |
| | | Projektirao | Dominik Gabelica | | | | |
| | | Razradio | Dominik Gabelica | | | | |
| | | Crtao | Dominik Gabelica | | | | |
| | | Pregledao | Dr. sc. Dragan Žeželj | | | | |
| ISO - tolerancije | | Objekt: Preša za grožđe | | | Objekt broj: | | |
| Ø 75 H7 | +0,030 0 | | | | R. N. broj: | | |
| Ø 60 h6 | 0 -0,019 | Napomena: Sve oštre rubove skositi 1x45° | | | <div style="background-color: #cccccc; border: 1px solid black; padding: 2px;">Kopija</div> | | |
| | | Materijal: E 295 | Masa: 0,42 kg | | | | |
| Design by CADLab | |  | Naziv: Distantnik 1 | | | Pozicija: 23 | Format: A4 |
| | | Mjerilo originala | | | | | Listova: 1 |
| | | 1:1 | Crtež broj: 2015-1 | | | | List: 1 |



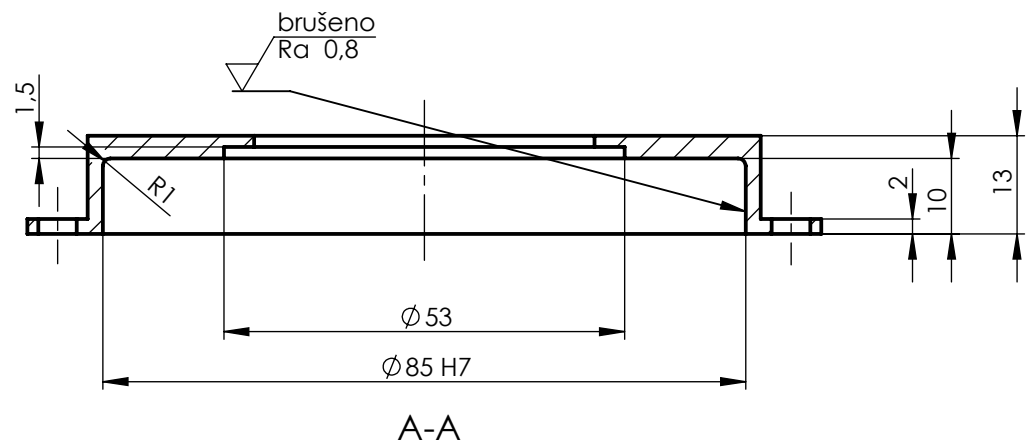
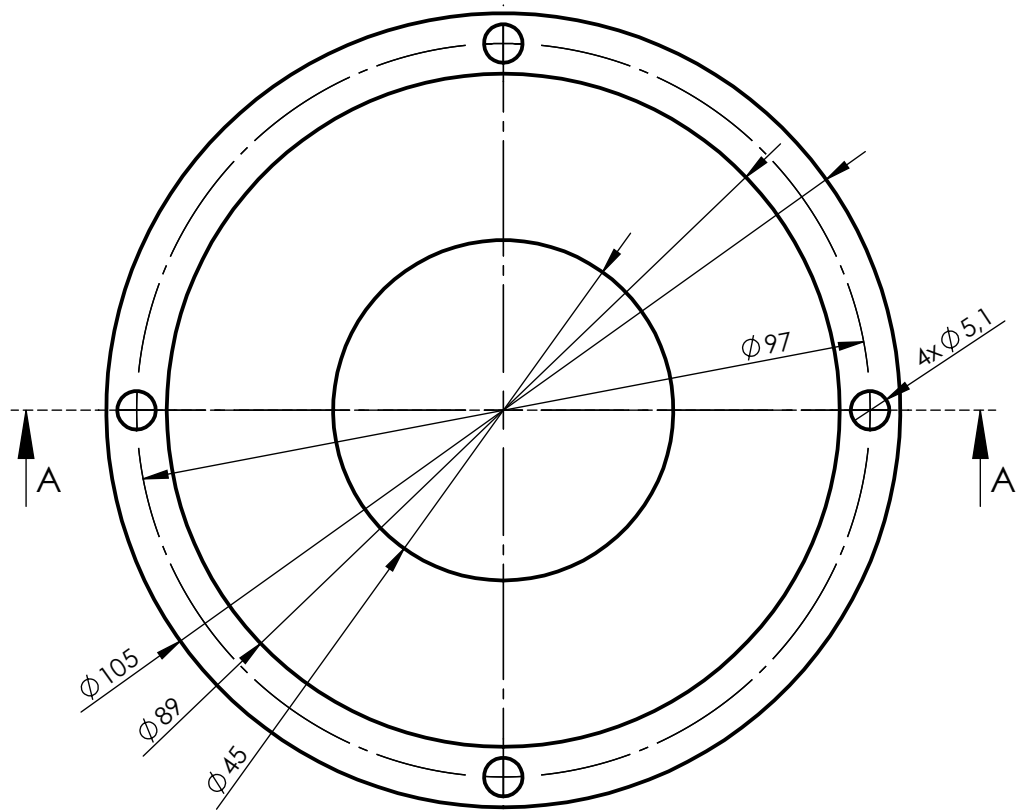
| | | | | | | | | | |
|--------------------|--|---|--|----------------------------|--|--------------|--|---|--|
| Broj naziva - code | | Datum | | Ime i prezime | | Potpis | |  FSB Zagreb | |
| Projektirao | | | | Dominik Gabelica | | | | | |
| Razradio | | | | Dominik Gabelica | | | | | |
| Crtao | | | | Dominik Gabelica | | | | | |
| Pregledao | | | | Dr. sc. Dragan Žeželj | | | | | |
| ISO - tolerancije | | Objekt: Preša za grožđe | | | | Objekt broj: | | | |
| $\phi 60$ k6 | | +0,021 | | | | | | R. N. broj: | |
| | | +0,002 | | | | | | | |
| | | Napomena: Sve oštre rubove skositi 1x45° | | | | | | Kopija | |
| | | Materijal: E 295 | | Masa: 0,26 kg | | | |  | |
| | | | | | | | | | |
| | |   | | Naziv: Distantnik 2 | | | | Pozicija: 22 | |
| | | Mjerilo originala | | | | | | Format: A4 | |
| | | 1:1 | | Crtež broj: 2015-2 | | | | Listova: 1 | |
| | | | | | | | | List: 1 | |

$\sqrt{Ra\ 6,3}$ ($\sqrt{Ra\ 1,6}$)

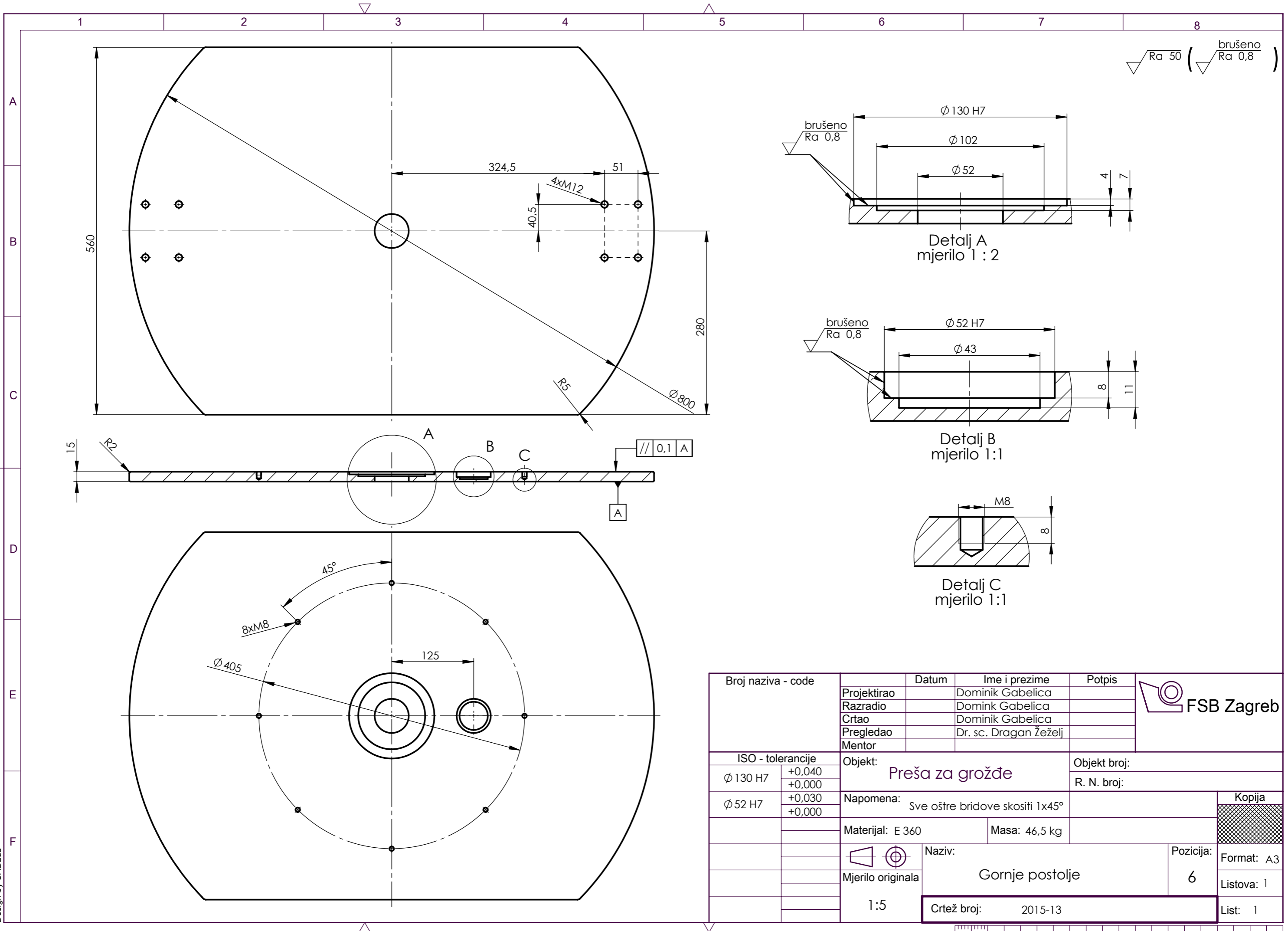


| | | | | | | |
|--------------------|---|----------------------------|-----------------------|--------------|---|------------|
| Broj naziva - code | Projektirao | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb | |
| | Razradio | | Dominik Gabelica | | | |
| | Crtao | | Dominik Gabelica | | | |
| | Pregledao | | Dr. sc. Dragan Žeželj | | | |
| ISO - tolerancije | Objekt: Preša za grožđe | | | Objekt broj: | | |
| | | | | R. N. broj: | | |
| | Napomena: Sve oštre bridove skositi 1x45° | | | | Kopija | |
| | Materijal: S 355JR | Masa: 0,59 kg | | |  | |
| Design by CADLab |   | Naziv: Prirubnica 3 | | | Pozicija: 27 | Format: A4 |
| | Mjerilo originala | | | | | Listova: 1 |
| | 1:1 | Crtež broj: 2015-12 | | | | List: 1 |

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



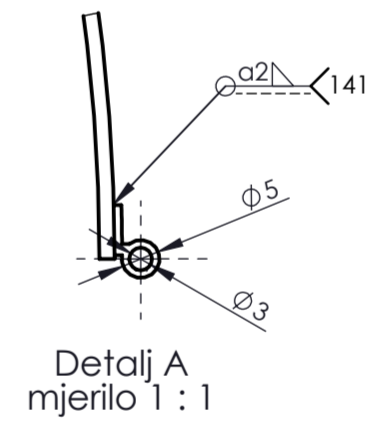
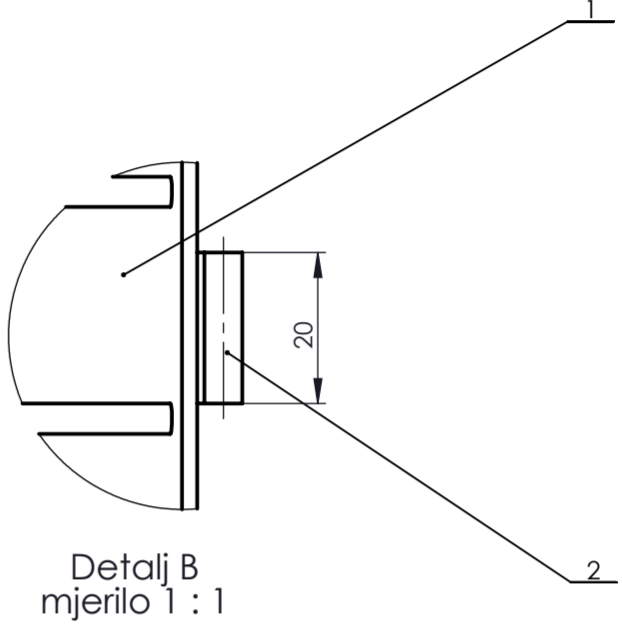
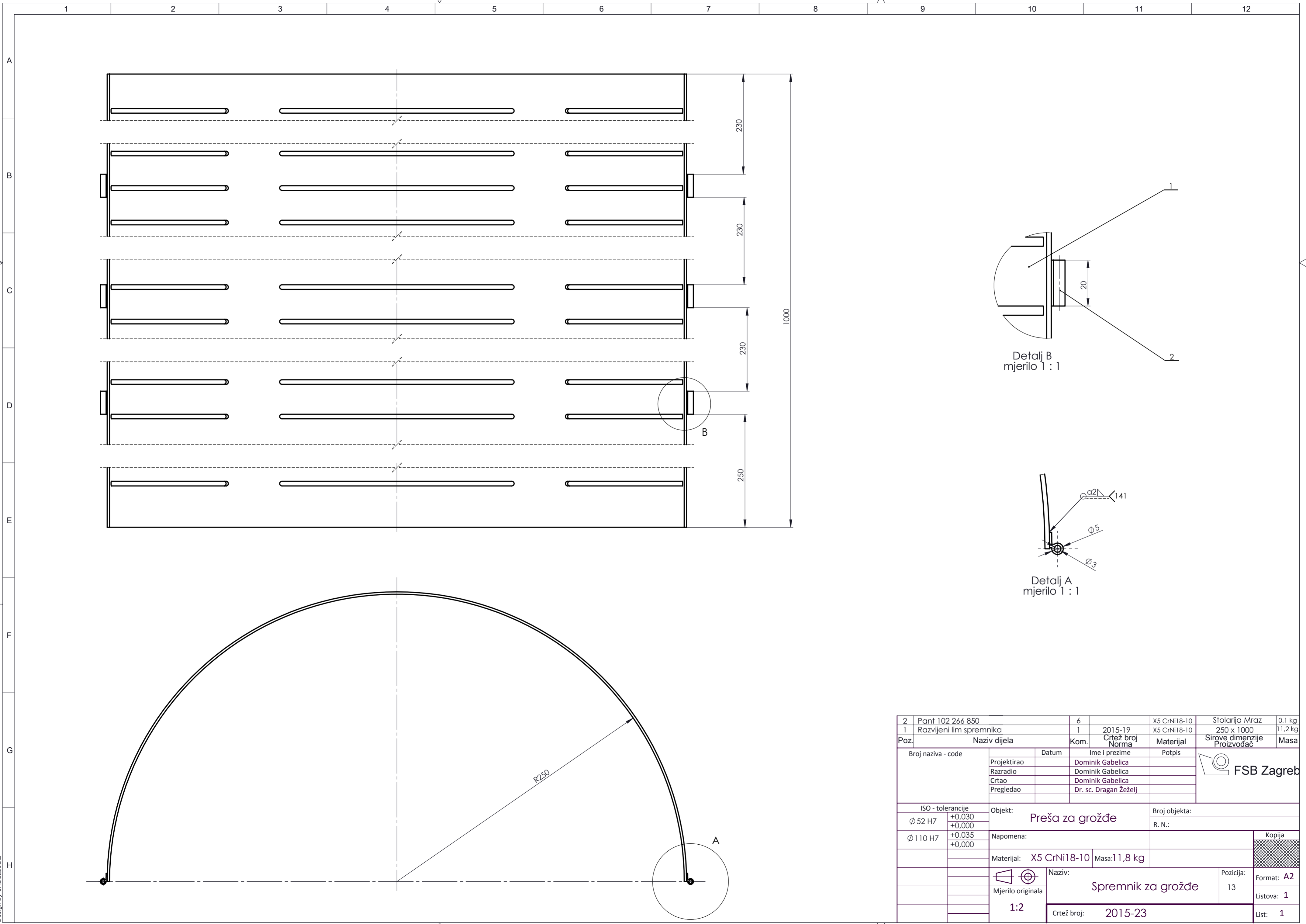
| | | | | | |
|--------------------|------------------|---|-----------------------|--------------|------------|
| Broj naziva - code | | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| Projektirao | | | Dominik Gabelica | | |
| Razradio | | | Dominik Gabelica | | |
| Crtao | | | Dominik Gabelica | | |
| Pregledao | | | Dr. sc. Dragan Žeželj | | |
| ISO - tolerancije | | Objekt: Preša za grožđe | | Objekt broj: | |
| $\Phi 85\ H7$ | +0,035 +0,000 | | | R. N. broj: | |
| | | Napomena: Sve oštre bridove skositi 1x45° | | | Kopija |
| | | Materijal: S 355JR | Masa: 0,18 kg | | |
| | | Naziv: Poklopac pritisne ploče | | | |
| | | Mjerilo originala | 1:1 | | Format: A4 |
| | | Crtež broj: 2015-8 | | | Listova: 1 |
| | | | | | List: 1 |



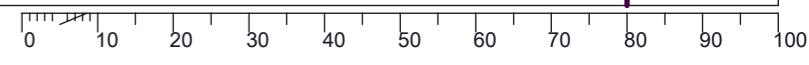
Design by CADLab

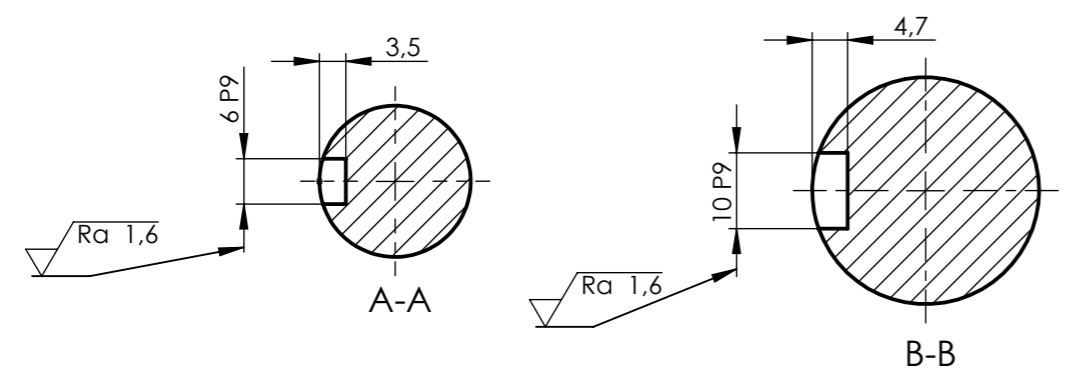
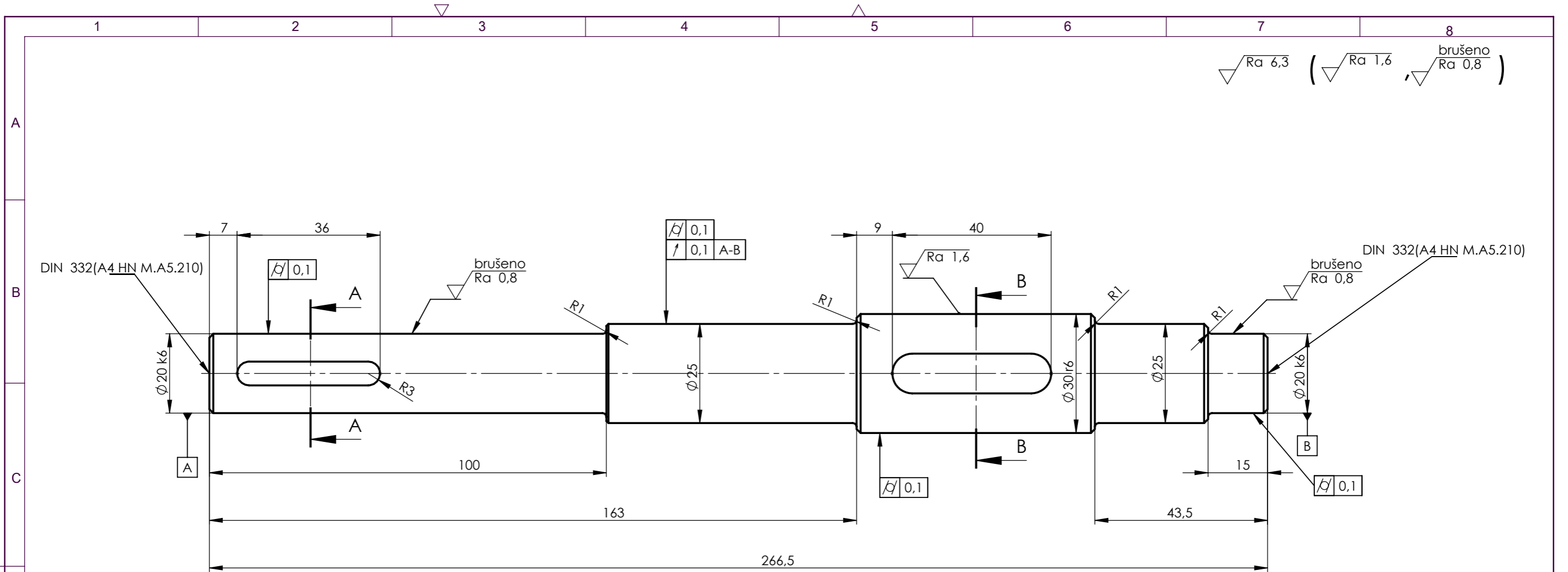
| | | | | | |
|--------------------|------------------|---|------------------------|--|--|
| Broj naziva - code | Projektirao | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| | Razradio | | Dominik Gabelica | | |
| | Crtao | | Domink Gabelica | | |
| | Pregledao | | Dominik Gabelica | | |
| | Mentor | | Dr. sc. Dragan Žeželj | | |
| ISO - tolerancije | | Objekt: Preša za grožđe | | Objekt broj: | |
| Ø 130 H7 | +0,040 +0,000 | | | R. N. broj: | |
| Ø 52 H7 | +0,030 +0,000 | Napomena: Sve oštre bridove skositi 1x45° | | <div style="background-color: #cccccc; width: 100px; height: 15px;"></div> | |
| | | Materijal: E 360 | Masa: 46,5 kg | | |
| | | | Naziv: Gornje postolje | Pozicija: 6 | <div style="background-color: #cccccc; width: 100px; height: 15px;"></div> |
| | | Mjerilo originala: 1:5 | Crtež broj: 2015-13 | Format: A3 | |
| | | | | Listova: 1 | List: 1 |



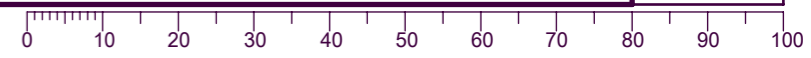


| | | | | | | |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|------------|
| 2 | Pant 102 266 850 | 6 | | X5 CrNi18-10 | Stolarija Mraz | 0,1 kg |
| 1 | Razvijeni lim spremnika | 1 | 2015-19 | X5 CrNi18-10 | 250 x 1000 | 11,2 kg |
| Poz. | Naziv dijela | Kom. | Crtež broj Norma | Materijal | Sirove dimenzije Proizvođač | Masa |
| Broj naziva - code | Datum | Ime i prezime | | Potpis | | |
| Projektirao | | Dominik Gabelica | | | | |
| Razradio | | Dominik Gabelica | | | | |
| Crtao | | Dominik Gabelica | | | | |
| Pregledao | | Dr. sc. Dragan Žeželj | | | | |
| ISO - tolerancije | | Objekt: | | Broj objekta: | | |
| Ø 52 H7 | +0,030 +0,000 | Preša za grožđe | | R. N.: | | |
| Ø 110 H7 | +0,035 +0,000 | Napomena: | | Kopija | | |
| | | Materijal: | X5 CrNi18-10 | Masa: 11,8 kg | | |
| | | Mjerilo originala | Naziv: | | Pozicija: | Format: A2 |
| | | 1:2 | Spremnik za grožđe | | 13 | Listova: 1 |
| | | Crtež broj: | 2015-23 | | List: 1 | |

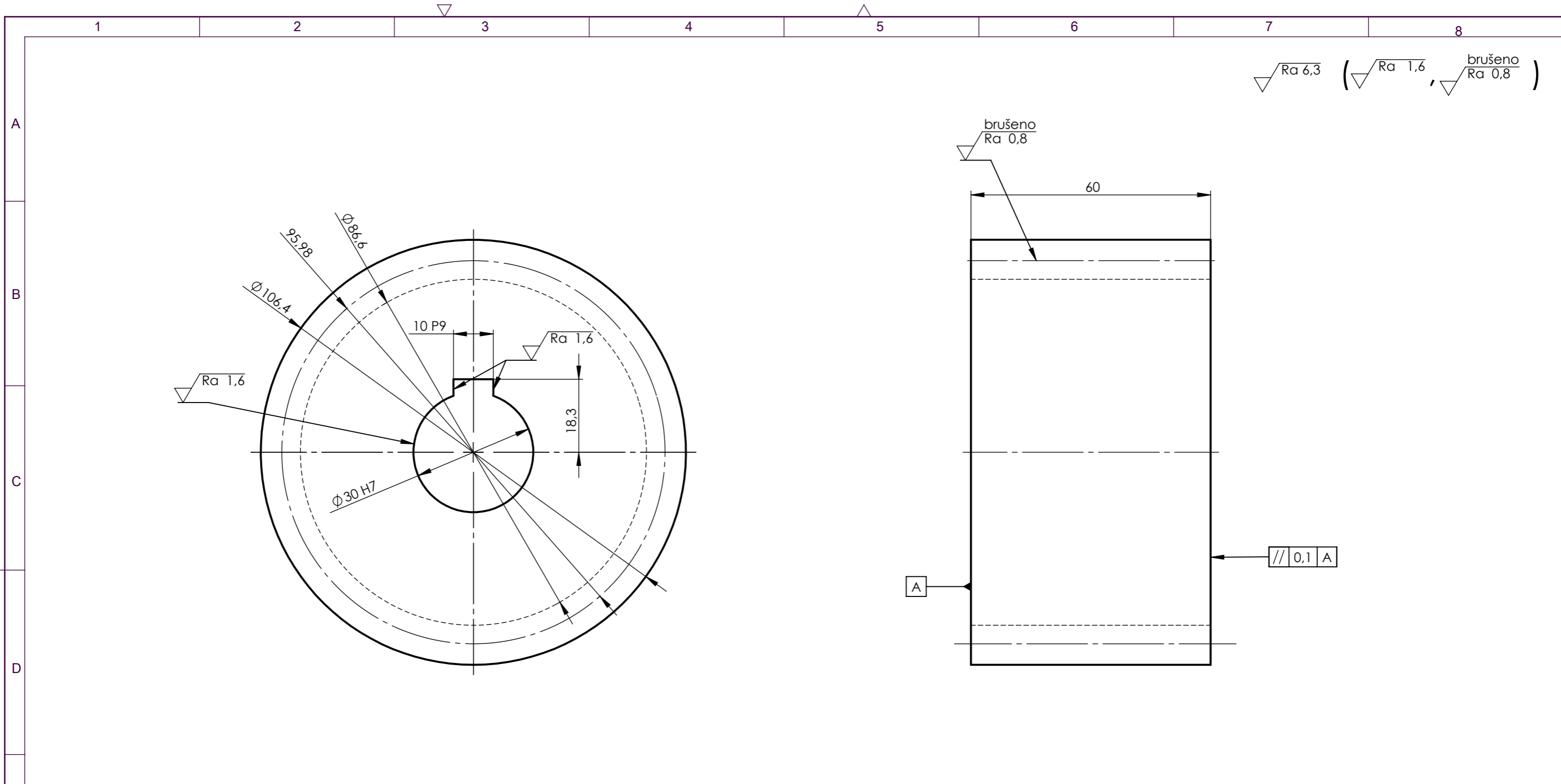




| | | | | | |
|----------------------|------------------|---|-----------------------|---------------------|--|
| Broj naziva - code | Projektirao | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| | Razradio | | Domink Gabelica | | |
| | Crtao | | Domink Gabelica | | |
| | Pregledao | | Dr. sc. Dragan Žeželj | | |
| | Mentor | | Dr. sc. Dragan Žeželj | | |
| ISO - tolerancije | | Objekt: Preša za grožđe | | Objekt broj: | |
| $\varnothing 20\ k6$ | +0,015 +0,002 | | | R. N. broj: | |
| $\varnothing 30\ r6$ | +0,041 +0,028 | Napomena: Sve oštre bridove skositi 1x45° | | | |
| | | Materijal: S 355JR | | Masa: 0,94 kg | |
| | | | | Naziv: Vratilo | |
| | | Mjerilo originala | | Pozicija: 3 | |
| | | 1:1 | | Crtež broj: 2015-20 | |
| | | | | List: 1 | |



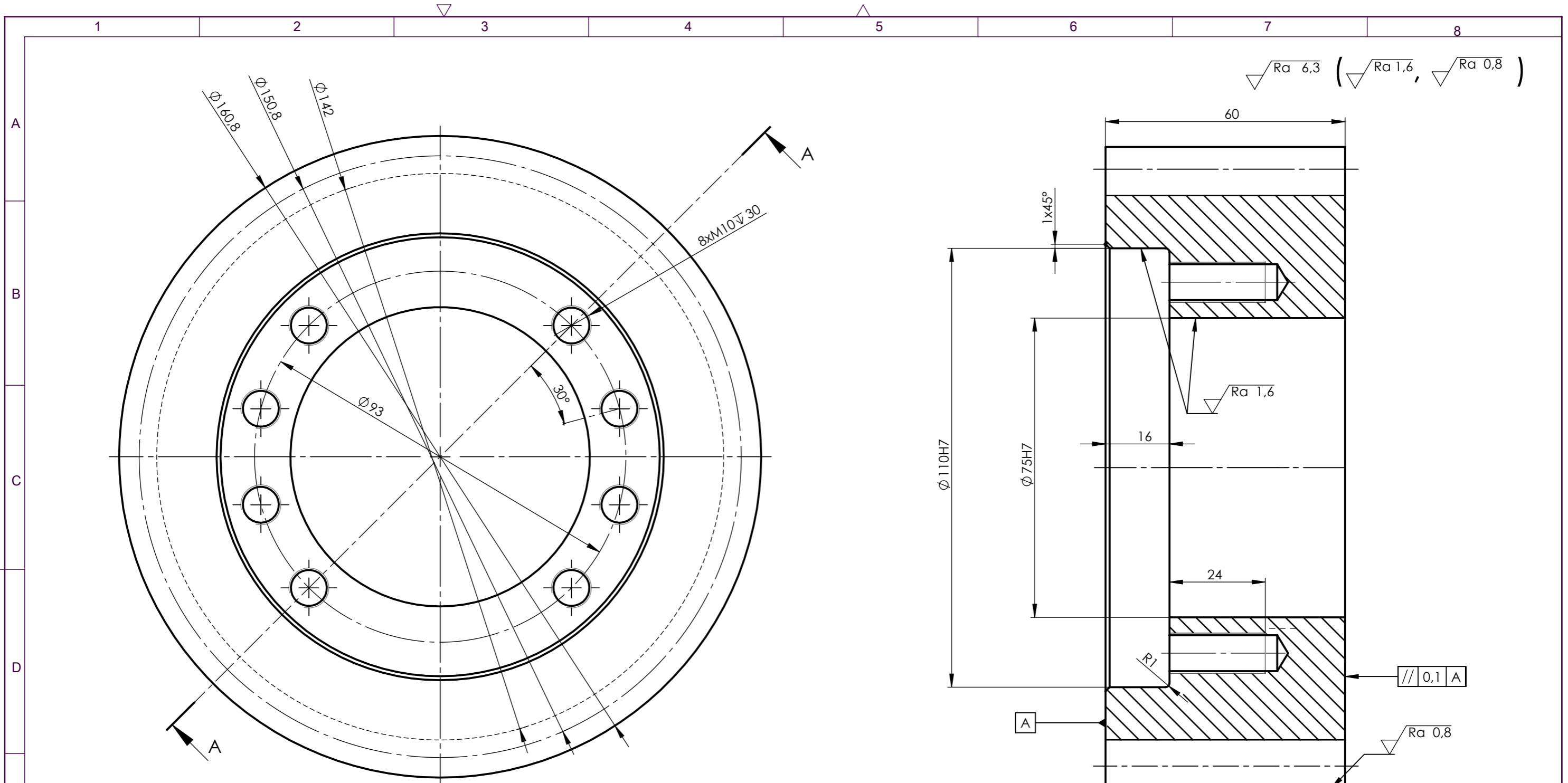
Design by CADLab



Propisana tablica za zupčanik Z1

| | | |
|----------------------------------|-----------------------------|---|
| Broj zuba | z1 | 23 |
| Modul | m | 4 mm |
| Standardni profil | - | HRN M.C1.015 |
| Promjer diobene kružnice | d1 | 92 mm |
| Pomak profila | x1m | 0,8 |
| Promjer tjemene kružnice | db1 | 86,6 mm |
| Kontrola; kvaliteta | - | S ⁺ 7ed4 HRN M.C1.031 |
| Mjerni broj zubi | zw | 1 |
| Mjera preko nekoliko zubi | $W \frac{A_{w,g}}{A_{w,d}}$ | 42,72 ^{-0,096} _{-0,144} mm |
| Promjer kinematske kružnice | dw1 | 95,98 mm |
| Broj kodeksa zupčanika u zahvatu | - | (Napomena: radi ispravnog sparivanja nakon obrade i kontrole) |
| Broj zubi zupčanika u zahvatu | z2 | 37 |
| Razmak osi vratila | a ± A _{a,g,d} | 125 ±0,032 mm |
| Kut zahvatne linije | α | 20° |
| Kružna zračnost | j | 0,314 mm |
| Broj okretaja | n1 | 99 min ⁻¹ |

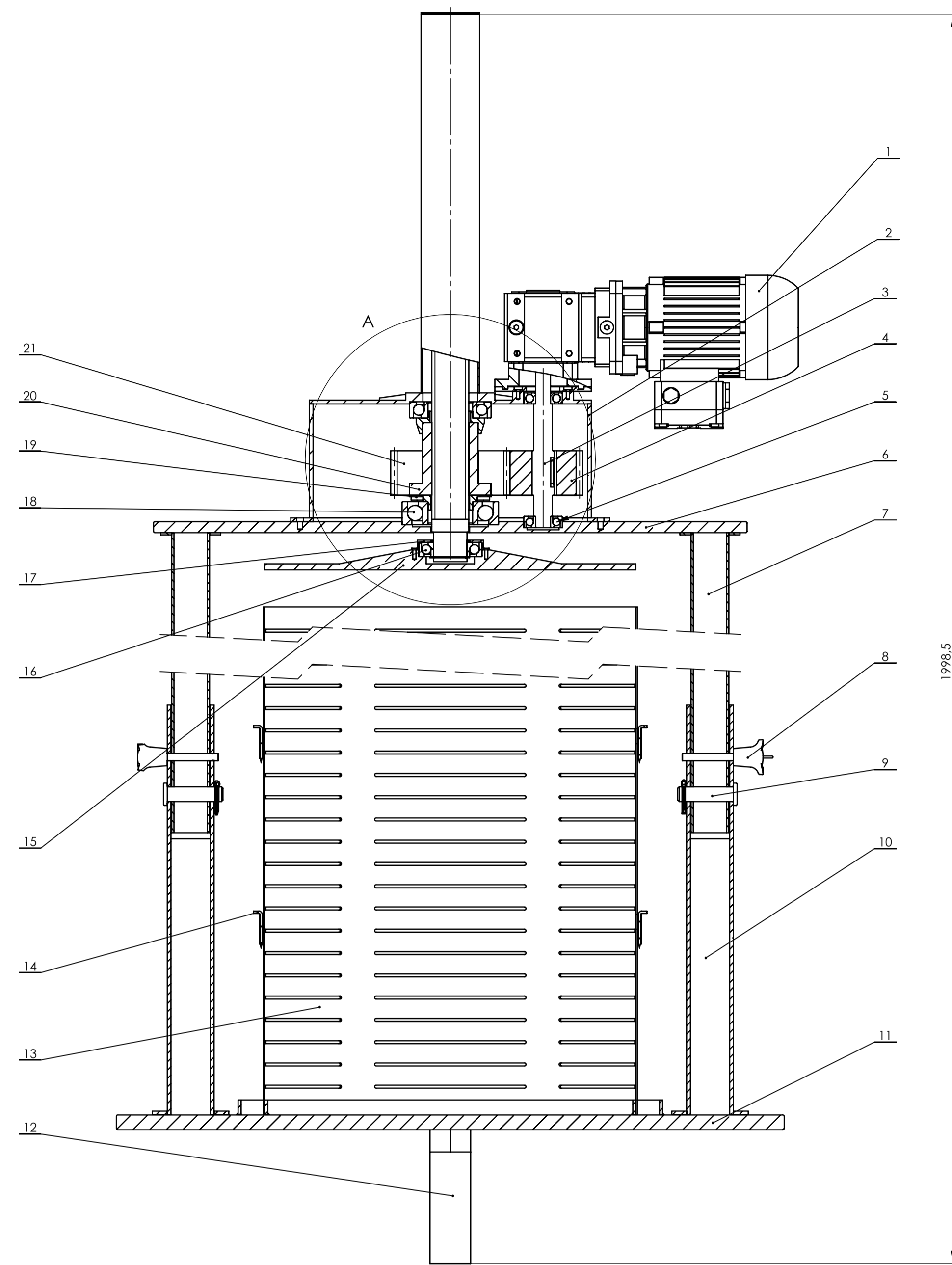
| | | | | | |
|--------------------|------------------|---|-----------------------|--------|--------------|
| Broj naziva - code | Projektirao | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| | Razradio | | Domink Gabelica | | |
| | Crtao | | Domink Gabelica | | |
| | Pregledao | | Dr. sc. Dragan Žeželj | | |
| | Mentor | | Dr. sc. Dragan Žeželj | | |
| ISO - tolerancije | | Objekt: | Preša za grožđe | | Objekt broj: |
| Ø 30 H7 | +0,021 +0,000 | | | | R. N. broj: |
| 10 P9 | -0,015 -0,051 | Napomena: Sve oštre bridove skositi 1x45° | | | Kopija |
| | | Materijal: E 295 | Masa: 3,7 kg | | |
| | | Naziv: | Zupčanik 1 | | Format: A3 |
| | | Mjerilo originala | 4 | | Listova: 1 |
| | | 1:1 | Crtež broj: 2015-21 | | List: 1 |



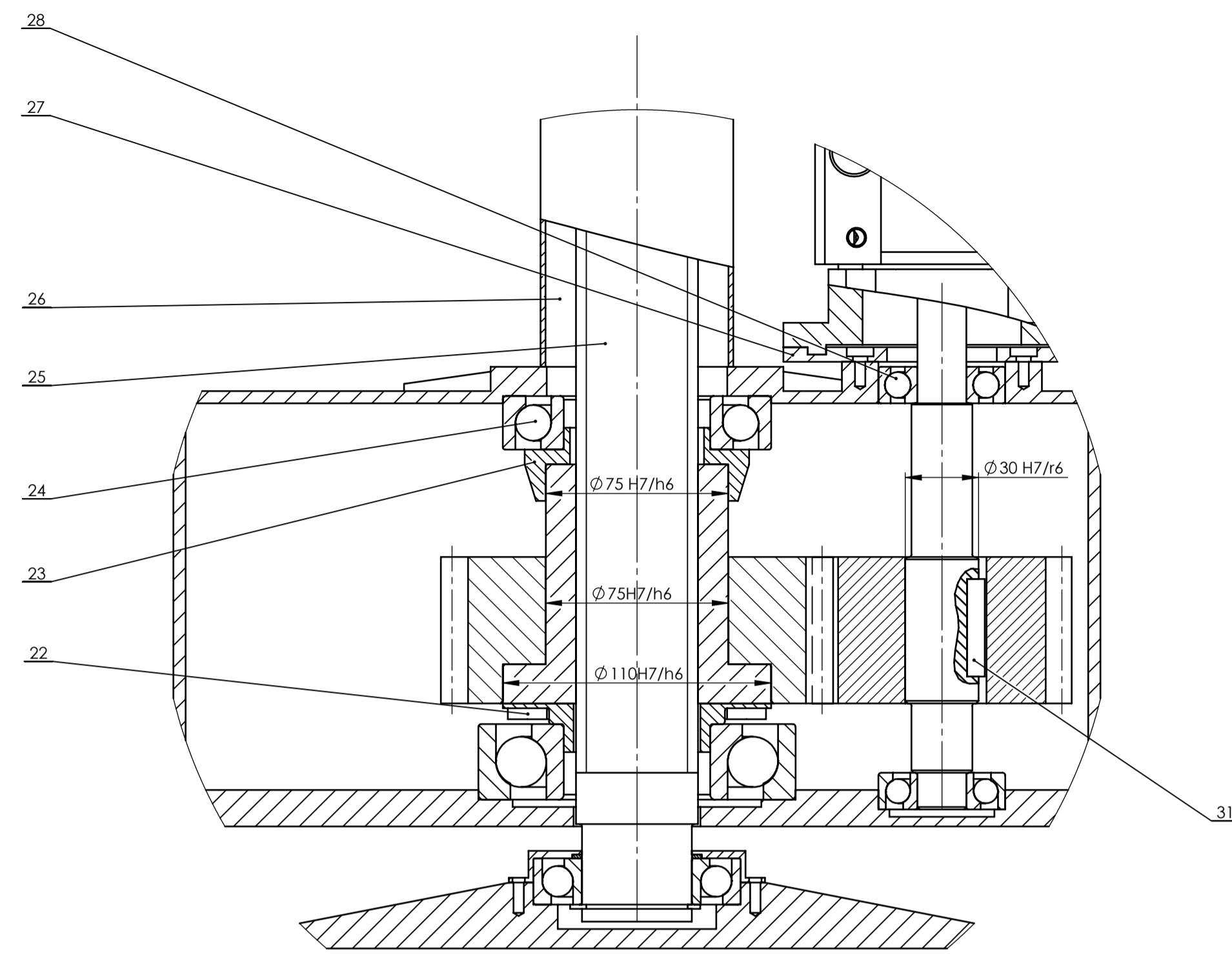
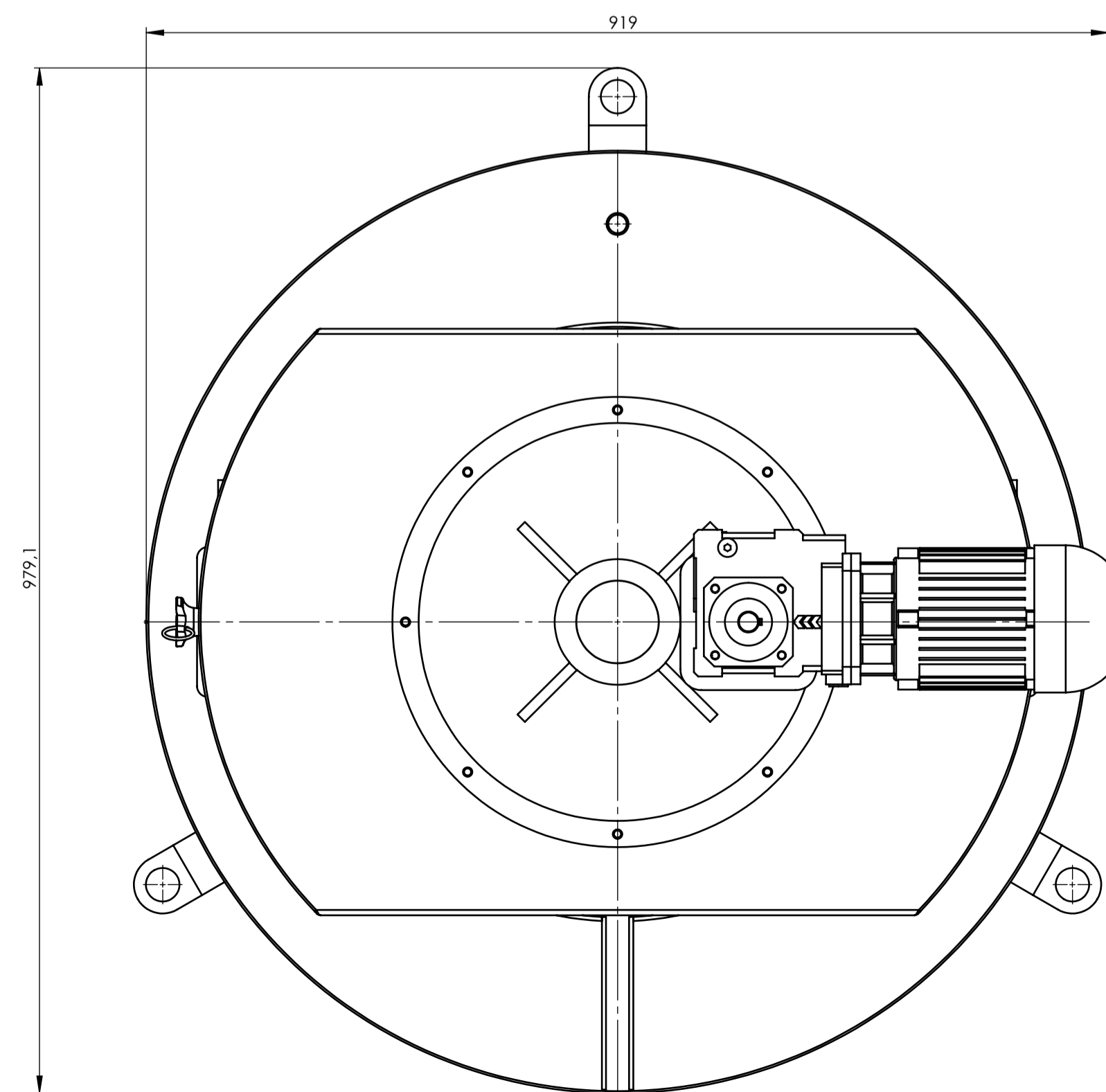
Propisana tablica za zupčanik Z2

| | | |
|----------------------------------|-----------------------------|---|
| Broj zuba | z2 | 37 |
| Modul | m | 4 mm |
| Standardni profil | - | HRN M.C1.015 |
| Promjer diobene kružnice | d2 | 148 mm |
| Pomak profila | x ₂ m | 0,6 |
| Promjer tjemene kružnice | d _{b2} | 139,07 mm |
| Kontrola; kvaliteta | - | S ⁺ 7ed4 HRN M.C1.031 |
| Mjerni broj zubi | z _w | 1 |
| Mjera preko nekoliko zubi | $W \frac{A_{w,g}}{A_{w,d}}$ | 8,03 ^{-0,150} _{-0,200} mm |
| Promjer kinematske kružnice | d _{w2} | 154,08 mm |
| Broj kodeksa zupčanika u zahvatu | - | (Napomena: radi ispravnog sparivanja nakon obrade i kontrole) |
| Broj zubi zupčanika u zahvatu | z1 | 23 |
| Razmak osi vratila | a ± A _{a,g,d} | 125 ± 0,032 mm |
| Kut zahvatne linije | α | 20° |
| Kružna zračnost | j | 0,314 mm |
| Broj okretaja | n2 | 60 min ⁻¹ |

| | | | | | |
|--------------------|------------------|---|-----------------------|--------------|--------------|
| Broj naziva - code | Projektirao | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| | Razradio | | Domink Gabelica | | |
| | Crtao | | Domink Gabelica | | |
| | Pregledao | | Dr. sc. Dragan Žeželj | | |
| | Mentor | | Dr. sc. Dragan Žeželj | | |
| ISO - tolerancije | | Objekt: | Preša za grožđe | | Objekt broj: |
| ∅ 30 H7 | +0,021 +0,000 | | | | R. N. broj: |
| 10 P9 | -0,015 -0,051 | Napomena: Sve oštre bridove skositi 1x45° | | | Kopija |
| | | Materijal: E 295 | Masa: 6,4 kg | | |
| | | Naziv: Zupčanik 2 | | Pozicija: 21 | Format: A3 |
| | | Mjerilo originala | | | Listova: 1 |
| | | 1:1 | Crtež broj: 2015-22 | | List: 1 |



1998,5



Detalj A
mjerilo 1 : 2

| Poz. | Broj naziva - code | Naziv dijela | Datum | Ime i prezime | Potpis | Materijal | Crtež broj Norme | Masa |
|------|--|--------------|----------|---------------|--------|------------------------------|------------------|-------|
| 31 | Pero | 1 | DIN 6885 | | | 10x8x40 | | |
| 30 | Vijak M3x8 | 4 | DIN 913 | | | Bene inox | | |
| 29 | Vijak M4x10 | 4 | DIN 6912 | | | Norelem | | |
| 28 | Ležaj 6304 | 1 | | | | SKF | | 0,02 |
| 27 | Prirubnica 3 | 1 | 2015-12 | S 355JR | | 130x130x6 | | 0,59 |
| 26 | Poklopac vretena | 1 | 2015-9 | E 360 | | $\varnothing 80 \times 512$ | | 1,9 |
| 25 | Kuglasto vreteno R50-106-4-F3C-DIN | 1 | | | | Hiwin | | 1,3 |
| 24 | Ležaj 7217 BEP | 1 | | | | SKF | | 0,12 |
| 23 | Distančnik 1 | 1 | 2015-1 | E 295 | | $\varnothing 92 \times 30$ | | 0,42 |
| 22 | Distančnik 2 | 1 | 2015-2 | E 295 | | $\varnothing 110 \times 7$ | | 0,12 |
| 21 | Zupčanik 2 | 1 | 2015-22 | E 290 | | $\varnothing 160 \times 60$ | | 6,4 |
| 20 | Matica kuglastog vretena R50-106-4-F3C-DIN | 1 | | | | Hiwin | | 0,28 |
| 19 | Vijak M10x35 | 8 | DIN 913 | | | Norelem | | 0,003 |
| 18 | Ležaj 7312 BEP | 1 | | | | SKF | | 0,26 |
| 17 | Poklopac pritisne ploče | 1 | 2015-8 | S 335JR | | $\varnothing 105 \times 13$ | | 0,18 |
| 16 | Ležaj 7290 BECBM | 1 | | | | SKF | | 0,06 |
| 15 | Pritisna ploča | 1 | 2015-18 | X5 CrNi18-10 | | $\varnothing 250 \times 30$ | | 13,3 |
| 14 | Zatik | 6 | DIN 7 | | | $\varnothing 3 \times 50$ | | 0,003 |
| 13 | Spremnik za grožđe | 2 | 2015-23 | X5 CrNi18-10 | | 250x1000 | | 11,2 |
| 12 | Noga | 3 | 2015-6 | E 295 | | 180x180x55 | | 3,2 |
| 11 | Postolje | 1 | 2015-17 | EN-GJL-200 | | $\varnothing 900 \times 25$ | | 138 |
| 10 | Donji nosač | 2 | 2015-15 | S 235JR G2 | | 550x160x63 | | 5,7 |
| 9 | Zatik | 2 | DIN 7 | | | $\varnothing 20 \times 80$ | | 0,02 |
| 8 | Zatik | 2 | DIN 7 | | | $\varnothing 10 \times 110$ | | 0,03 |
| 7 | Gornji nosač | 2 | 2015-7 | S 235JR G2 | | 51x51x720 | | 3,3 |
| 6 | Gornje postolje | 1 | 2015-13 | E 360 | | 800x560x15 | | 46,5 |
| 5 | Ležaj 7304 BEGAP | 1 | | | | SKF | | 0,02 |
| 4 | Zupčanik 1 | 1 | 2015-21 | C45 | | 400x200x150 | | 3,7 |
| 3 | Vratilo | 1 | 2015-20 | S 335JR | | $\varnothing 30 \times 270$ | | 0,93 |
| 2 | Kučičte | 1 | 2015-14 | E 360 | | $\varnothing 430 \times 175$ | | 13,4 |
| 1 | Elektromotor | 1 | | | | 400x200x150 | | 20 |

| Broj naziva - code | Datum | Ime i prezime | Potpis |
|--------------------|-------|-----------------------|--------|
| Projektirao | | Dominik Gabelica | |
| Razradio | | Dominik Gabelica | |
| Crtao | | Dominik Gabelica | |
| Pregledao | | Dr. sc. Dragan Žeželj | |
| Mentor | | Dr. sc. Dragan Žeželj | |

ISO -tolerancije
 $\varnothing 110 H7/h6$ +0,057
 $\varnothing 30 H7/r6$ -0,009
 $\varnothing 75 H7/h6$ +0,049

Objekt: Preša za grožđe
 Napomena:
 Materijal: Masa: 250 kg
 Naziv: Sklop
 Mjerilo originala: 1:5
 Crtež broj: 2015-24

Objekt broj: R. N. broj:
 Kopija
 Pozicija: Format: A1
 Listova: 1
 List: 1