

Izmjenjivi sustav za prihvat motora s unutarnjim izgaranjem

Dorotić, David

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:075421>

Rights / Prava: [Attribution-ShareAlike 4.0 International / Imenovanje-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-31**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

David Dorotić

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Petar Ilinčić

Student:

David Dorotić

Zagreb, 2024.

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

Zahvaljujem se svom mentoru profesor Petru Ilinčiću na ukazanom strpljenju i danoj pomoći i korisnim savjetima prilikom pisanja rada, te svojoj obitelji, pogotovo roditeljima, i djevojci na podršci tokom studiranja i izrade ovog rada.

David Dorotić



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 / 24 – 06 / 1 | |
| Ur.broj: 15 – 24 – | |

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **David Dorotić**

JMBAG: **0035225349**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Izmjenjivi sustav za prihvat motora s unutarnjim izgaranjem**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Interchangeable internal combustion engine mounting system**

Opis zadatka:

Ispitivanja motora s unutarnjim izgaranjem uobičajeno se provode u posebno opremljenim ispitnim kabinama. Osim kočnice za mjerenje snage i različite mjerene opreme, u posebnu opremu ispitne kabine spada i sustav prihvata ispitnog motora na ispitni postav. Prihvat ispitnog motora može biti izveden kao fiksni dio ispitnog postava na koji se motor postavlja u ispitnoj kabini ili može biti izveden kao izmjenjivi sustav na kolicima. Glavna prednost izmjenjivog sustava na kolicima je mogućnost ugradnje i pripreme motora za ispitivanje van ispitne kabine što omogućuje veću iskoristivost same ispitne kabine i smanjenje troškova ispitivanja. Za ispitni postav za ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem snage do 450 kW potrebno je osmisлити izmjenjivi sustav na kolicima koji omogućuje prihvat motora te španjanje motora na sve potrebne medije kao što su gorivo, rashladna tekućina, ulje. Izmjenjivi sustav za prihvat motora mora biti konstruiran na način da omogućuje prihvat različitih konfiguracija motora s unutarnjim izgaranjem i njihovo brzo i jednostavno pozicioniranje u odnosu na kočnicu za mjerenje snage odnosno ispitni postav.

U sklopu rada potrebno je:

- utvrditi zahtjeve i ograničenja koji se postavljaju na izmjenjivi sustav za prihvat motora obzirom na različite konfiguracije i dimenzije motora s unutarnjim izgaranjem snage od 150 do 450 kW;
- predložiti nekoliko različitih koncepata izmjenjivog sustava za prihvat motora;
- utvrditi kriterije za vrednovanje koncepata te odabrati najpogodniji koncept;
- pri vrednovanju koncepata posebnu pozornost treba posvetiti mogućnosti nabave odabranih sklopova kao i njihovoj cijeni;
- konstrukcijski razraditi odabrani koncept, a konstrukcijsku razradu popratiti skicama, proračunima i odgovarajućim analizama;
- izraditi tehničku dokumentaciju odabranog koncepta izmjenjivog sustava za prihvat motora.

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

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predvideni datumi obrane:

30. 11. 2023.

1. rok: 22. i 23. 2. 2024.
2. rok (izvanredni): 11. 7. 2024.
3. rok: 19. i 20. 9. 2024.

1. rok: 26. 2. – 1. 3. 2024.
2. rok (izvanredni): 15. 7. 2024.
3. rok: 23. 9. – 27. 9. 2024.

Zadatak zadao: *Petar Ilinčić*
Izv. prof. dr. sc. Petar Ilinčić

Predsjednik Povjerenstva:
V Soldo
Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

| | |
|---|-----|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA..... | V |
| POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE | VI |
| POPIS OZNAKA | VII |
| SAŽETAK..... | IX |
| SUMMARY | X |
| 1. Uvod..... | 1 |
| 2. Pregled postojećih rješenja..... | 4 |
| 3. Zahtjevi i ograničenja prihvata motora | 8 |
| 4. Koncipiranje izmjenjivog sustava za prihvata motora..... | 12 |
| 4.1. Koncept 1 | 12 |
| 4.2. Koncept 2 | 13 |
| 4.3. Koncept 3 | 14 |
| 5. Vrednovanje koncepata | 15 |
| 5.1. Kriteriji | 15 |
| 5.1.1. Cijena | 15 |
| 5.1.2. Jednostavnost proizvodnje | 15 |
| 5.1.3. Jednostavnost i raspon prilagodbe | 15 |
| 5.1.4. Dimenzije | 15 |
| 5.2. Ocjenjivanje koncepata | 15 |
| 5.3. Odabrani koncept | 16 |
| 6. Konstrukcijska razrada..... | 17 |
| 6.1. Prihvata motora | 18 |
| 6.1.1. Prirubnica | 18 |
| 6.1.2. Nosač..... | 19 |
| 6.2. Nosiva konstrukcija..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 6.3. Ručka..... | 21 |
| 6.4. Kotači | 23 |
| 6.5. Spajanje na medije | 24 |
| 6.6. Osiguranje pozicije i osiguranje od pomicanja | 26 |
| 7. Proračun | 27 |
| 7.1. Proračun kotača | 27 |
| 7.1.1. Slučaj $x_n = 550$ | 29 |
| 7.1.2. Slučaj $x_n = 728,3$ | 29 |
| 7.1.3. Slučaj $x_n = 993,4$ | 29 |
| 7.1.4. Slučaj $x_n = 1002,5$ | 30 |
| 7.1.5. Slučaj $x_n = 1450$ | 30 |
| 7.1.6. Proračunska sila na kotaču | 30 |
| 7.2. Proračun nosača..... | 31 |
| 7.2.1. Proračun čvrstoće nosača | 33 |
| 7.2.2. Proračun izvijanja nosača | 34 |
| 7.3. Proračun nosive konstrukcije | 35 |
| 7.3.1. Proračun poprečne grede..... | 35 |
| 7.3.2. Proračun bočne grede | 37 |
| 8. Zaključak..... | 41 |
| Literatura | 42 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1.1 Ispitivanje na kočnici [1]..... | 1 |
| Slika 2.1 Kolica za prihvat motora [2] | 4 |
| Slika 2.2 Kolica za prihvat motora [3] | 5 |
| Slika 2.3 Kolica za prihvat motora [3] | 5 |
| Slika 2.4 Paletni sustav za serijsko testiranje motora [4]..... | 6 |
| Slika 2.5 Kolica [5] | 7 |
| Slika 2.6 Sustav za poravnavanje [5] | 7 |
| Slika 3.1 Mercedes OM934 [6] | 8 |
| Slika 3.2 Mercedes OM 936 [6] | 9 |
| Slika 3.3 Scania DC13 [7]..... | 9 |
| Slika 3.4 Scania DC13 [7]..... | 10 |
| Slika 3.5 Scania DC16 [8]..... | 10 |
| Slika 3.6 Scania DC16 [8]..... | 10 |
| Slika 4.1 Koncept 1 | 12 |
| Slika 4.2 Koncept 2 | 13 |
| Slika 4.3 Koncept 3 | 14 |
| Slika 6.1 Kolica..... | 17 |
| Slika 6.2 Sklop nosača | 18 |
| Slika 6.3 Prirubnica..... | 19 |
| Slika 6.4 Vreteno..... | 20 |
| Slika 6.5 Matica..... | 20 |
| Slika 6.6 Nosiva konstrukcija..... | 21 |
| Slika 6.7 Ručka | 22 |
| Slika 6.8 Spoj ručke s nosačem..... | 22 |

| | |
|--|----|
| Slika 6.9 Blickle BS-GB 252K-FS [11] | 23 |
| Slika 6.10 Blickle LS-GB 252K-ST-FS [12] | 24 |
| Slika 6.11 Hansa-Flex SKS 06 IR 1 FS [13] | 25 |
| Slika 6.12 Hansa-Flex SKS 40 IR 7 FS [14] | 25 |
| Slika 6.13 Klin za pozicioniranje | 26 |
| Slika 6.14 Vodilica kotača | 26 |
| Slika 6.15 Sustav zabavljanja | 26 |
| Slika 7.1 Proračun kotača | 27 |
| Slika 7.2 Skica nosača | 31 |
| Slika 7.3 Poprečna greda | 35 |
| Slika 7.4 Presjek poprečne grede | 36 |
| Slika 7.5 Bočna greda | 37 |
| Slika 7.6 Poprečni presjek bočne grede | 38 |
| Slika 7.7 Poprečni presjek za torzijsko naprezanje | 39 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 5.1 Ocjenjivanje koncepata | 16 |
| Tablica 6.1 Fiksni kotači [11] | 23 |
| Tablica 6.2 Okretni kotači [12] | 24 |
| Tablica 6.3 Spojnice za gorivo [13] | 25 |
| Tablica 6.4 Spojnice za ulje i rashladnu tekućinu [14] | 25 |
| Tablica 7.1 Podaci motora [7] | 27 |
| Tablica 7.2 Dimenzije kolica | 27 |
| Tablica 7.3 Opterećenja nosača..... | 32 |
| Tablica 7.4 Dimenzije vretena | 33 |
| Tablica 7.5 Najveća naprezanja nosača..... | 33 |
| Tablica 7.6 Karakteristike presjeka poprečne grede | 35 |
| Tablica 7.7 Karakteristike poprečnog presjeka bočne grede..... | 38 |

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

| BROJ CRTEŽA | Naziv iz sastavnice |
|--------------------|----------------------------|
| ZR-DD-S-1 | Kolica |
| ZR-DD-S-2 | Sklop nosive konstrukcije |
| ZR-DD-S-3 | Poprečni nosač |
| ZR-DD-S-4 | Sklop matice |
| ZR-DD-R-1 | Vreteno |
| ZR-DD-R-2 | Matica |
| ZR-DD-R-3 | Prirubnica |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|------------------|------------------|---|
| A_0 | mm ² | Proračunska površina presjeka |
| A_j | mm ² | Površina jezgre navoja |
| a_i | mm | Krak sile i |
| c_v | kJ/(kg K) | Toplinski kapacitet vode |
| c_u | kJ/(kg K) | Toplinski kapacitet motornog ulja |
| d | mm | Promjer |
| F_i | N | Sila reakcije na podlogu |
| F_{ko} | N | Proračunsko opterećenje kotača |
| F_n | N | Normalna sila |
| g | m/s ² | Gravitacijska konstanta |
| $\Delta h_{d,d}$ | MJ/kg | Donja ogrjevna vrijednost Diesel goriva |
| I_i | mm ⁴ | Moment tromosti presjeka oko osi i |
| i | mm | Polumjer tromosti vretena |
| l_k | mm | Proračunska duljina kolica |
| l_v | mm | Duljina vretena |
| l_{v0} | mm | Slobodna duljina izvijanja vretena |
| M_{si} | Nm | Moment savijanja i |
| m_m | kg | Masa motora |
| m_l | kg | Duljinska masa |
| P_{max} | kW | Najveća snaga motora |
| $q_{v,g}$ | L/min | Protok goriva |
| $q_{v,h}$ | L/min | Protok vode |
| $q_{v,u}$ | L/min | Protok motornog ulja |

| | | |
|--------------|-------------------|--|
| R_e | MPa | Granica tečenja |
| s_k | mm | Proračunska širina kolica |
| S_{post} | | Postojeći faktor sigurnosti |
| S_{potr} | | Potrebni faktor sigurnosti |
| T_m | Nm | Najveći okretni moment motora |
| ΔT | K | Promjena temperature |
| t | mm | Debljina stijenke |
| W_i | mm ³ | Moment otpora presjeka oko osi i |
| x_k | mm | Položaj težišta kolica |
| x_m | mm | Položaj težišta motora |
| x_{ni} | mm | Položaj težišta nosača i |
| λ | | Faktor vitkosti vretena |
| η_{max} | | Efikasnost motora pri najvećoj snazi |
| ρ_d | kg/m ³ | Gustoća Diesel goriva |
| ρ_v | kg/m ³ | Gustoća vode |
| ρ_U | kg/m ³ | Gustoća motornog ulja |
| σ | MPa | Ekvivalentno naprezanje |
| σ_i | MPa | Naprezanje |
| σ_k | MPa | Kritično naprezanje vretena za izvijanje |
| τ | MPa | Posmično naprezanje |
| τ_t | MPa | Torzijsko naprezanje |

SAŽETAK

U sklopu rada predstavljeno je nekoliko različitih rješenja izmjenjivog sustava za prihvat motora s unutarnjim izgaranjem za ispitivanje motora na kočnici za mjerenje snage te nekoliko primjera motora kakve taj sustav mora prihvatiti. Radi postavljanja uvjeta za sustav za prihvat motora prikupljeni su podaci o snazi, dimenzijama i masi nekoliko primjera motora. Na temelju uvjeta predloženo je nekoliko koncepata koji bi se mogli primijeniti za prihvat motora. Definirani su kriteriji za vrednovanje tih koncepata i po njima je odabran koncept za daljnju konstrukcijsku razradu. Odabran je sustav u obliku kolica izrađen od pločastih profila. Taj je koncept pomno razrađen te je napravljena tehnička dokumentacija.

Ključne riječi: kočnica za mjerenje snage, ispitivanje motora, kolica za prihvat motora

SUMMARY

This thesis presents various solutions for an interchangeable internal combustion engine mounting system, used for testing the engines on a dynamometer, as well as several examples of engines that the system has to accommodate. In order to establish the requirements for the engine mounting system, data on power, dimensions, and weight of the engine examples were collected. Based on these requirements, several applicable concepts were proposed. The criteria for evaluating these concepts were defined and used to select a concept for further development. The selected concept is in the form of a cart made from steel sheets. The concept was thoroughly developed and technical documentation was created.

Key words: dynamometer, engine testing, engine mounting cart

1. Uvod

Ispitivanja motora s unutarnjim izgaranjem u ispitnim laboratorijima nezaobilazan su dio procesa razvoja motora i homologacijskih ispitivanja koja su preduvjet stavljanja motora na tržište. Ispitivanja motora u razvojnoj fazi omogućuju optimiranje procesa izgaranja i rada motora, ali i prilagođavanje različitih postavki sustava ubrizgavanja goriva, paljenja, sustava upravljanja radom ventila, sustava za recirkulaciju ispušnih plinova, sustava za hlađenje i sustava prednabijanja radi postizanja željenih ciljeva koji mogu biti čim bolje vršne performanse motora ili prilagođavanje karakteristika motora određenim radnim uvjetima kao što su gradski ili međugradski prijevoz putnika ili tereta ili uporaba motora za pogon brodova. Također, ispitivanjima se određuje kako promjena nekog od podsustava ili neke karakteristike motora utječe na ponašanje cijelog motora odnosno kako pojedina komponenta ili radni parametar utječu na ponašanje i životni vijek samog motora. Za zadovoljavanje propisanih graničnih vrijednosti emisija štetnih tvari u laboratorijskim uvjetima ispituju se motori te sustavi za nakandnu obradu ispušnih plinova. Slika 1.1 prikazuje ispitivanje emisija ispušnih plinova u laboratorijskim uvjetima.



Slika 1.1 Ispitivanje na kočnici [1]

Kočnica za mjerenje snage motora jedan je od ključnih alata za ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem u laboratorijskim uvjetima. Glavna namjena kočnice je opterećivanje motora u

radom području te mjerenje okretnog momenta i brzine vrtnje motora pri određenom opterećenju. Kočnice za ispitivanje motora mogu biti izvedene kao hidrauličke kočnice, kočnice na vrtložne struje ili električne kočnice.

Korištenjem kočnice mogu se provoditi ispitivanja dugotrajnosti i pouzdanosti motora, bez da se oni koriste u stvarnom pogonu, na cesti. Motor se može priključiti na kočnicu i pomoću nje se simulirati opterećenja koja bi se javljala u svakodnevnom prometu ili se motor može izložiti dugotrajnim povišenim opterećenjima kako bi se testirala pouzdanost u svakodnevnim ili kritičnim uvjetima upotrebe.

Kočnica za mjerenje snage motora također se upotrebljava pri mjerenju emisija ispušnih plinova motora, kako bi se tijekom razvoja osiguravalo poštivanje propisanih normi vezanih za emisije CO₂ odnosno normi kojima su propisane granične vrijednosti emisija štetnih tvari u ispušnim plinovima. Korištenjem kočnice mogu se izmjeriti emisije u različitim uvjetima rada motora te odrediti ako je potrebna ugradnja nekog od sustava za naknadnu obradu ispušnih plinova ili promjena karakteristika podsustava motora kako bi se osiguralo poštivanje propisanih vrijednosti.

U ispitnim laboratorijima, kočnica za mjerenje snage ključna je za razvoj novih motora, optimizaciju performansi postojećih i osiguranje da motori ispunjavaju standarde sigurnosti i emisija. Osim kočnice za provedbu ispitivanja potrebni su i drugi sustavi kao što su mjerni sustavi za različita mjerenja poput temperatura, tlakova, protoka, ventilacijski sustav, sustav za kondicioniranje zraka za izgaranje, odvodnju ispušnih plinova te sustavi za kondicioniranje rashladne tekućine, ulja, goriva. Uz navedene sustave, u posebnu opremu ispitne kabine spada i sustav prihvata ispitnog motora na ispitni postav. Prihvat ispitnog motora može biti izveden kao fiksni dio ispitnog postava na koji se motor postavlja u ispitnoj kabini ili može biti izveden kao izmjenjivi sustav na kolicima.

Izmjenjivi sustav za prihvat motora ima ključnu ulogu u olakšavanju testiranja motora s unutarnjim izgaranjem na kočnici. Glavna prednost ovog sustava je smanjenje vremena potrebnog za izmjenu motora tijekom ispitivanja. Bez ovog sustava postupak izmjene motora je dugotrajan jer je potrebno od spojiti i skinuti jedan motor s kočnice, iznijeti ga iz kabine u kojoj se ona nalazi te unijeti drugi i spojiti ga, a za to vrijeme kočnica nije u upotrebi. Izmjenjivi sustav omogućava pripremu drugog motora dok se prvi još testira te njihovu jednostavnu zamjenu kad je prvi gotov s testiranjem. Također omogućava brže ukapčanje motora na sve

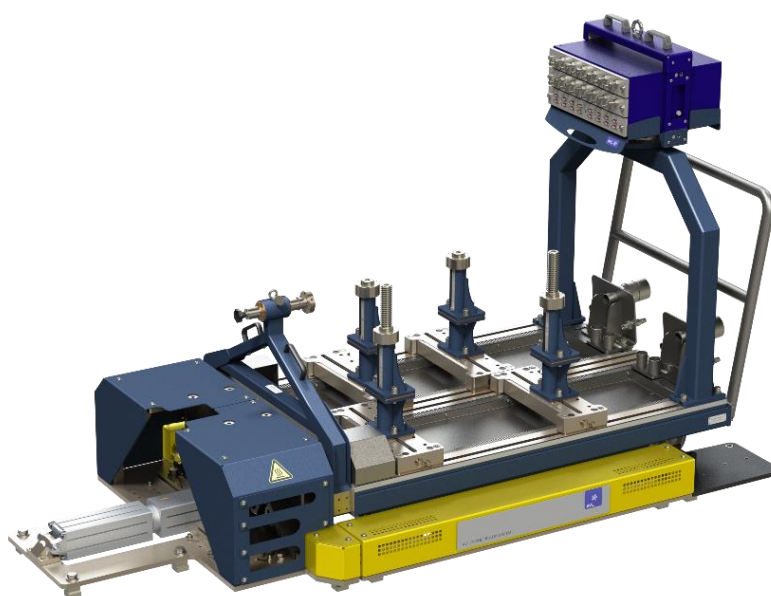
potrebne sustave, poput opskrbe gorivom, rashladnom tekućinom i sl., jer je način spajanja kočnica-izmjenjivi sustav standardiziran pa kočnicu nije potrebno prilagođavati svakom motoru posebno, već se to radi na izmjenjivom sustavu. On također olakšava prilagodbu motora ako je na njemu potrebno izvršiti neku promjenu koja je zbog prostora ili sigurnosti neizvediva u ispitnoj kabini. Pomoću izmjenjivog sustava motor se može znatno brže ukloniti iz kabine da na njemu bude izvedena potrebna preinaka.

Izmjenjivi sustav prihvata motora olakšava poravnavanje izlaza snage motora i vratila kočnice te priključivanje motora na kočnicu i time smanjuje rizik za slučajnim oštećenjem testne opreme prilikom postavljanja ili od ozlijede korisnika kočnice prilikom manipulacije motorom. Također povećava točnost mjerenja jer omogućava uvijek isti položaj u odnosu na mjernu opremu i senzore. Sve navedene prednosti izmjenjivog sustava za prihvata motora također smanjuju troškove provođenja samog testiranja.

2. Pregled postojećih rješenja

Na tržištu postoje gotova rješenja izmjenjivog sustava za prihvat motora, najčešće od proizvođača samih kočnica za ispitivanje motora. Ti su sustavi zato prilagođeni spajanju na određene modele kočnica samih proizvođača.

Slika 2.1 prikazuje rješenje izmjenjivog sustava za prihvat motora tvrtke AVL. Ta kolica omogućuju podešavanje položaja i visine nosača motora te spajanje svih senzora s motora na sustav prikupljanja podataka koji je integriran na sama kolica.

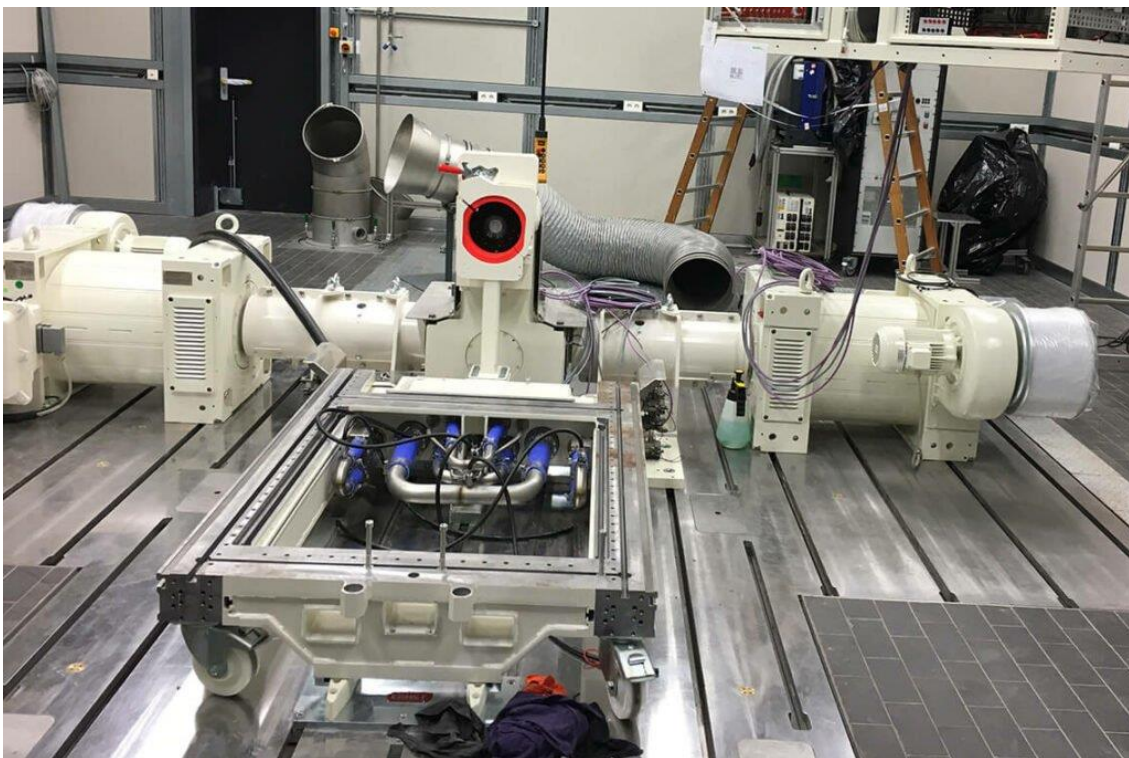


Slika 2.1 Kolica za prihvat motora [2]

Slika 2.2 prikazuje sustav tvrtke ERNST sa montiranim motorom, a slika 2.3 prikazuje sličan sustav bez motora. Ti sustavi omogućuju spajanje tekućih medija s motora na sustav te sa sustava na sustav kočnice. Imaju nosive konstrukcije sa prihvatima za različite nosače motora, senzora ili priključaka, ali su cijeli nosači izmjenjivi dio koji je potrebno prilagoditi svakom motoru koji se ispituje.



Slika 2.2 Kolica za prihvat motora [3]



Slika 2.3 Kolica za prihvat motora [3]

Slika 2.4 prikazuje izmjenjivi sustav prihvata motora tvrtke ACS smješten na tračnice koji se koristi za završno testiranje motora u serijskoj proizvodnji. Dio je potpuno automatiziranog sustava za testiranje motora koji omogućava da svaki motor provede samo 12 minuta u ispitnoj kabini.

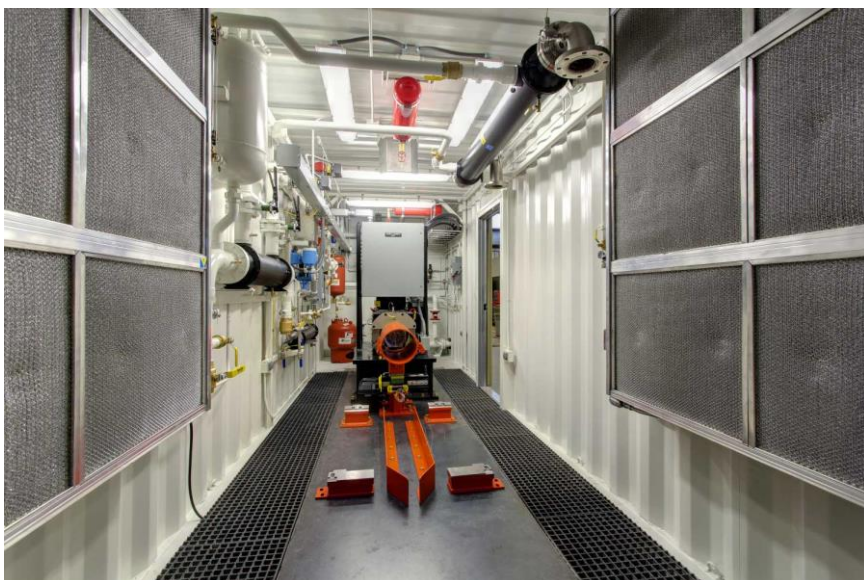


Slika 2.4 Paletni sustav za serijsko testiranje motora [4]

Slike 2.5 i 2.6 prikazuju kolica i sustav poravnavanja kolica s kočnicom unutar ispitne kabine tvrtke ACS. Sustav poravnavanja nužan je da bi se izlaz snage s motora mogao točno spojiti s prihvatom snage na kočnici.



Slika 2.5 Kolica [5]



Slika 2.6 Sustav za poravnavanje [5]

3. Zahtjevi i ograničenja prihvata motora

Izmjenjivi sustav na kolicima mora moći prihvatiti motore za teška teretna vozila snage od 150 do 450 kW. Mora omogućiti prilagođavanje dimenzijama kamionskih motora različitih veličina, poravnavanje izlaza snage s motora s ulazom snage na kočnicu te prijevoz motora. Također mora omogućiti spajanje na sustave opskrbe gorivom, sustav hlađenja i na sustav za tretiranje ulja.

Kamionski su motori uobičajeno četverotaktni Diesellovi motori. Javljaju se najčešće u konfiguracijama redni četverocilindarski i redni šesterocilindarski te rjeđe V8 motor. Zbog različnih namjena svojim dimenzijama mogu jako varirati, iako spadaju u zadani raspon snage. Pregled nekih motora s dimenzijama dan je na slikama 3.1 do 3.6.

OM 934

Arrangement: In-line 4
Displacement: 5.1 l



Weight and dimensions*

| | | |
|---|--------|--|
| Weight | | |
| DIN 70020 - GZ 495 kg (single stage charger) DIN 70020 - GZ 510 kg (dual stage chargers) | | |
| Dimensions | | |
| A - length | 810 mm | |
| B - width (excl. charge air pipe) | 680 mm | |
| C - height | 900 mm | |
| * depending on equipment installed | | |

Rated power and maximal torque

| | | | | | |
|-----------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Rated power | [kW/hp] | 115/156 | 130/177 | 155/211 | 170/231 |
| at engine speed | [rpm] | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 |
| Maximal torque | [Nm] | 650 | 750 | 850 | 900 |
| at engine speed | [rpm] | 1200-1600 | 1200-1600 | 1200-1600 | 1200-1800 |

Slika 3.1 Mercedes OM934 [6]

OM 936

Arrangement: In-line 6
Displacement: 7.7 l



Weight and dimensions*

| | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|--|
| Weight | | |
| DIN 70020 - GZ | 652 kg (single stage charger) | |
| DIN 70020 - GZ | 666 kg (dual stage chargers) | |
| Dimensions | | |
| A - length | 1057 mm | |
| B - width (excl. charge air pipe) | 680 mm | |
| C - height | 910 mm | |
| * depending on equipment installed | | |

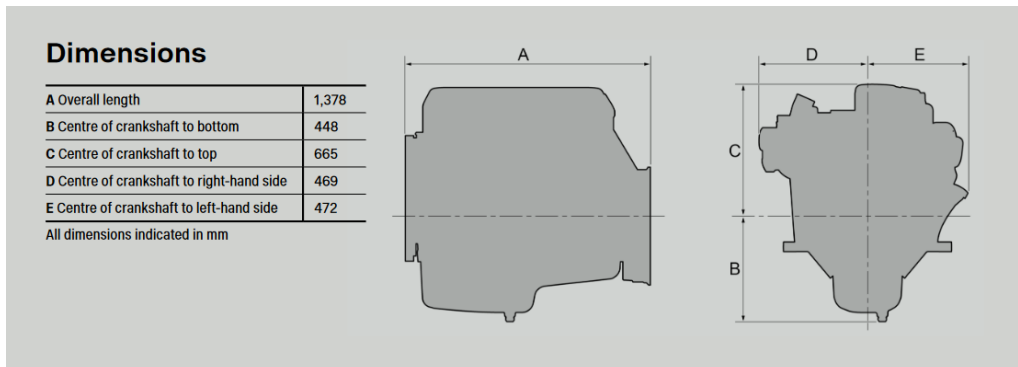
Rated power and maximal torque

| Rated power | [kW/hp] | 175/238 | 200/272 | 220/299 | 235/320 | 260/354 |
|-----------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| at engine speed | [rpm] | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 |
| Maximal torque | [Nm] | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 |
| at engine speed | [rpm] | 1200-1600 | 1200-1600 | 1200-1600 | 1200-1600 | 1200-1800 |

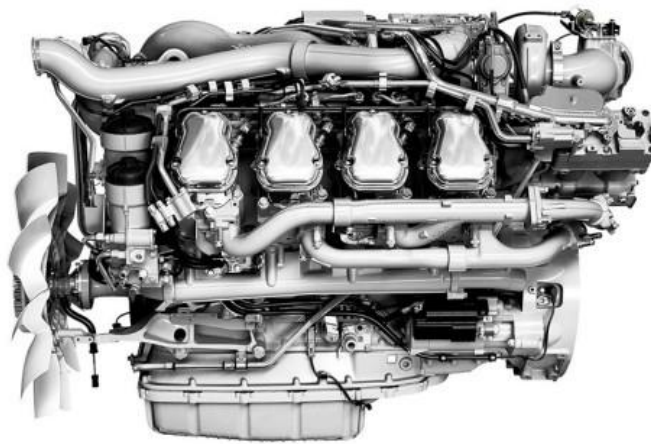
Slika 3.2 Mercedes OM 936 [6]



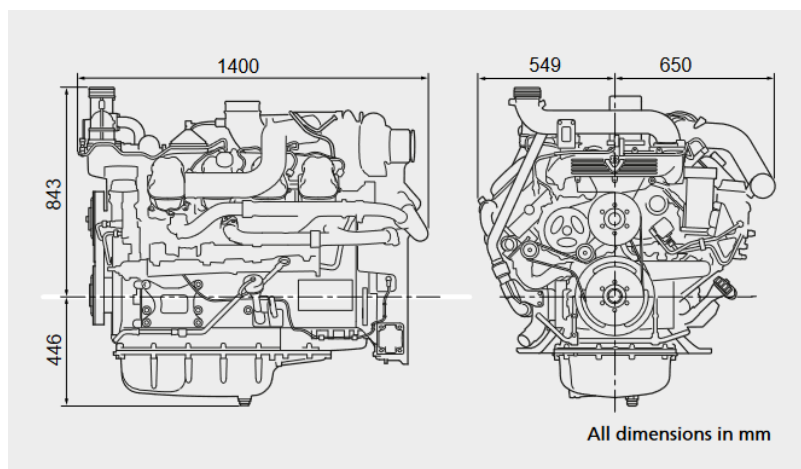
Slika 3.3 Scania DC13 [7]



Slika 3.4 Scania DC13 [7]



Slika 3.5 Scania DC16 [8]



Slika 3.6 Scania DC16 [8]

Izmjenjivi sustav za prihvat motora dimenzioniran je prema motoru Scania DC16 čije su karakteristike navedene u tablici 7.1.

Za opskrbu motora gorivom, rashladnom tekućinom i spajanje na sustav za kondicioniranje ulja potrebno je omogućiti spajanje motora na izmjenjivi sustav te spajanje vanjskih sustava za medije na izmjenjivi sustav. Za opskrbu gorivom prema najvećoj zadanoj snazi 450 kW potreban je protok goriva prema [8]:

$$q_{v,g} = \frac{P_{\max} \cdot 1000}{\eta_{\max} \Delta h_{d,d} \cdot \rho_d \cdot 60} = 1,88 \text{ L/min}, \quad (3.1)$$

gdje su:

- $P_{\max} = 450 \text{ kw}$ – najveća snaga motora
- $\eta_{\max} = 0,4$ – pretpostavljena iskoristivost pri najvećoj snazi [9]
- $\Delta h_{d,d} = 43 \text{ MJ/kg} = 11,94 \text{ kWh/kg}$ – donja ogrjevna vrijednost Diesel goriva [9]
- $\rho_d = 835 \text{ kg/m}^3$ – gustoća Diesel goriva. [9]

Za hlađenje motora potreban je protok rashladne tekućine:

$$q_{v,h} = 0,3 \cdot \frac{P_{\max}}{\eta_{\max} \Delta T \rho_v c_v} \cdot 1000 \cdot 60 = 98,62 \text{ L/min}, \quad (3.2)$$

gdje su:

- $\Delta T = 50 \text{ K}$ – promjena temperature rashladne tekućine
- $c_v = 4,21 \text{ kJ/(kg K)}$ – srednji toplinski kapacitet vode za raspon temperatura od 30°C do 80 °C [10]
- $\rho_v = 975 \text{ kg/m}^3$ - gustoća vode za isti temperaturni raspon [10].

Za kondicioniranje ulja pretpostavljena je snaga grijanja/hlađenja $P_U = 100 \text{ kW}$ te promjena temperature 50 K. Svojstva motornog ulja su:

- $c_u = 1,997 \text{ kJ/(kg K)}$ - srednji toplinski kapacitet ulja za raspon temperatura od 30°C do 80 °C [10]
- $\rho_U = 848 \text{ kg/m}^3$ - gustoća ulja za isti temperaturni raspon [10].

Potreban je protok ulja:

$$q_U = \frac{P_U}{c_U \rho_U \Delta T} \cdot 1000 \cdot 60 = 70.83 \text{ L/min}. \quad (3.3)$$

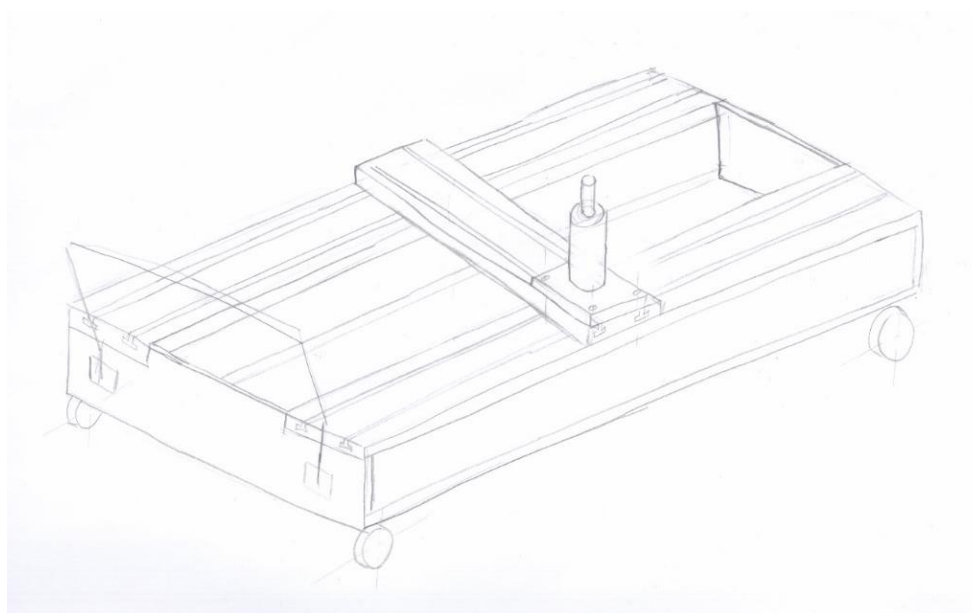
4. Koncipiranje izmjenjivog sustava za prihvat motora

Nakon provedene analize veličina i masa motora za koje se pretpostavlja da bi se mogli ispitivati napravljena je lista zahtjeva koju sustav mora zadovoljiti:

1. Dimenzije sustava:
 - a. najmanja duljina: 1400 mm
 - b. najmanja širina: 1100 mm
 - c. najmanja visina: 600 mm
2. Visina izlaza snage: 900 mm
3. Najmanja nosivost: 1400 kg
4. Sustav mora omogućavati jednostavno i sigurno rukovanje
5. Sustav mora omogućiti spajanje svih potrebnih crijeva za dovod tekućina
6. Sustav mora omogućiti poravnavanje sa kočnicom
7. Sustav mora imati osiguranje od pomicanja za vrijeme ispitivanja motora
8. Sustav mora moći prihvatiti tekućine u slučaju eventualnog izlivanja iz motora.

4.1. Koncept 1

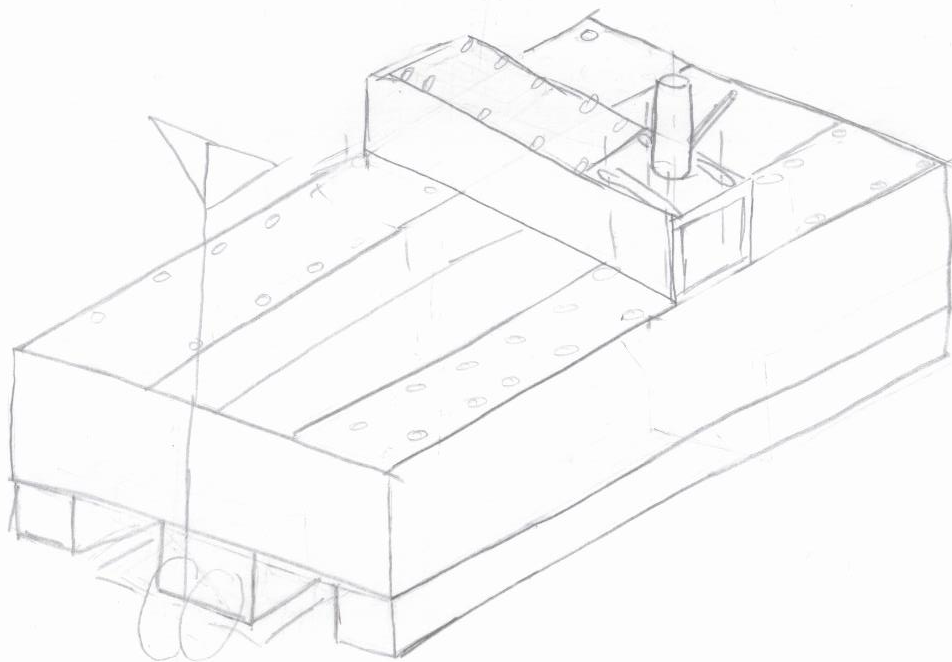
Slika 4.1 prikazuje koncept 1. Horizontalno podešavanje pozicije motora ostvareno je pločama s T utorima i T vijcima, a vertikalno upotrebom navojnog vretena. Za transport se koriste kotači i ručka na samom sustavu, tj. to je sustav u obliku kolica. Konstrukcija koncepta napravljena je zavarivanjem ravnih ploča. Spajanje na cijevi za tekućine ostvareno je manualnim spojnicama, a osiguranje od pomicanja klinovima i hidrauličkim sustavom zabavljanja.



Slika 4.1 Koncept 1

4.2. Koncept 2

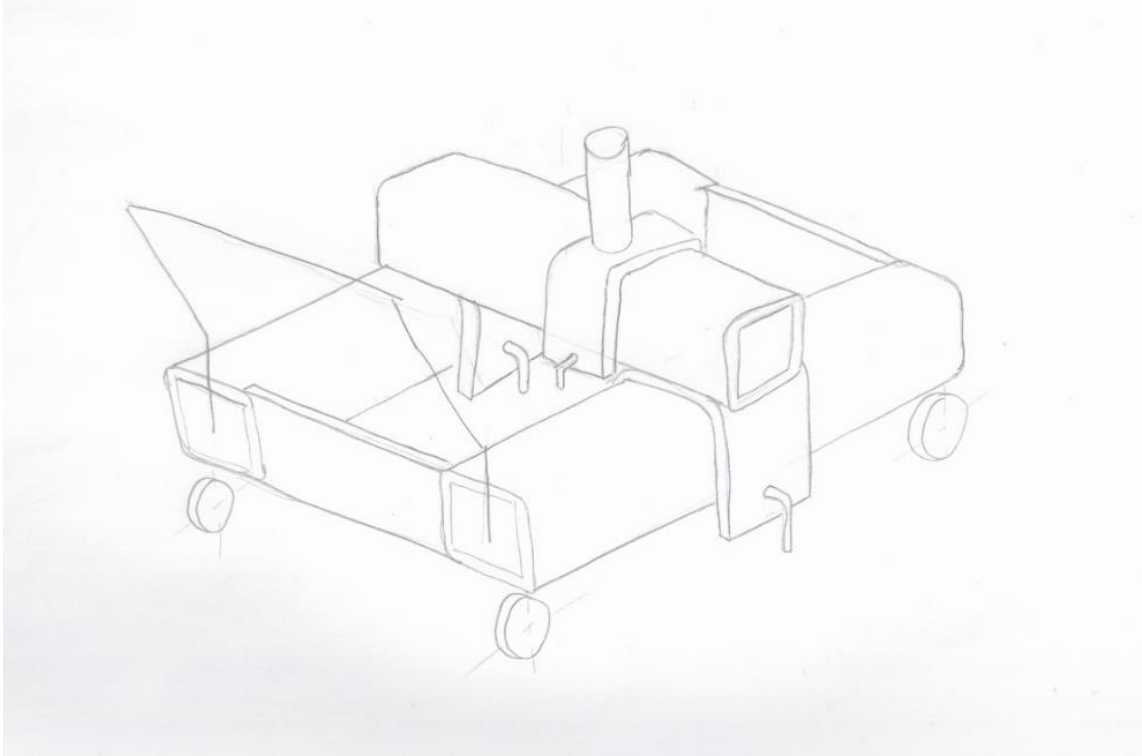
Slika 4.2 prikazuje koncept 2. Horizontalno podešavanje pozicije motora ostvareno je pločama s pravilno raspoređenim rupama s navojima, na koje se nosači učvršćuju običnim vijcima. Vertikalno podešavanje pozicije ostvareno je hidrauličkim cilindrima s ručnim pumpama. Za transport se koristi ručni viličar pa je ovo sustav u obliku palete. Konstrukcija koncepta napravljena je zavarivanjem ravnih ploča. Sustav spajanja na medije je riješen spojnicama smještenim na ploču koja im omogućuje istovremeno spajanje. Osiguranje položaja i osiguranje od pomicanja ostvareno je sustavom zabavljanja pogonjenim elektromotorom.



Slika 4.2 Koncept 2

4.3. Koncept 3

Slika 4.3 prikazuje koncept 3. Horizontalno podešavanje pozicije motora ostvareno je pomoću kliznog elementa na cijevi. Vertikalno podešavanje ostvareno je upotrebom navojnog vretena. Za transport se koriste kotači i ručka pa je ovo sustav u obliku kolica. Konstrukcija koncepta izrađena je od zavarenih gotovih profila. Spajanje na medije izvodi se manualnim spojnicama, a sustav osiguranja od pomicanja ima ručno zabavljanje.



Slika 4.3 Koncept 3

5. Vrednovanje koncepata

5.1. Kriteriji

Za odabir odgovarajućih koncepata, potrebno je utvrditi kriterije po kojima će oni biti vrednovani. Kriteriji prema kojima će svi koncepti biti vrednovani su: cijena, jednostavnost proizvodnje, jednostavnost prilagodbe, raspon prilagodbe, dimenzije. Koncepti će biti ocijenjeni kako ispunjavaju kriterije relativno jedan prema drugome, odnosno najbolji kriterij dobiti će ocjenu 1, idući 2 itd. Najbolji će koncept imati najmanju ukupnu ocjenu.

5.1.1. Cijena

Uvijek je poželjno da cijena izvedbe nekog koncepta bude što je moguće niža.

5.1.2. Jednostavnost proizvodnje

Osim što su jednostavnije konstrukcije jeftinije za proizvesti, također smanjuju vrijeme proizvodnje te omogućavaju brže popravke ili izmijene dijelova u slučaju da dođe do kvara ili promjene zahtjeva, pogotovo ako su korišteni standardni dijelovi.

5.1.3. Jednostavnost i raspon prilagodbe

Kako bi se smanjilo vrijeme postavljanja motora na sustav i samo postavljanje olakšalo, podsustav za prilagodbu mora biti čim jednostavniji za prilagodbu i omogućiti ju u što većem rasponu.

5.1.4. Dimenzije

Manji sustav lakši je za rukovanje njime i omogućava bolje iskorištenje prostora u samoj kabini.

5.2. Ocjenjivanje koncepata

Tablica 5.1 prikazuje ocjene dodijeljene konceptima u odabranim kriterijima.

Tablica 5.1 Ocjenjivanje koncepata

| | Koncept 1 | Koncept 2 | Koncept 3 |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Cijena | 2 | 3 | 1 |
| Jednostavnost proizvodnje | 1 | 2 | 1 |
| Raspon prilagodbe | 1 | 1 | 3 |
| Jednostavnost prilagodbe | 2 | 3 | 1 |
| Dimenzije | 1 | 2 | 3 |
| Ukupno | 7 | 11 | 9 |

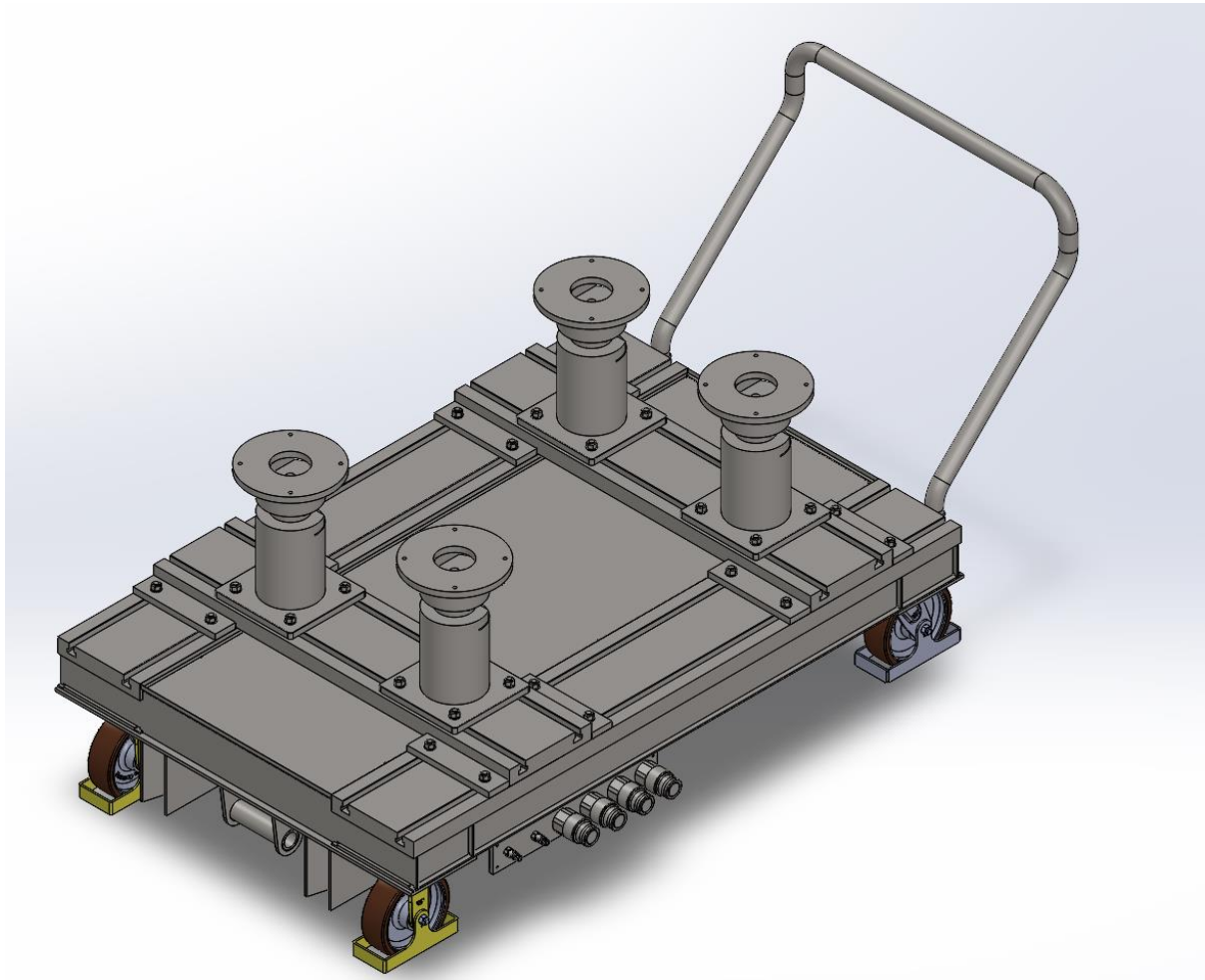
Koncept 3 je najjednostavniji i najjeftiniji za proizvesti jer se izrađuje od gotovih profila pa ima najmanje potrebnih operacija zavarivanja kako bi bio sklopljen u gotovu konstrukciju. Cijena koncepta 1 je nešto veća zbog više operacija zavarivanja, a cijena koncepta 2 zbog potrebe za hidrauličkim dijelovima. Koncept 2 također zahtijeva brojne operacije bušenja rupa i narezivanja navoja za postizanje podešavanja te sustav blokiranja hidrauličnih cilindara kako ne bi došlo do propadanja motora nakon podešavanja visine. Koncept 1 i 2 omogućavaju jednak raspon prilagodbe horizontalno i vertikalno, ali različitim rješenjima, dok je prilagođavanje koncepta 3 ograničeno zbog izvedbe iz gotovih profila koji ograničavaju raspon pomaka klizača. Koncept 3 je također zbog izrade iz gotovih profila nešto viši od koncepata 1 i 2 te zbog toga nemože omogućiti niti toliki horizontalni raspon prilagodbe. Koncept 3 je zato najjednostavniji za prilagodbu jer se prilagodba u svakom smjeru sastoji od otpuštanja jednog vijka, pomicanja te ponovnog zatezanja, dok se kod koncepata 1 i 2 radi o otpuštanju barem 8 vijaka, ali je zato koncept 3 slabije osiguran od pomicanja nosača prilikom testiranja. Koncept 1 i 3 jednako su jednostavni za vertikalno podešavanje, ali je koncept 2 nešto kompliciraniji zbog potrebe za pomicanjem prvo hidrauličkog cilindra a onda i blokade. Koncept 1 je najmanji, a koncept 3 je najveći.

5.3. Odabrani koncept

Za daljnju konstrukcijsku razradu odabran je koncept 1 s ukupnom ocjenom 7.

6. Konstrukcijska razrada

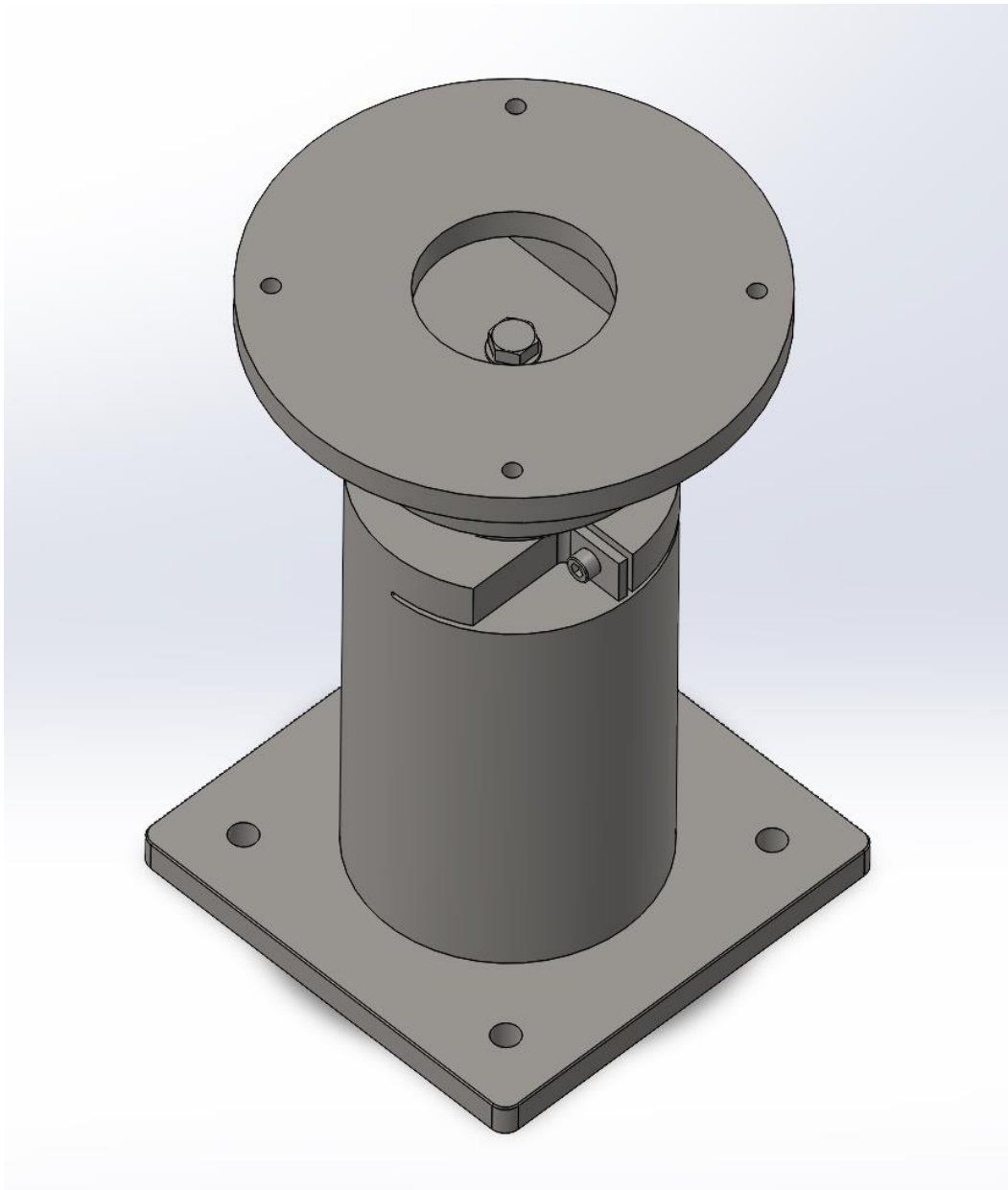
U ovom poglavlju bit će prikazana konstrukcijska razrada i opisana rješenja primijenjena na pojedinim elementima i sklopovima. Slika 6.1 prikazuje cijeli sklop kolica izmjenjivog sustava za prihvat motora.



Slika 6.1 Kolica

6.1. Prihvat motora

Nosač motora, slika 6.2, omogućuje prilagođavanje pozicije motora.

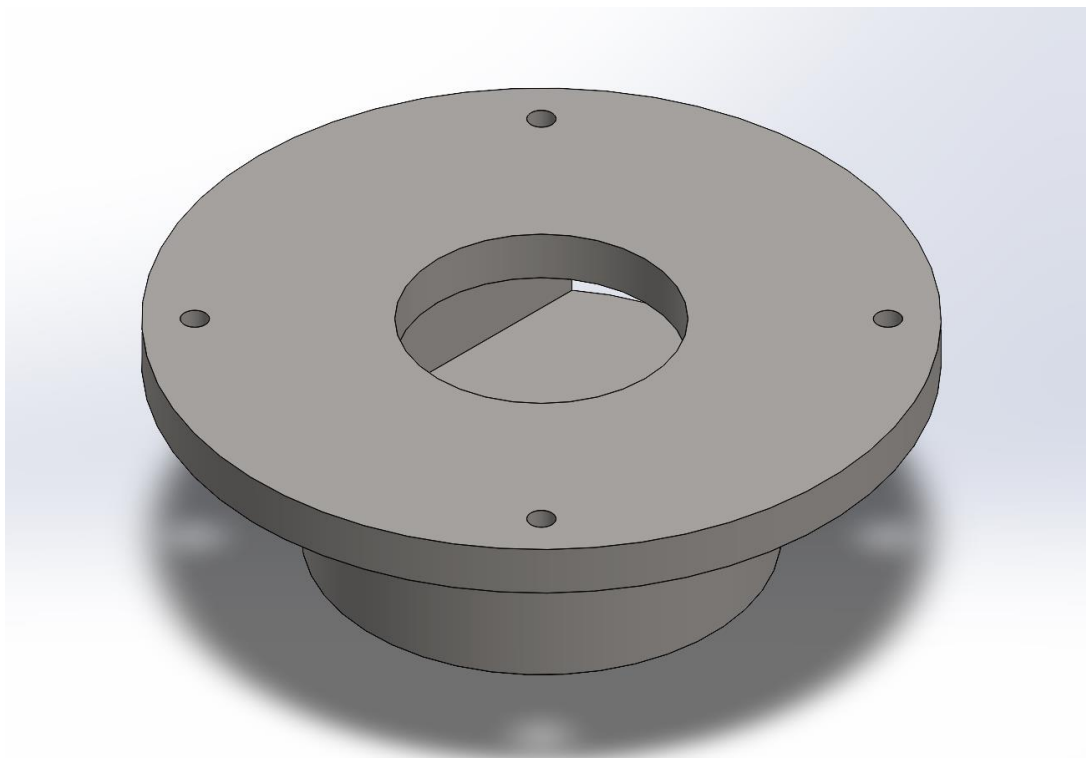


Slika 6.2 Sklop nosača

6.1.1. Prirubnica

Tvornički nosači motora spajaju se na ostatak konstrukcije preko prirubnice na slici 6.3. Prirubnica je povezana s vretenom (slika 6.4) M16 vijkom. Izmjenjiva je i trebalo bi ju

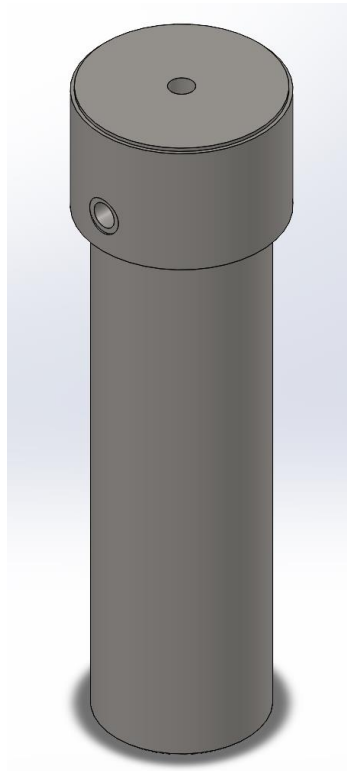
prilagoditi svakom motoru zasebno, zbog različitih izvedbi tvorničkih nosača. Radi podešavanja, nakon otpuštanja vijka prirubnicu je moguće rotirati oko središnje osi.



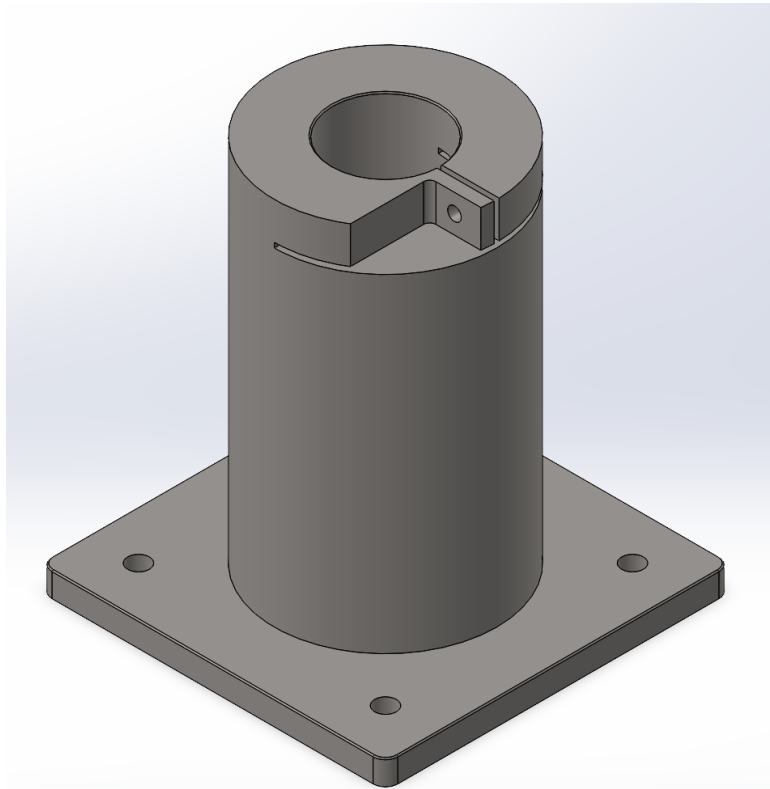
Slika 6.3 Prirubnica

6.1.2. Nosač

Nosač je izveden u obliku vretena s maticom, navoja M 90 x 4. Vreteno je prikazano na slici 6.4, a matica na slici 6.5 (na slikama se ne vide navoji). Na dijelu vretena bez navoja su smještene dvije rupe M16 za pričvršćivanje poluge kojom se vreteno okreće radi podešavanja visine. Vreteno se protiv odvrtnja osigurava steznim vijkom M 10. Matica je zavarena na ploču u kojoj su probušene 4 prolazne rupe za T vijke kojima se nosači povezuju na nosivu konstrukciju. Predviđeni su T utori M 16 prema standardu ISO 299, razmaka među utorima $P = 200$ mm.



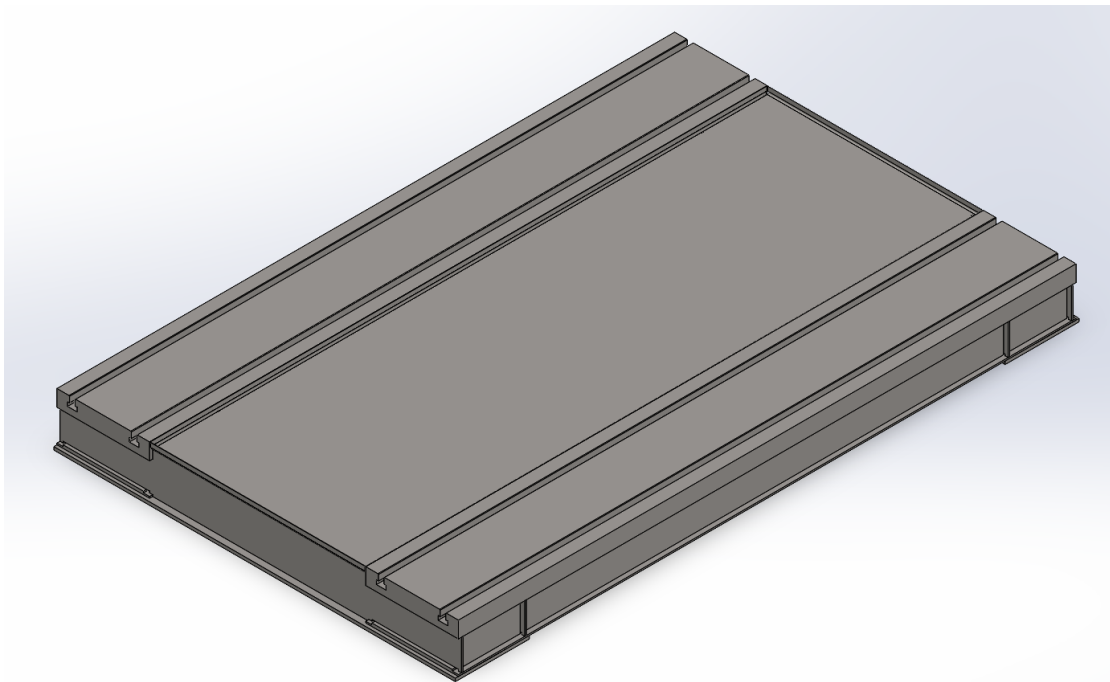
Slika 6.4 Vretno



Slika 6.5 Matica

6.2. Nosiva konstrukcija

Nosiva konstrukcija izrađena je od obrađenih i zavarenih pločastih čeličnih profila. Prikazana je na slici 6.6. Za izradu nosive konstrukcije predviđeno je da se koriste limovi debljina 5, 10 i 20 mm te za ploče s T utorima debljine 60 mm.



Slika 6.6 Nosiva konstrukcija

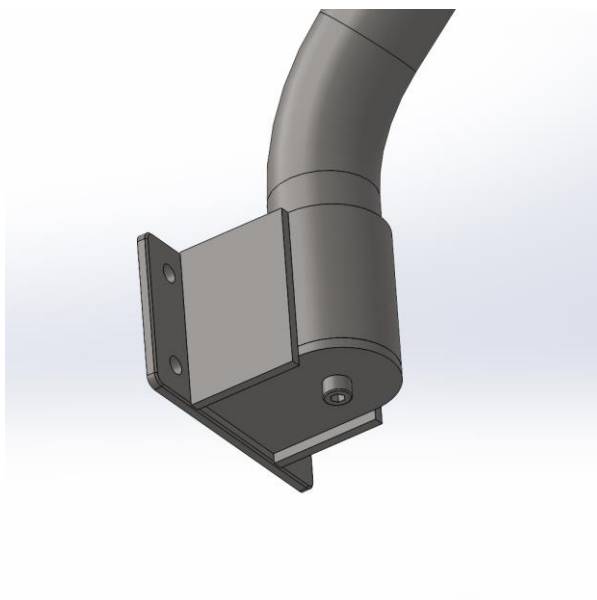
Na gornju stranu nosive konstrukcije vijcima je pričvršćena kada za sakupljanje tekućina u slučaju da dođe do curenja. Izrađena je savijanjem lima debljine 2 mm.

6.3. Ručka

Ručka je izrađena od savijenih i zavarenih čeličnih cijevi, slika 6.7. Nosači ručke na kolicima izrađen je savijanjem i zavarivanjem čeličnog lima te su na konstrukciju spojeni vijcima. Radi lakšeg rada na motoru, ručka se može izvaditi iz nosača nakon otpuštanja dvaju vijaka kojima su povezani, slika 6.8.



Slika 6.7 Ručka



Slika 6.8 Spoj ručke s nosačem

6.4. Kotači

Kotači bliži ručki kolica su okretni, a kotači dalje od ručke su fiksni. Odabrani su kotači proizvođača Blickle, za fiksne kotači oznake BS-GB 252K-FS, slika 6.9, a za okretnne LS-GB 252K-ST-FS, slika 6.10. Podaci fiksnih kotača nalaze se u tablici 6.1, a podaci okretnih u tablici 6.2.



Slika 6.9 Blickle BS-GB 252K-FS [11]

Tablica 6.1 Fiksni kotači [11]

| | |
|---------------------------|-----------|
| Promjer kotača, mm | 250 |
| Širina kotača, mm | 80 |
| Nosivost pri 4 km/h, kg | 1800 |
| Statička nosivost, kg | 4500 |
| Ukupna visina, mm | 305 |
| Razmak rupa za vijke, mm | 140 x 105 |
| Promjer rupa za vijke, mm | 14 |



Slika 6.10 Blicke LS-GB 252K-ST-FS [12]

Tablica 6.2 Okretni kotači [12]

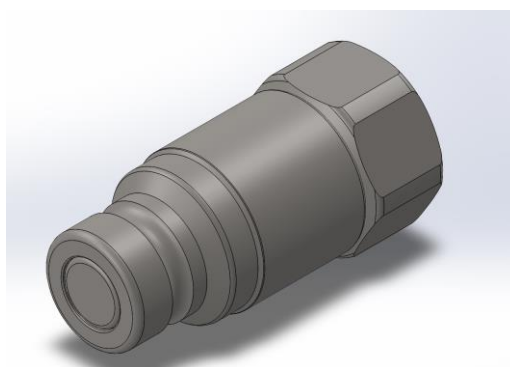
| | |
|---------------------------|-----------|
| Promjer kotača, mm | 250 |
| Širina kotača, mm | 80 |
| Nosivost pri 4 km/h, kg | 1800 |
| Statička nosivost, kg | 4500 |
| Ukupna visina, mm | 305 |
| Razmak rupa za vijke, mm | 140 x 105 |
| Promjer rupa za vijke, mm | 14 |

6.5. Spajanje na medije

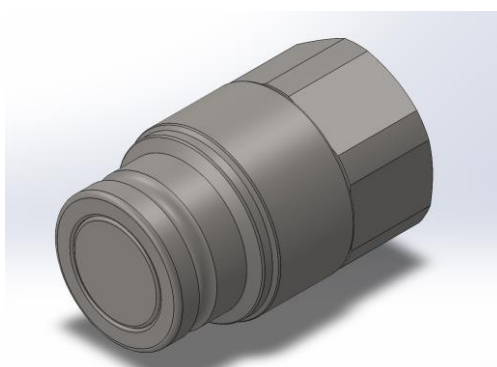
Za spajanje kolica na medije odabrane su utične spojnice prema normi ISO 16028, proizvođača Hansa-Flex. Za opskrbu gorivom odabrane su spojnice oznake SKS 06 IR 1 FS, slika 6.11, podaci u tablici 6.3, a za opskrbu rashladnom tekućinom i uljem spojnice oznake SKS 40 IR 7 FS, slika 6.12, podaci u tablici 6.4. Sa kolica mediji se odgovarajućim fleksibilnim cijevima spajaju na motor

Tablica 6.3 Spojnice za gorivo [13]

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Nazivni promjer, mm | 6 |
| Maksimalni protok, L/min | 12 |
| Navoj priključka | G 1/4 |
| Maksimalna temperatura tekućine, °C | 100 |

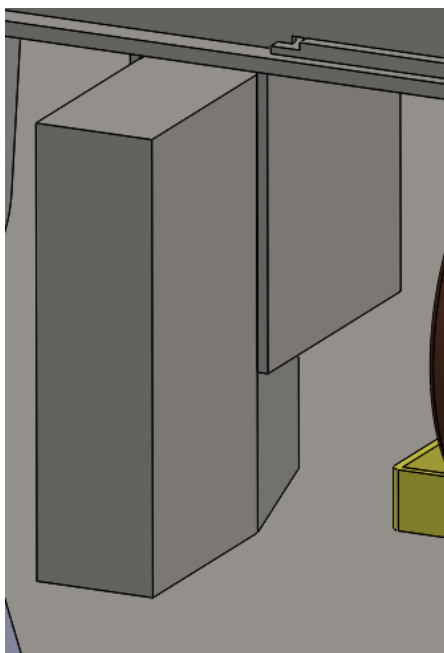
**Slika 6.11 Hansa-Flex SKS 06 IR 1 FS [13]****Tablica 6.4 Spojnice za ulje i rashladnu tekućinu [14]**

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Nazivni promjer, mm | 38 |
| Maksimalni protok, L/min | 380 |
| Navoj priključka | G 1 1/2 |
| Maksimalna temperatura tekućine, °C | 100 |

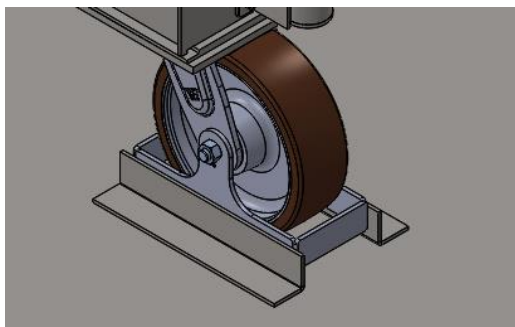
**Slika 6.12 Hansa-Flex SKS 40 IR 7 FS [14]**

6.6. Osiguranje pozicije i osiguranje od pomicanja

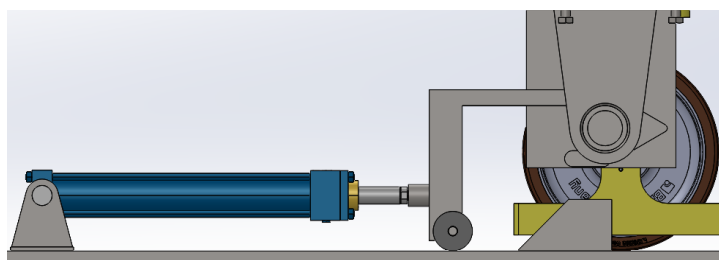
Pozicija sustava na kočnici osigurana je dvama klinovima na postolju kočnice koji se smještaju u odgovarajuće utore na kolicima, slika 6.13, i jednom vodilicom za kotač, slika 6.14. Osiguranje od pomicanja ostvareno je sustavom zabavljanja koji se sastoji od hidraulički pogonjene kuke na postolju kočnice i odgovarajućeg prihvata na kolicima, slika 6.15.



Slika 6.13 Klin za pozicioniranje



Slika 6.14 Vodilica kotača



Slika 6.15 Sustav zabavljanja

7. Proračun

Kolica će biti proračunata prema podacima motora Scania 84 122, navedenim u tablici 7.1.

Tablica 7.1 Podaci motora [7]

| | |
|--|------|
| Masa motora m_m , kg | 1340 |
| Vršni okretni moment motora T_m , Nm | 3300 |

Dimenzije kolica navedene su u tablici 7.2.

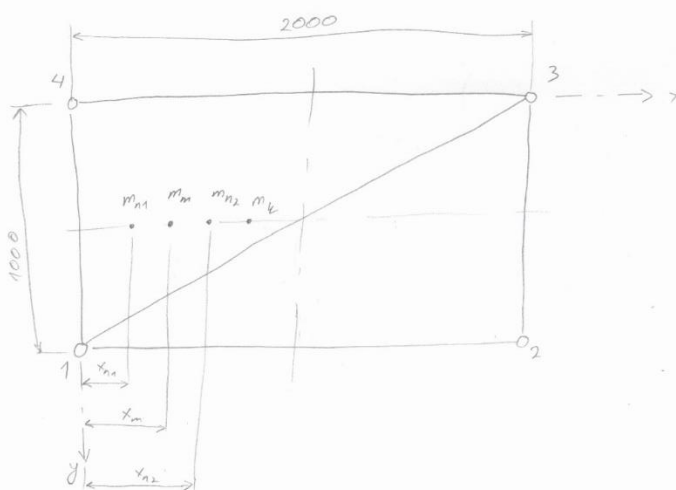
Tablica 7.2 Dimenzije kolica

| | |
|--------------------------------|------|
| Proračunska duljina l_k , mm | 2000 |
| Proračunska širina s_k , mm | 1000 |

Za materijal konstrukcije kolica je odabran čelik S235, $R_e = 220$ MPa [15], a potreban faktor sigurnosti je $S_{potr} = 2$.

7.1. Proračun kotača

Kolica su oslonjena na četiri kotača, što je statički neodređen slučaj. Za provjeru kotača, pretpostavlja se da zbog krutosti dolazi do dodira samo 3 kotača s podlogom. Skica rasporeda kotača i opterećenja vidljiva je na slici 7.1.



Slika 7.1 Proračun kotača

Prema slici, težište kolica je na $x_k = 993,36\text{mm}$, a za ostala težišta vrijede slijedeći uvjeti:

$$275\text{ mm} \leq x_{n1} \leq 1375\text{ mm} \quad (7.1)$$

$$825\text{ mm} \leq x_{n2} \leq 1650\text{ mm} \quad (7.2)$$

$$x_{n1} + 550 \leq x_{n2} \quad (7.3)$$

$$x_m = \frac{x_{n1} + x_{n2}}{2} \quad (7.4)$$

gdje su:

- x_{n1} – težište prvog nosača,
- x_{n2} – težište drugog nosača,
- x_m – težište motora.

a sva težišta po širini, u smjeru y osi, smještena su točno na sredini, $y = 500\text{ mm}$.

Mase u proračunu kotača očitane iz modela u programskom paketu *Solidworks* su:

- $m_k = 762\text{ kg}$ – masa kolica,
- $m_n = 357\text{ kg}$ – masa jednog nosača,
- $m_m = 1340\text{ kg}$ – masa motora.

Jer su oba nosača isti, za proračun se uzima njihovo zajedničko težište:

$$x_n = \frac{x_{n1} + x_{n2}}{2} = x_m \quad (7.5)$$

Proračun je proveden za slijedeće vrijednosti x_n :

1. $x_n = 550\text{ mm}$,
2. $x_n = 728,3\text{ mm}$,
3. $x_n = 993,4\text{ mm}$,
4. $x_n = 1002,5\text{ mm}$,
5. $x_n = 1450\text{ mm}$.

U prva četiri slučaja, pretpostavka je da opterećenje prenose kotači 1, 3 i 4 na slici 7.1, a u zadnjem 1, 2 i 3. Da su pretpostavljeni drugi kotači, zbog simetričnosti konstrukcije, veličine reakcija na kotačima ostale bi iste, samo bi im se raspored promijenio pa je za provjeru kotača odabir neka 3 kotača zapravo nebitan.

Za prva četiri slučaja postavljaju se jednačbe ravnoteže:

$$F_1 \cdot s_k = g \cdot (m_k + 2m_n + m_m) \cdot \frac{s_k}{2} \quad (7.6)$$

$$F_3 \cdot l_k = [m_k x_k + (2m_n + m_m) x_n] \cdot g \quad (7.7)$$

$$F_4 = (m_k + 2m_n + m_m) \cdot g - F_2 - F_3 \quad (7.8)$$

a za 5. slučaj:

$$F_3 \cdot s_k = g \cdot (m_k + 2m_n + m_m) \cdot \frac{s_k}{2} \quad (7.9)$$

$$F_1 \cdot l_k = [m_k(l_k - x_k) + (2m_n + m_m)(l_k - x_n)] \cdot g \quad (7.10)$$

$$F_2 = (m_k + 2m_n + m_m) \cdot g - F_1 - F_3 \quad (7.11)$$

7.1.1. Slučaj $x_n = 550$

U prvom slučaju iz jednačbi ravnoteže slijedi:

$$F_1 = 13812 \text{ N} \quad (7.12)$$

$$F_3 = 9254 \text{ N} \quad (7.13)$$

$$F_4 = 4559 \text{ N} \quad (7.14)$$

7.1.2. Slučaj $x_n = 728,3$

U drugom slučaju iz jednačbi ravnoteže slijedi:

$$F_1 = 13812 \text{ N} \quad (7.15)$$

$$F_3 = 11050 \text{ N} \quad (7.16)$$

$$F_4 = 2763 \text{ N} \quad (7.17)$$

7.1.3. Slučaj $x_n = 993,4$

U trećem slučaju iz jednačbi ravnoteže slijedi:

$$F_1 = 13812 \text{ N} \quad (7.18)$$

$$F_3 = 13721 \text{ N} \quad (7.19)$$

$$F_4 = 91,7 \text{ N} \quad (7.20)$$

7.1.4. Slučaj $x_n = 1002,5$

U četvrtom slučaju iz jednadžbi ravnoteže slijedi:

$$F_1 = 13812 \text{ N} \quad (7.21)$$

$$F_3 = 13812 \text{ N} \quad (7.22)$$

$$F_4 = 0 \text{ N} \quad (7.23)$$

7.1.5. Slučaj $x_n = 1450$

U petom slučaju slijedi:

$$F_3 = 13812 \text{ N} \quad (7.24)$$

$$F_1 = 9304 \text{ N} \quad (7.25)$$

$$F_2 = 4509 \text{ N} \quad (7.26)$$

7.1.6. Proračunska sila na kotaču

Za proračunsku silu na kotaču prema [16] uzima se:

$$F_{ko} = \frac{2F_{max} + F_{min}}{3} = 9239 \text{ N} \quad (7.27)$$

$$F_{max} = 13812 \text{ N} \quad (7.28)$$

$$F_{min} = 91,7 \text{ N} \quad (7.29)$$

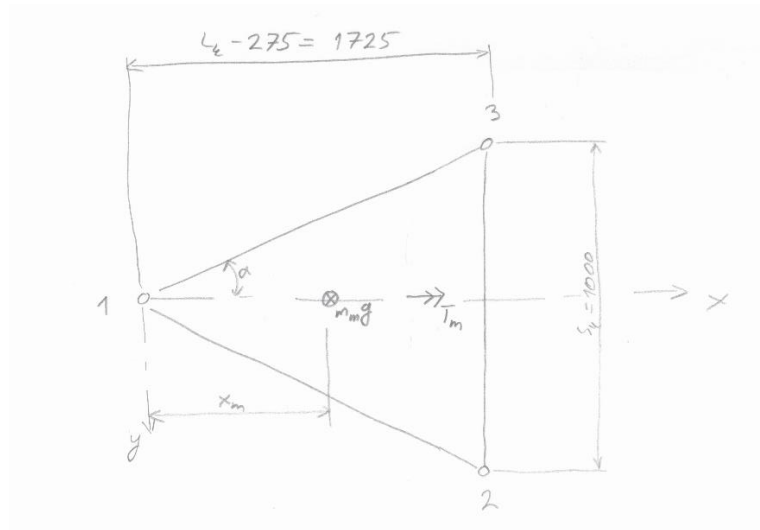
Za F_{min} nije uzet u obzir slučaj 4., jer se radi o lablnoj ravnoteži i gotovo sigurno do njega u stvarnosti neće doći. Jer proizvođači nosivost kotača deklariraju u kilogramima, potrebno je odrediti s koliko je kg proračunski opterećen kotač:

$$m = \frac{F_{ko}}{g} = 942 \text{ kg} \quad (7.30)$$

Odabrani su kotači nazivne nosivosti 1800 kg pri brzini vožnje 4 km/h.

7.2. Proračun nosača

Motor je smješten na 3 nosača raspoređenih kao na slici 7.2.



Slika 7.2 Skica nosača

Na slici 7.2 x_m predstavlja poziciju težišta motora za koju vrijedi:

$$275 \text{ mm} \leq x_m \leq 1500 \text{ mm} \quad (7.31)$$

h_m udaljenost težišta motora od krakova trokuta kojeg stvaraju nosači:

$$h_m = x_m \cos \alpha = x_m \cdot \frac{l_k - 275}{\frac{s_k}{2}} = 3,45x_m \quad (7.32)$$

Iz uvjeta ravnoteže slijedi:

$$F_1 = \frac{m_m \cdot g \cdot (l_k - 275 - x_m)}{l_k - 275} = 7,62052 \cdot (1725 - x_m) \quad (7.33)$$

$$F_2 = \frac{T_m}{s_k} + m_m \cdot g \cdot \frac{x_m}{2(l_k - 275)} = 3300 + 3,81026x_m \quad (7.34)$$

$$F_3 = m_m \cdot g - F_1 - F_2 = 13145,4 - F_1 - F_2 \quad (7.35)$$

Vrijednosti F_1 , F_2 i F_3 za neke vrijednosti x_m vidljive su u tablici 7.3.

Tablica 7.3 Opterećenja nosača

| x_m , mm | F_1 , N | F_2 , N | F_3 , N |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| 275 | 11050 | 4271 | -2175 |
| 500 | 9335 | 5065 | -1254 |
| 862,5 | 6573 | 6344 | 229 |
| 1000 | 5525 | 6829 | 792 |
| 1500 | 2096 | 8417 | 2633 |

Nosači su opterećeni na vlak-tlak i na savijanje. Krakovi na kojima su opterećeni na savijanje zbog težine motora prema slici 7.2 su:

$$a_1 = x_m \quad (7.36)$$

$$a_2 = a_3 = \sqrt{(l_k - 275 - x_m)^2 + \left(\frac{s_k}{2}\right)^2} \quad (7.37)$$

pa su momenti savijanja nosača:

$$M_{s1} = 7,62052 \cdot (1725 - x_m) \cdot x_m \quad (7.38)$$

$$M_{s2} = 1650000 + 3,81026x_m \cdot a_2 \quad (7.39)$$

$$M_{s3} = 3,81026x_m \cdot a_3 - 1650000 \quad (7.40)$$

7.2.1. Proračun čvrstoće nosača

Sva su 3 nosača jednaka. Kod nosača će biti provjereno navojno vreteno M90 x 4. Dimenzije vretena navedene su u tablici 7.4.

Tablica 7.4 Dimenzije vretena

| | |
|-------------------------|--------|
| l_v , mm | 375 |
| d , mm | 90 |
| P , mm | 4 |
| d_2 , mm | 87,402 |
| d_1 , mm | 85,670 |
| A_j , mm ² | 5764,3 |
| W , mm ³ | 61729 |
| I , mm ⁴ | 264414 |

Naprezanja u ovisnosti o x_m mogu se izračunati prema [15]:

$$\sigma_i = \frac{M_{s,i}}{W} + \frac{F_i}{A_j}, \quad i = 1,2,3 \quad (7.41)$$

Uvrštavanjem vrijednosti za svaki od nosača u jednadžbu (7.41) te deriviranjem i izjednačavanjem s 0 pomoću programskog paketa *Wolfram Alpha*, dobivaju se vrijednosti x_m za maksimalna naprezanja svakog od nosača. Te vrijednosti x_m te pripadajuća opterećenja i naprezanja navedena su u tablici 7.5.

Tablica 7.5 Najveća naprezanja nosača

| Nosač | x_m , mm | F_i , N | $M_{s,i}$, Nm | σ_i , MPa |
|-------|------------|-----------|----------------|------------------|
| 1 | 853,396 | 6642 | 5668 | 92,98 |
| 2 | 1062,62 | 7437 | 5010 | 82,45 |
| 3 | 1062,62 | 746,5 | 1710 | 27,84 |

Iz tablice je vidljivo da je najveće naprežanje nosača 1. Postojeći faktor sigurnosti nosača 1 je:

$$S_{\text{post},n2} = \frac{R_e}{\sigma_2} = \frac{220}{92,98} = 2,36 > 2 = S_{\text{potr}} \quad (7.42)$$

Nosači zadovoljavaju uvjet čvrstoće.

7.2.2. Proračun izvijanja nosača

Slobodna duljina izvijanja vretena iznosi prema [17]:

$$l_{v0} = \frac{\sqrt{2}}{2} l_v = 265,165 \text{ mm} \quad (7.43)$$

Polumjer tromosti vretena je:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_j}} = 21,42 \text{ mm} \quad (7.44)$$

Faktor vitkosti vretena je:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = 12,38 \quad (7.45)$$

Za materijal S355, $\lambda_0 = 105$, pa jer je $\lambda \leq \lambda_0$ proračun se provodi prema Tetmajeru. Kritično naprežanje vretena prema [17] iznosi:

$$\sigma_k = 310 - 1,14\lambda = 295,89 \text{ MPa} \quad (7.46)$$

Postojeći faktor sigurnosti na izvijanje je:

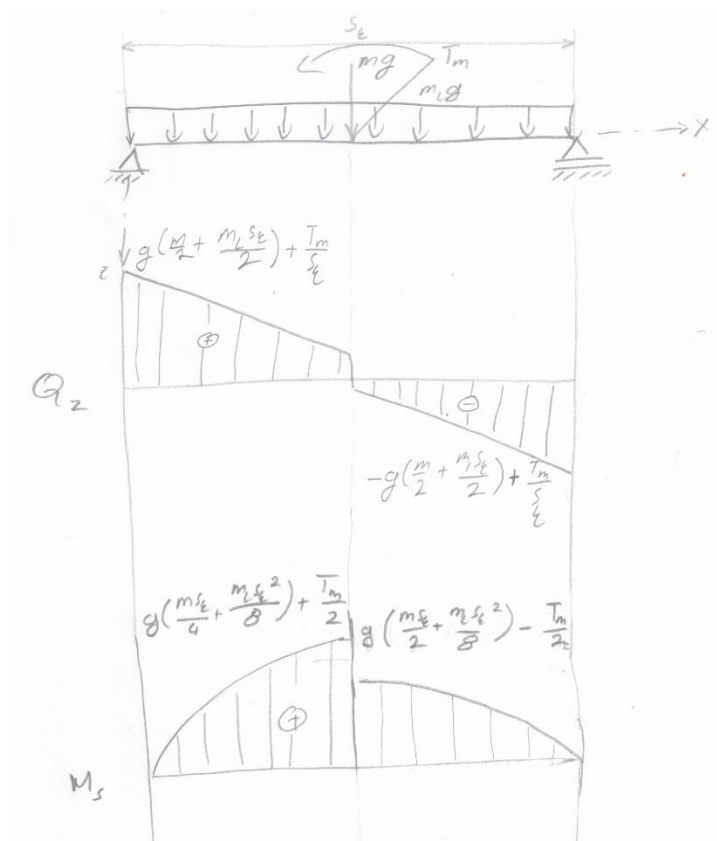
$$S_{\text{post},izv} = \frac{\sigma_k}{\sigma_2} = 3,6 > S_{\text{potr}} \quad (7.47)$$

Nosači zadovoljavaju uvjet izvijanja.

7.3. Proračun nosive konstrukcije

7.3.1. Proračun poprečne grede

Poprečna greda je element koji nosi nosače motora. Proračunata je kao greda na 2 oslonca, a skica opterećenja i grafovi unutarnjih sila za slučaj najvećeg momenta savijanja prikazani su na slici 7.3.

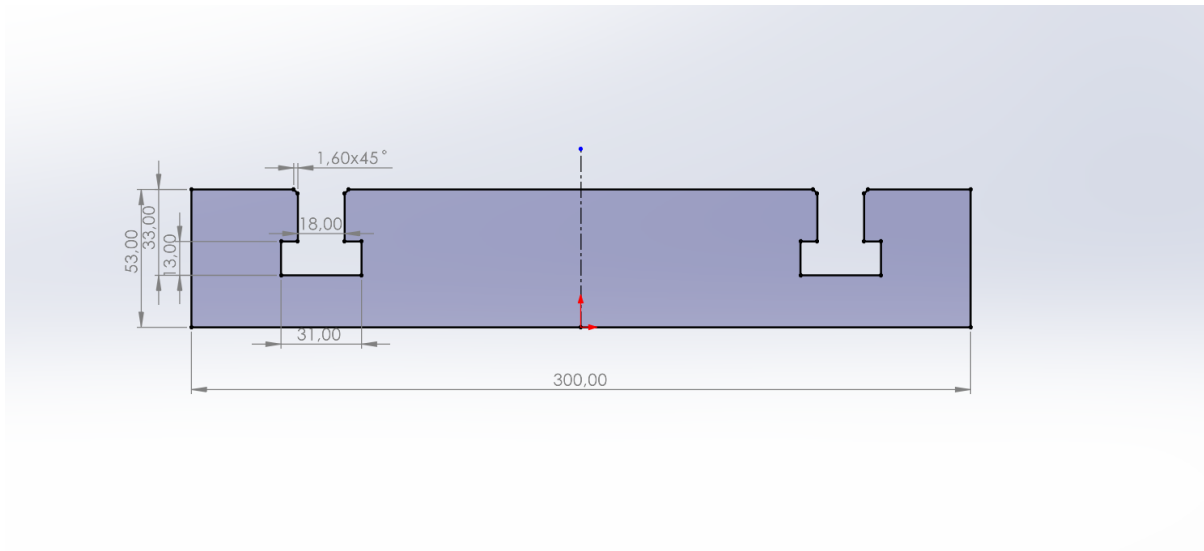


Slika 7.3 Poprečna greda

Svojstva poprečnog presjeka grede navedena su u tablici 7.6, a poprečni presjek prikazan je na slici 7.4.

Tablica 7.6 Karakteristike presjeka poprečne grede

| | |
|--|---------|
| Udaljenost težišta od gornje površine, mm | 27,327 |
| Površina, mm ² | 14373 |
| Moment tromosti oko horizontalne osi kroz težište, mm ⁴ | 3480735 |
| Moment otpora, mm ³ | 1273758 |



Slika 7.4 Presjek poprečne grede

Greda je na sredini opterećena težinom motora i nosača te momentom motora, te je opterećena i vlastitom težinom. Na slici su veličine:

- $m = 1582$ kg – masa motora s nosačima,
- $m_1 = 0,112$ kg/mm – duljinska masa grede.

Najveći moment savijanja iznosi:

$$M_s = g \cdot \left(\frac{m s_k}{4} + \frac{m_1 s_k^2}{8} \right) + \frac{T_m}{2} = 5667 \text{ Nm} \quad (7.48)$$

Zbog pomicanja nosača uz gredu, posmično naprezanje proračunato je s cijelom težinom motora i nosača motora prema [15]:

$$\tau = \frac{g \cdot \left(m + \frac{m_1 s_k}{2} \right) + \frac{T_m}{s_k}}{A} = 0.58 \text{ MPa} \quad (7.49)$$

Savojno naprezanje grede iznosi:

$$\sigma_s = \frac{M_s}{W} = 44,49 \text{ MPa} \quad (7.50)$$

Ekvivalentno naprezanje grede po HMH teoriji prema [15] iznosi:

$$\sigma_{\text{ekv}} = \sqrt{\sigma_s^2 + 3\tau^2} = 44,50 \text{ MPa} \quad (7.51)$$

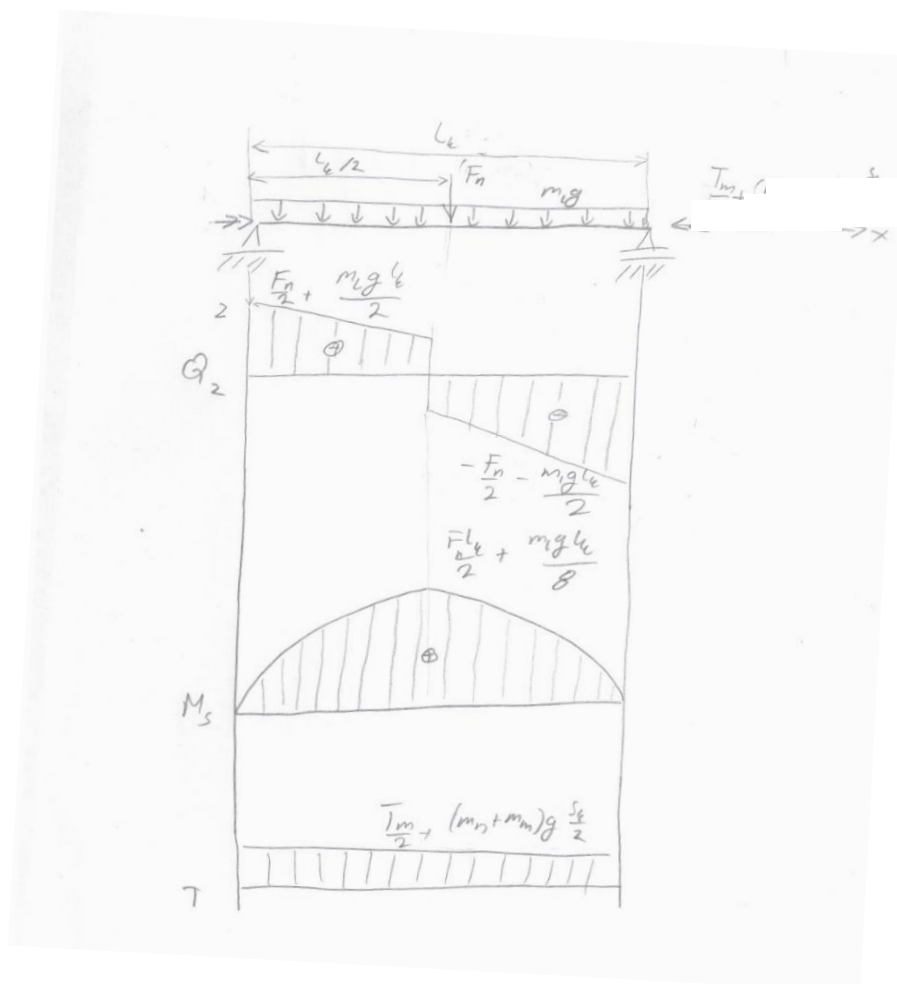
Postojeći faktor sigurnosti je:

$$S_{\text{post}} = \frac{R_e}{\sigma_{\text{ekv}}} = 4,94 > 2 = S_{\text{potr}} \quad (7.52)$$

Poprečna greda zadovoljava uvjet čvrstoće.

7.3.2. Proračun bočne grede

Bočne grede preuzimaju opterećenje s poprečne i prenose ga na tlo preko kotača. Za proračunski model pretpostavljeno je opterećenje prema skici na slici 7.5. Na slici 7.5 se također vidi raspodjela unutarnjih sila za slučaj najvećeg momenta savijanja.



Slika 7.5 Bočna greda

Najveći moment savijanja iznosi:

$$M_s = F_n \cdot \frac{l_k}{2} + m_1 g \cdot \frac{l_k}{8} = 8313 \text{ Nm} \quad (7.53)$$

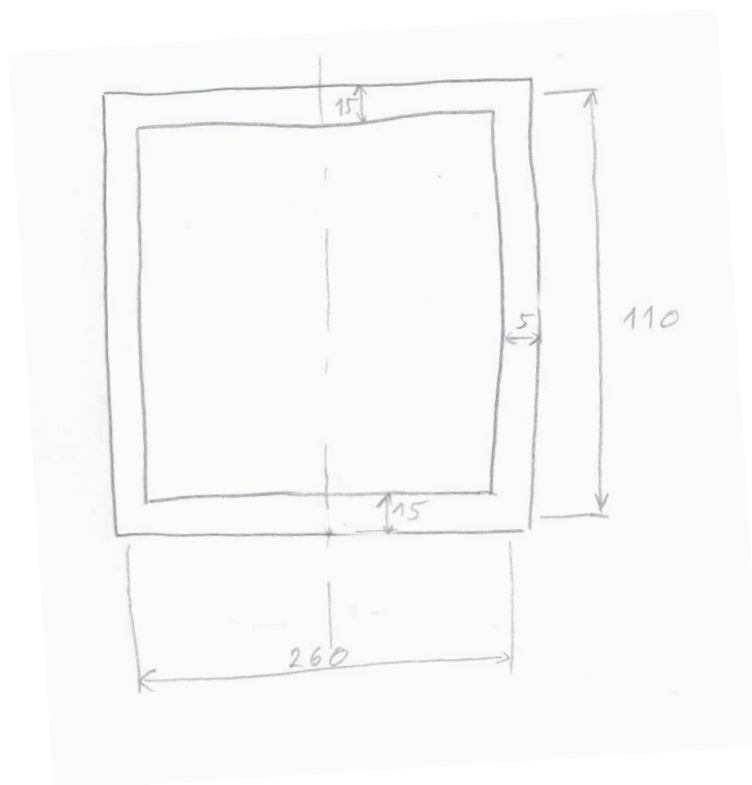
Savojno naprezanje je:

$$\sigma_s = \frac{M_s}{W} = 20,37 \text{ MPa} \quad (7.54)$$

Najveće posmično naprezanje je proračunato s cijelom silom F_n :

$$\tau = \frac{F_n + m_1 g \cdot \frac{l_k}{2}}{A} = 0.54 \text{ MPa} \quad (7.55)$$

Za torzijsko naprezanje poprečni je presjek zamijenjen približnim pravokutnim poprečnim presjekom prikazanim na slici 7.7.



Slika 7.7 Poprečni presjek za torzijsko naprezanje

Proračunska površina tog presjeka je:

$$A_0 = 260 \cdot 110 = 28600 \text{ mm}^2 \quad (7.56)$$

Minimalna debljina stijenke je:

$$t_{\min} = 5 \text{ mm} \quad (7.57)$$

Maksimalno torzijsko naprezanje iznosi:

$$\tau_t = \frac{T}{2A_0 t_{\min}} = 40,66 \text{ MPa} \quad (7.58)$$

Ekvivalentno naprezanje prema HMH teoriji iznosi:

$$\sigma_{\text{ekv}} = \sqrt{\sigma_s^2 + 3(\tau + \tau_t)^2} = 74.2 \text{ MPa} \quad (7.59)$$

Pojeći faktor sigurnosti iznosi:

$$S_{\text{post}} = \frac{R_e}{\sigma_{\text{ekv}}} = 2,96 > 2 = S_{\text{potr}} \quad (7.60)$$

Bočne grede zadovoljavaju uvjet čvrstoće.

8. Zaključak

U ovom radu prikazano je konstruiranje izmjenjivog sustava za prihvat motora s unutarnjim izgaranjem. Objasnjen je način i svrha ispitivanja motora na kočnici za mjerenje snage te način upotrebe i svrha izmjenjivog sustava, te pregled nekih postojećih rješenja.

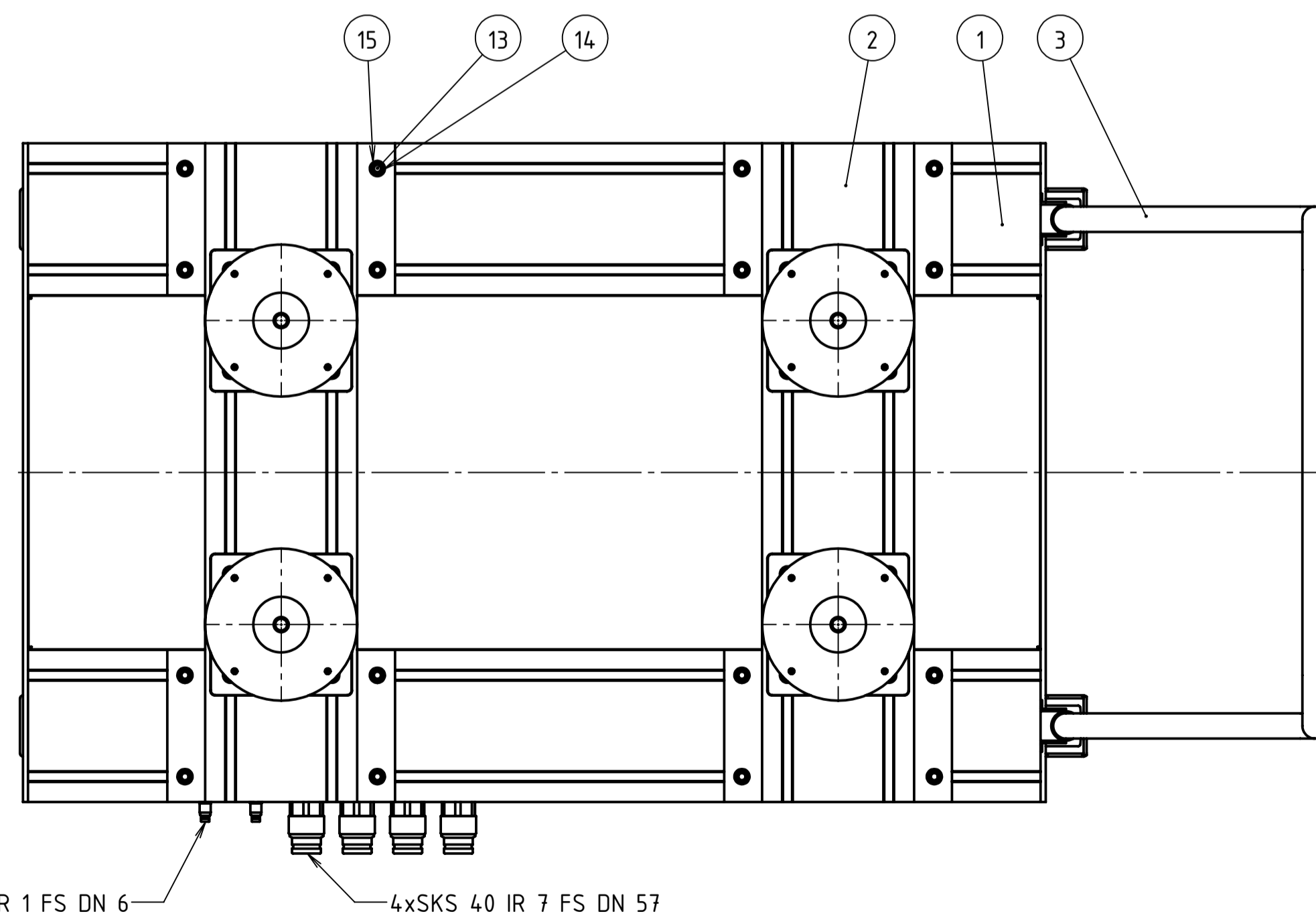
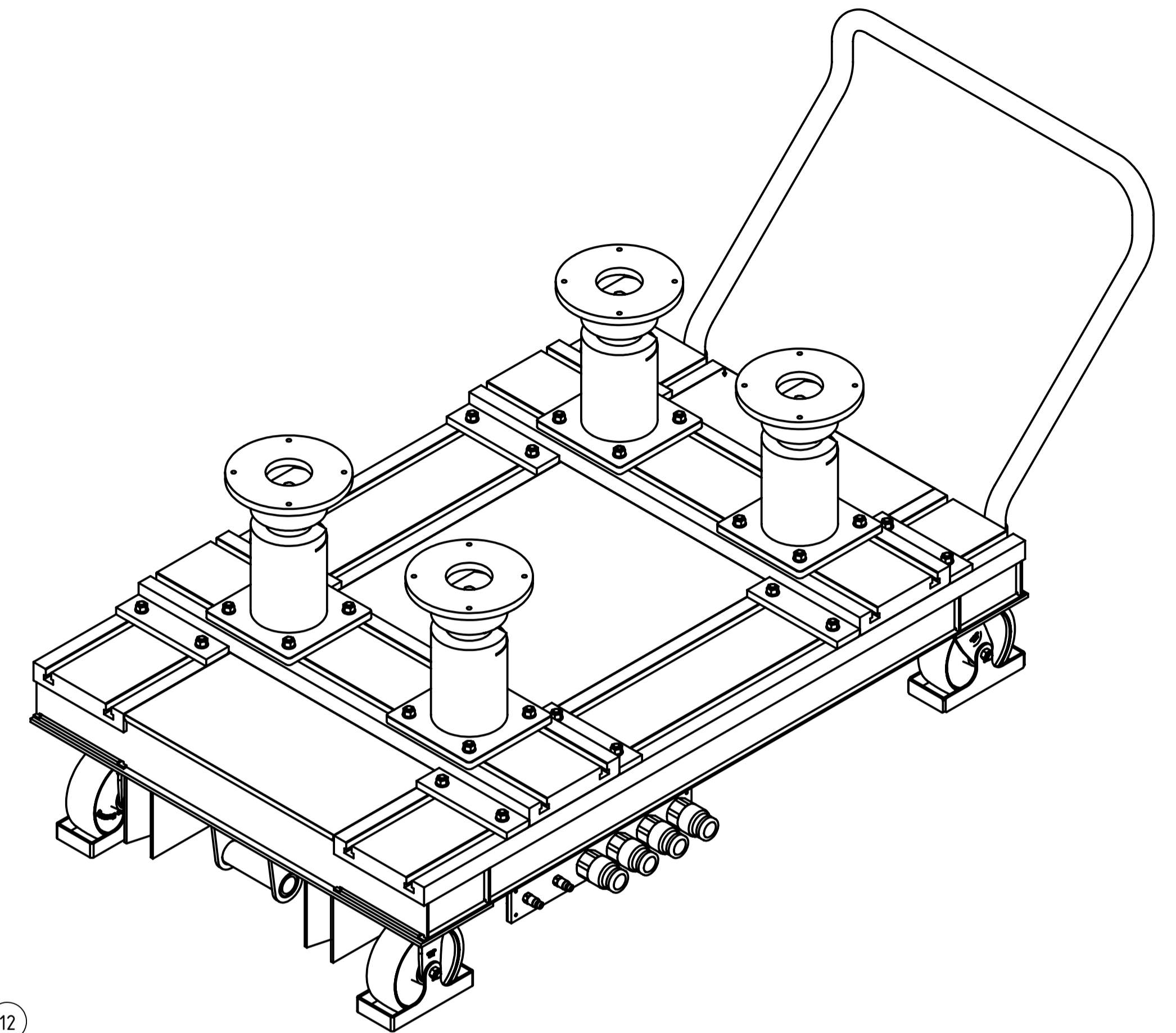
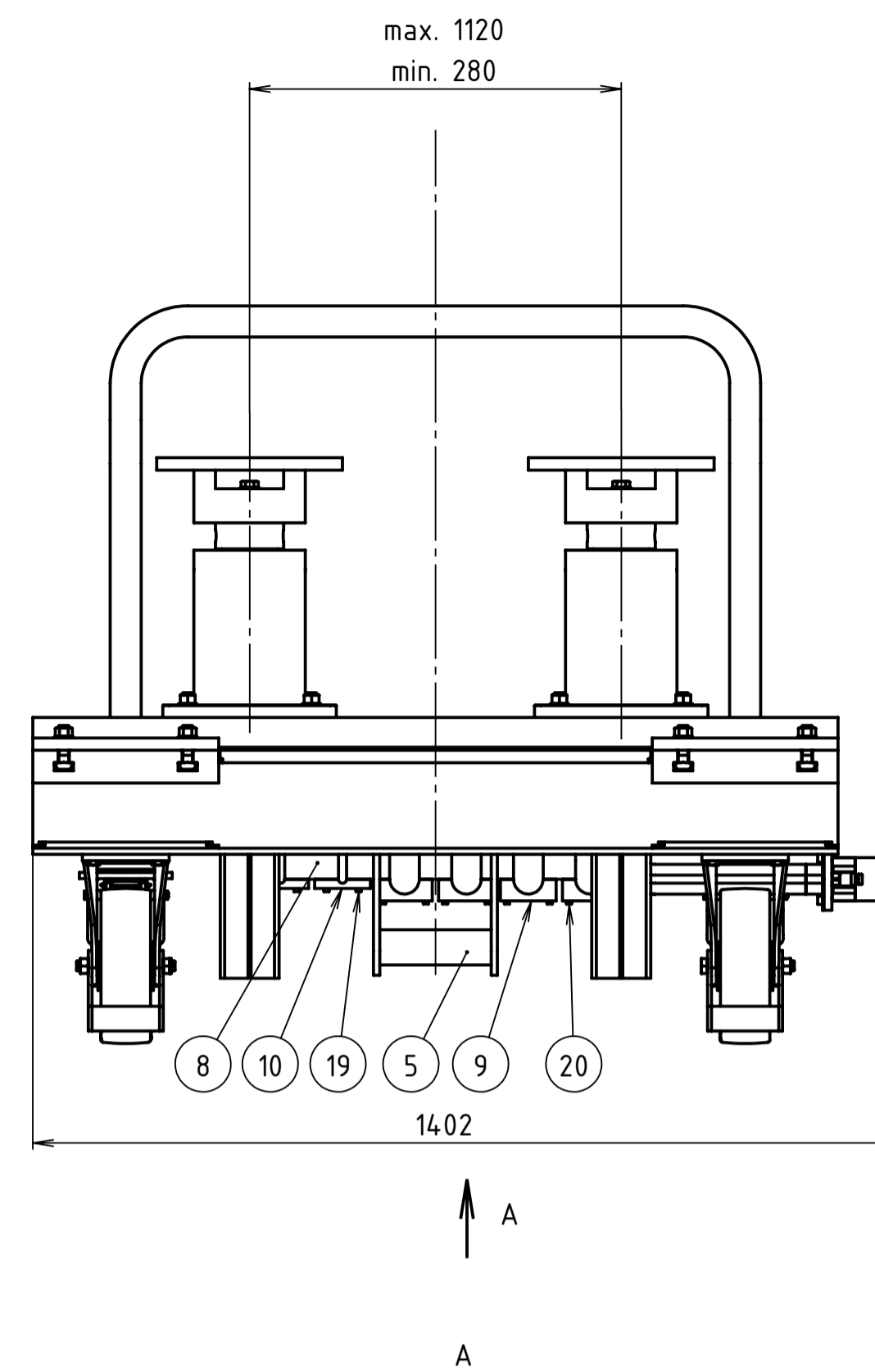
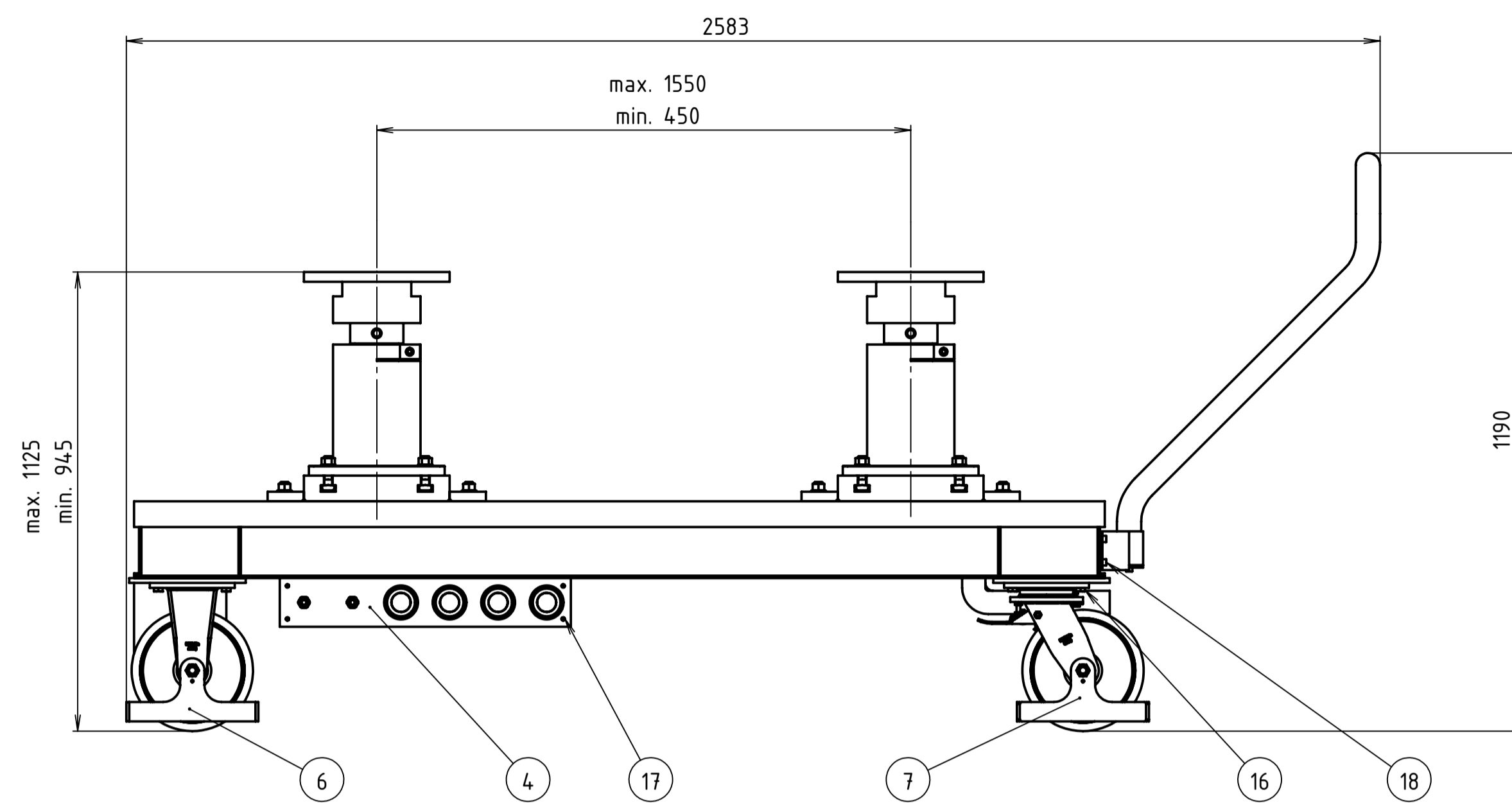
Prvi korak konstruiranja je utvrđivanje zahtjeva na sustav radi mogućnosti prihvata različitih motora te utvrđivanje kriterija za odabir koncepta. Sustav mora omogućiti prilagodbu različitim dimenzijama motora, transport motora te opskrbu različitim medijima. Nakon toga slijedi predlaganje koncepta koji bi ispunili zahtjeve te odabir jednoga za konstrukcijsku razradu.

U razradi je oblikovana nosiva konstrukcija, nosači motora i ručka te su odabrani kupovni dijelovi. Proveden je i proračun čvrstoće konstrukcije i nosača te opterećenja kotača.

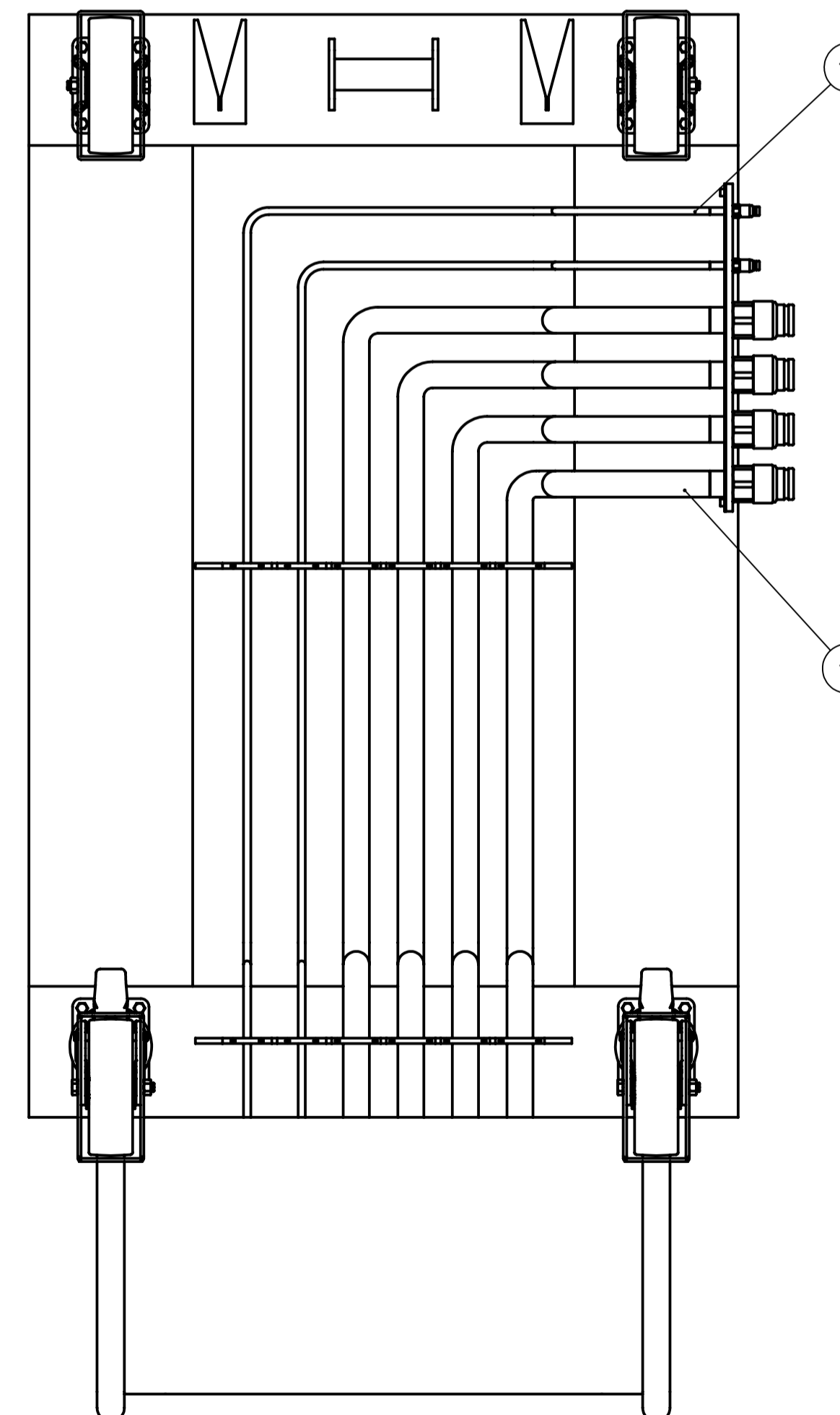
Naposljetku su izrađeni 3D model i tehnička dokumentacija.

Literatura

- [1] <https://www.avl.com/en/testing-solutions/all-testing-products-and-software/electric-dynos-and-drives>
- [2] <https://www.ernst-gruppe.de/en/test-systems/automotive-test-beds/pallet-system-for-engine-testing/>
- [3] https://www.avl.com/html/static/ITS_ONLINE/PDFs/E/5_TESTING_EQUIPMENT_3_E.pdf
- [4] <https://www.acscm.com/projects/seguin-engine-facility/>
- [5] <https://www.acscm.com/projects/containerized-test-cell-for-engine-durability-testing/>
- [6] https://www.mercedes-benz.com/content/dam/brandhub/vehicles/aggregates/brochures/MB_Powertrain_Truck_VI_2021.pdf
- [7] https://www.scania.com/content/dam/www/market/master/products/power-solutions/engine-pdfs/power-generation/DC16-084A_436kW_SCR.pdf
- [8] Halasz B.: Uvod u Termodinamiku, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2019.
- [9] Mahalec I., Lulić Z., Kozarac D.: Motori s unutarnjim izgaranjem, 2016.
- [10] Halasz B., Galović A., Boras I.: Toplinske tablice, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2017.
- [11] <https://www.blickle.com/product/BS-GB-252K-FS-939557>
- [12] <https://www.blickle.com/product/LS-GB-252K-FS-760031>
- [13] https://shop.hansa-flex.hr/hr_HR/spojke/uti%C4%8Dne-spojke---plosnato-brtvljenje/utika%C4%8Di/za-stucchi/sks-06-ir-1-fs/p/SKS06IR1FS
- [14] https://shop.hansa-flex.hr/hr_HR/spojke/uti%C4%8Dne-spojke---plosnato-brtvljenje/utika%C4%8Di/za-stucchi/sks-40-ir-7-fs/p/SKS40IR7FS
- [15] Krautov strojarski priručnik, Sajema d.o.o., Zagreb, 2009.
- [16] Herold Z., Šćap D., Hoić M.: Prenosila i dizala, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2020.
- [17] Decker K. H.: Elementi strojeva, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2006.



2xSKS 06 IR 1 FS DN 6 4xSKS 40 IR 7 FS DN 57

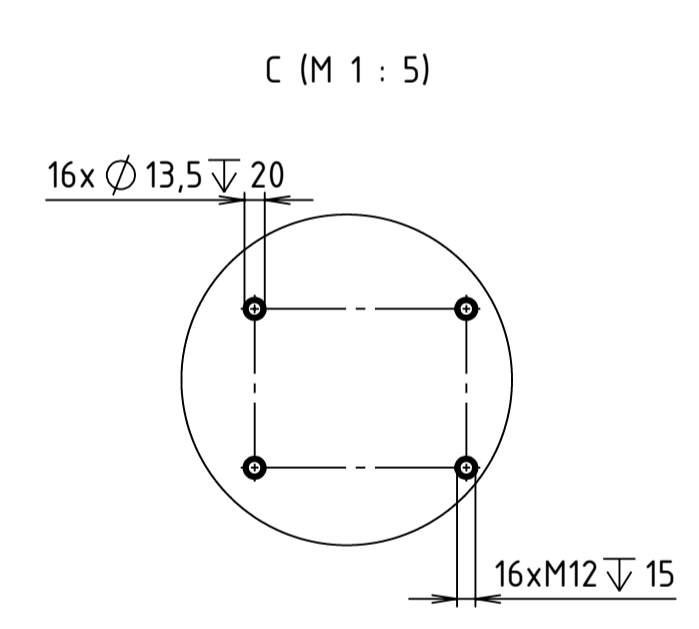
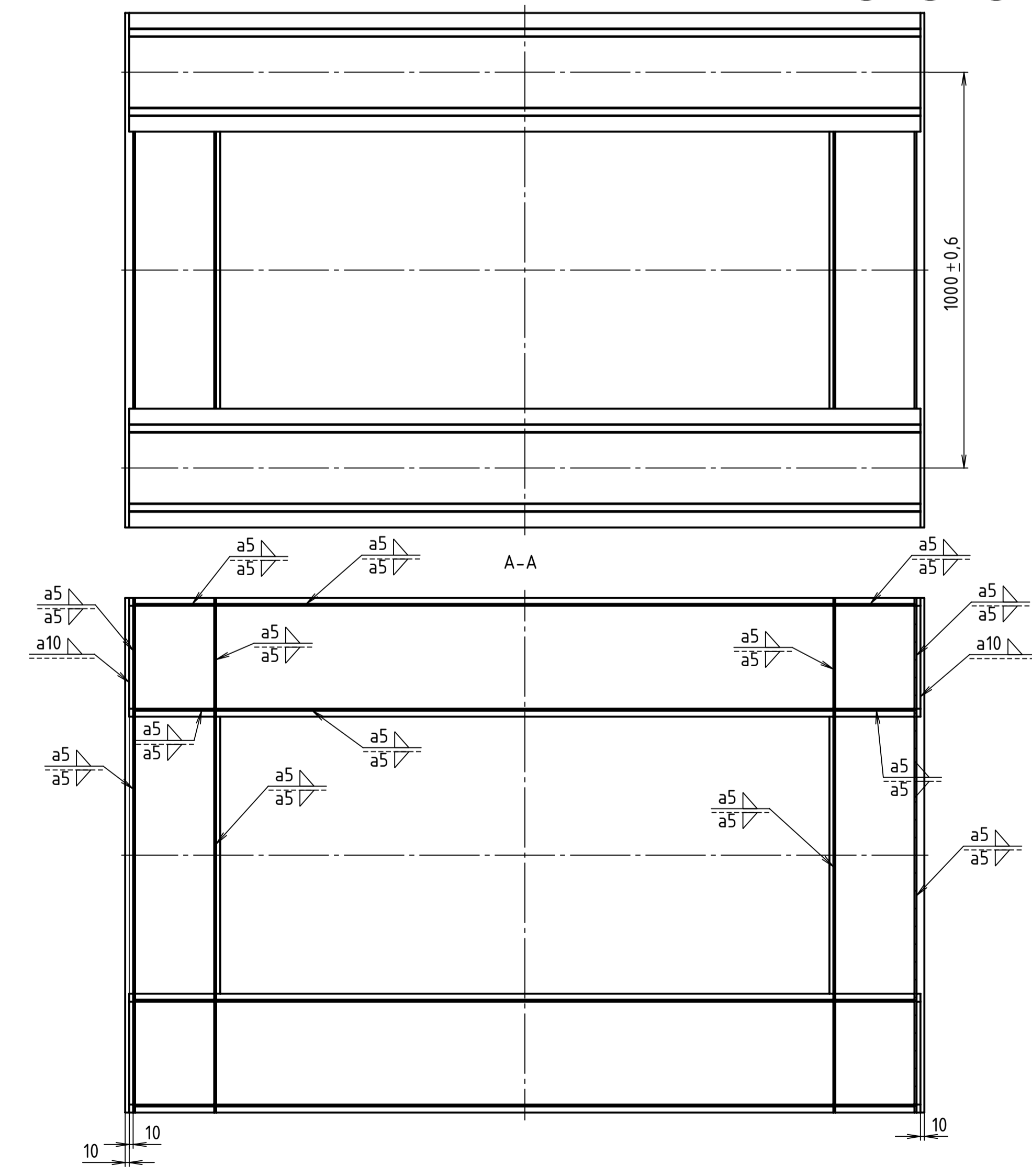
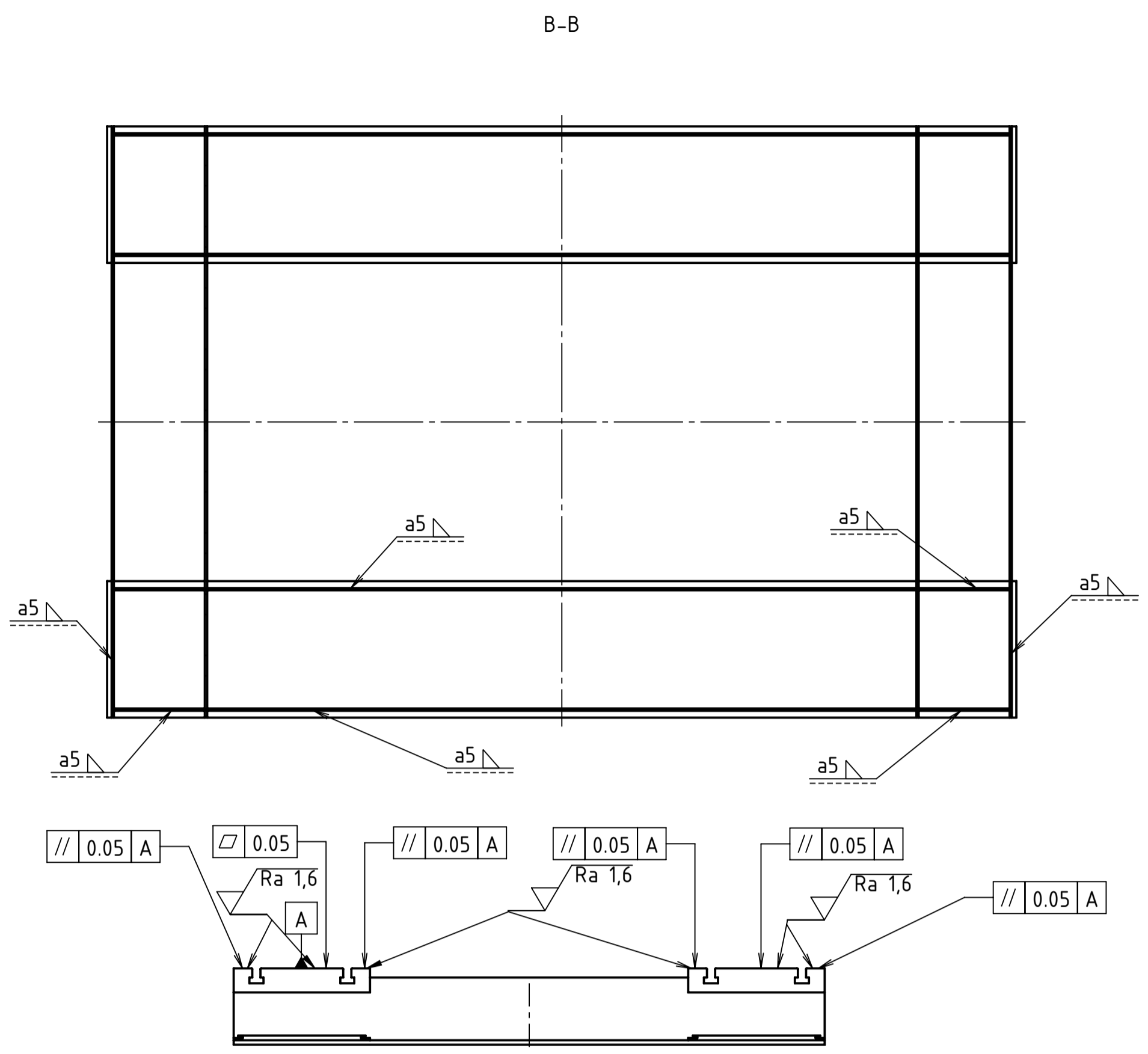
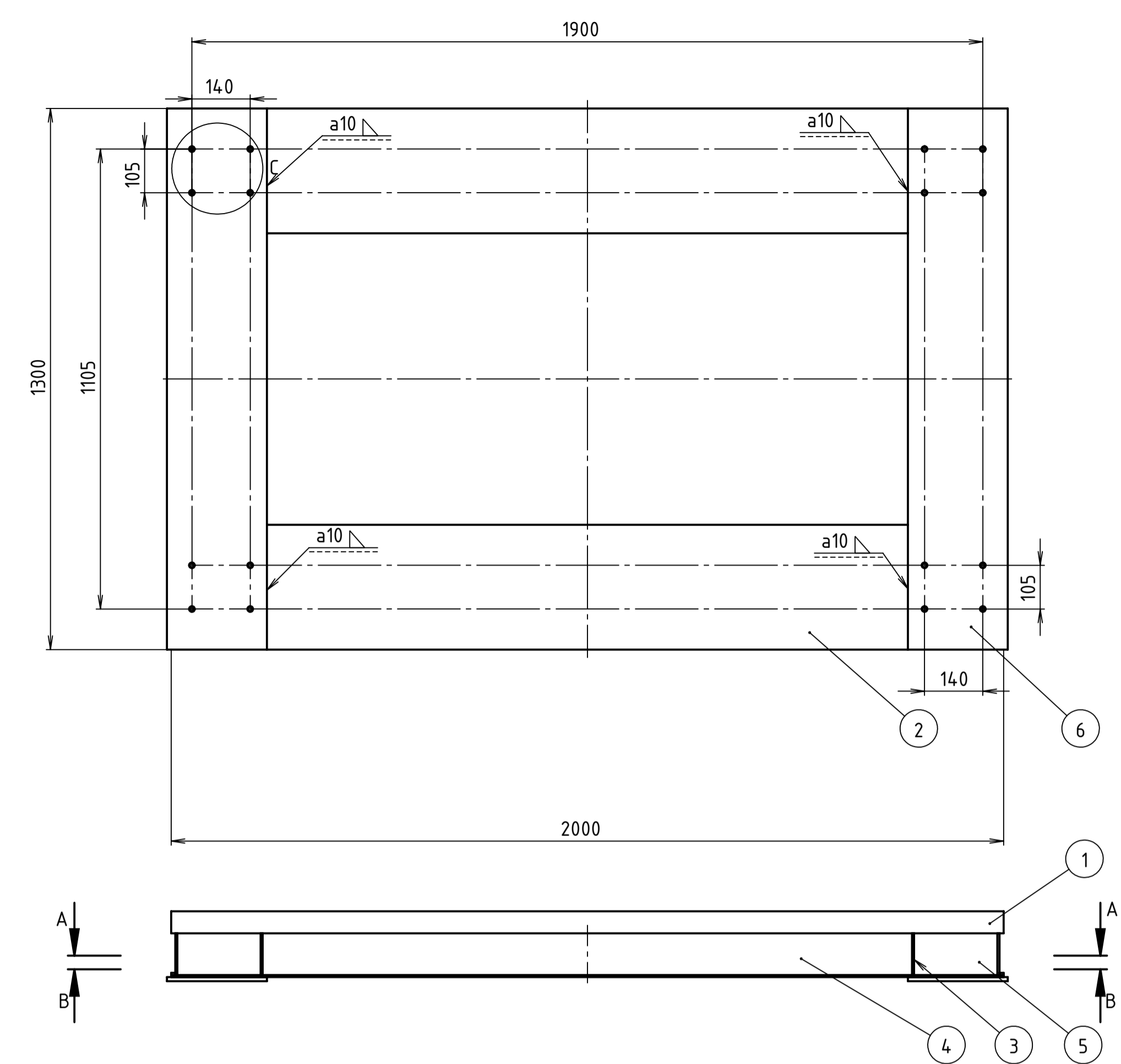


| | | | | | | |
|----|---------------------------|----|-----------|--------|---------------|--------|
| 20 | Vijak | 8 | DIN 912 | 10.9 | M 5 x 50 | |
| 19 | Vijak | 4 | DIN 912 | 10.9 | M 5 x 30 | |
| 18 | Vijak | 8 | DIN 912 | 10.9 | M 8 x 35 | |
| 17 | Vijak | 4 | DIN 912 | 10.9 | M 8 x 12 | |
| 16 | Vijak | 16 | ISO 4014 | 10.9 | M 12 X 50 | |
| 15 | Podloška | 16 | DIN 125 | 14H | ∅30/∅17x2 | |
| 14 | Matica | 16 | ISO 4032 | 10 | M 16 | |
| 13 | T vijak | 16 | ISO 299 | 10.9 | M 16 x 60 | |
| 12 | Cijev mala | 2 | | | | 0,3 kg |
| 11 | Cijev velika | 4 | | | | 1 kg |
| 10 | Poklopac nosača cijevi 2 | 4 | | S235J0 | 90x10x15 | 0,1 kg |
| 9 | Poklopac nosača cijevi 1 | 8 | | S235J0 | 90x10x35 | 0,2 kg |
| 8 | Nosač cijevi | 2 | | S235J0 | 690x10x40 | 1,5 kg |
| 7 | LS-GB 252K-ST-FS | 2 | | | Blickle | 19 kg |
| 6 | BS-GB 252K-FS | 2 | | | Blickle | 16 kg |
| 5 | Sklop osiguranja pozicije | 1 | | | 695x95x200 | 4,1 kg |
| 4 | Sklop spojnice | 1 | | | 600x155x100 | 10 kg |
| 3 | Sklop ručke | 1 | | | 1050x580x850 | 19 kg |
| 2 | Sklop nosača | 1 | | | 1300x450x472 | 334 kg |
| 1 | Sklop nosive konstrukcije | 1 | ZR-DD-S-2 | | 2000x1300x240 | 650 kg |

| Poz. | Naziv dijela | Kom. | Crtež broj Norma | Materijal | Sirove dimenzije Proizvođač | Masa |
|-----------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------|--------------------------------|------------|
| Broj naziva - code | | Datum | | Ime i prezime | | Potpis |
| Projektirao | | Datum | | Ime i prezime | | Potpis |
| Razradio | | Datum | | Ime i prezime | | Potpis |
| Crtao | | Datum | | Ime i prezime | | Potpis |
| Pregledao | | Datum | | Ime i prezime | | Potpis |
| Voditelj rada | | Datum | | Ime i prezime | | Potpis |
| ISO - tolerancije | | Objekt: | | Objekt broj: | | |
| Napomena: | | R. N. broj: | | Kopija | | |
| Materijal: | | Masa: 1460 kg | | Završni rad | | |
| Mjerilo originala | | Naziv: | | Pozicija: | | Format: A1 |
| M 1:10 | | Kolica | | Listova: 1 | | |
| Crtež broj: ZR-DD-S-1 | | List: 1 | | | | |



√ Ra 12,5 (√ Ra 1,6)

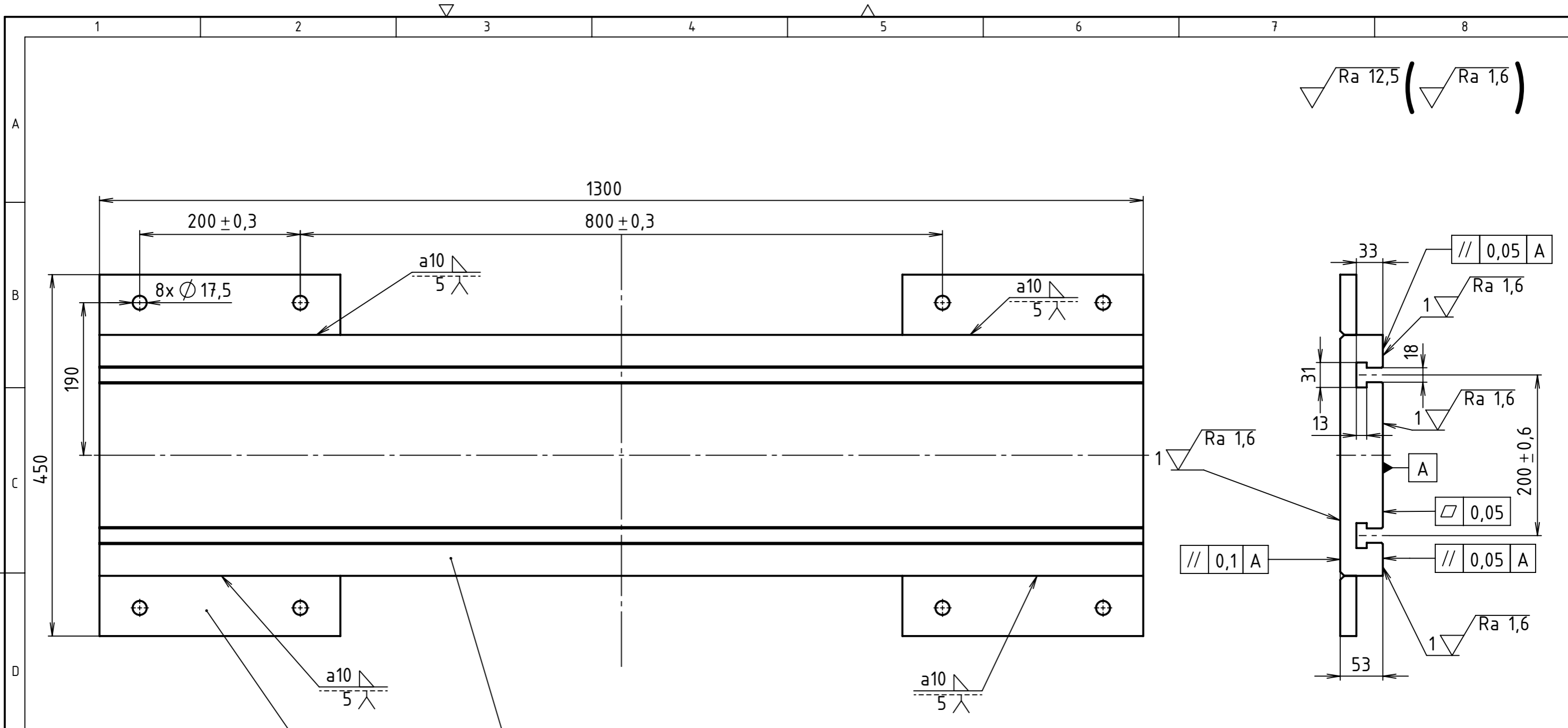


| Poz. | Naziv dijela | Kom. | Crtež broj Norma | Materijal | Sirove dimenzije Proizvođač | Masa |
|------|------------------|------|------------------|-----------|-----------------------------|--------|
| 6 | Ploča | 2 | | S235J0 | 1300x240x10 | 24 kg |
| 5 | Ploča | 4 | | S235J0 | 200x100x5 | 1 kg |
| 4 | Ploča | 4 | | S235J0 | 1560x100x5 | 6 kg |
| 3 | Ploča | 4 | | S235J0 | 1300x138x5 | 6 kg |
| 2 | Ploča | 2 | | S235J0 | 2000x300x10 | 44 kg |
| 1 | Ploča s T utorom | 2 | | S235J0 | 2000x300x53 | 225 kg |

| Broj naziva - code | Datum | Ime i prezime | Potpis |
|--------------------|-------|---------------|--------|
| Projektirao | | David Dorotić | |
| Razradio | | David Dorotić | |
| Crtao | | David Dorotić | |
| Pregledao | | Petar Ilincić | |
| Voditelj rada | | Petar Ilincić | |

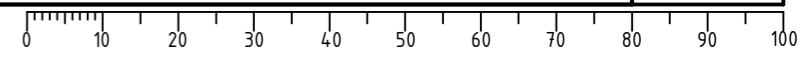
| | | |
|-------------------|----------------------------------|------------------------|
| ISO - tolerancije | Objekt: Kolica | Objekt broj: ZR-DD-S-1 |
| | Napomena: | R. N. broj: |
| | Materijal: S235J0 | Masa: 650 kg |
| | Naziv: Sklop nosive konstrukcije | 1 |
| | Mjerilo originala | 1 |
| | Crtež broj: ZR-DD-S-2 | |

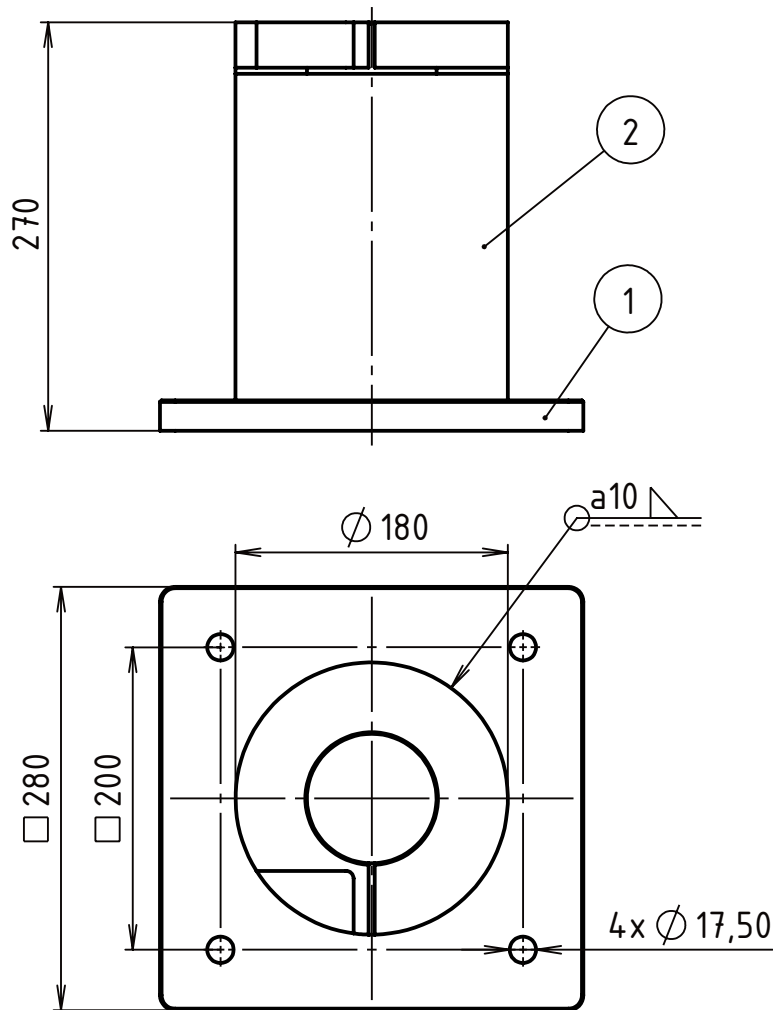
Napomena:
Završnu obradu površine izvesti nakon zavarivanja.



Napomene:
 Rupe $\varnothing 17,5$ bušiti nakon zavarivanja.
 Završnu obradu površine napraviti nakon zavarivanja.

| 2 | Ploča | 4 | | S235J0 | 300x75x20 | 3,5 kg |
|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------|-----------|-----------------------------|--------|
| 1 | Ploča s T utorima | 1 | | S235J0 | 1300x300x53 | 145 kg |
| Poz. | Naziv dijela | Kom. | Crtež broj Norma | Materijal | Sirove dimenzije Proizvođač | Masa |
| Broj naziva - code | | Datum | Ime i prezime | | Potpis | |
| Projektirao | | | David Dorotić | | | |
| Razradio | | | David Dorotić | | | |
| Crtao | | | David Dorotić | | | |
| Pregledao | | | Petar Ilinčić | | | |
| Voditelj rada | | | Petar Ilinčić | | | |
| ISO - tolerancije | | Objekt: | | | Objekt broj: | |
| | | | | | R. N. broj: | |
| | | Napomena: | | | Smjer: Konstrukcijski | |
| | | Materijal: | | | Masa: 160 kg | |
| | | Naziv: | | | Završni rad | |
| | | Mjerilo originala | | | Pozicija: | |
| | | M 1:5 | | | Format: A3 | |
| | | Crtež broj: ZR-DD-S-3 | | | Listova: 1 | |
| | | | | | List: 1 | |

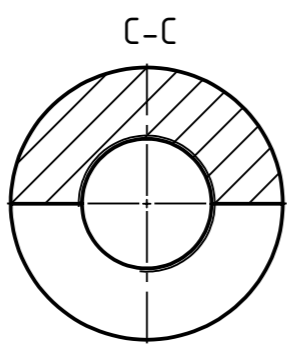
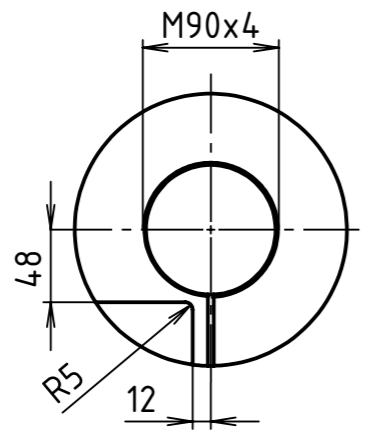
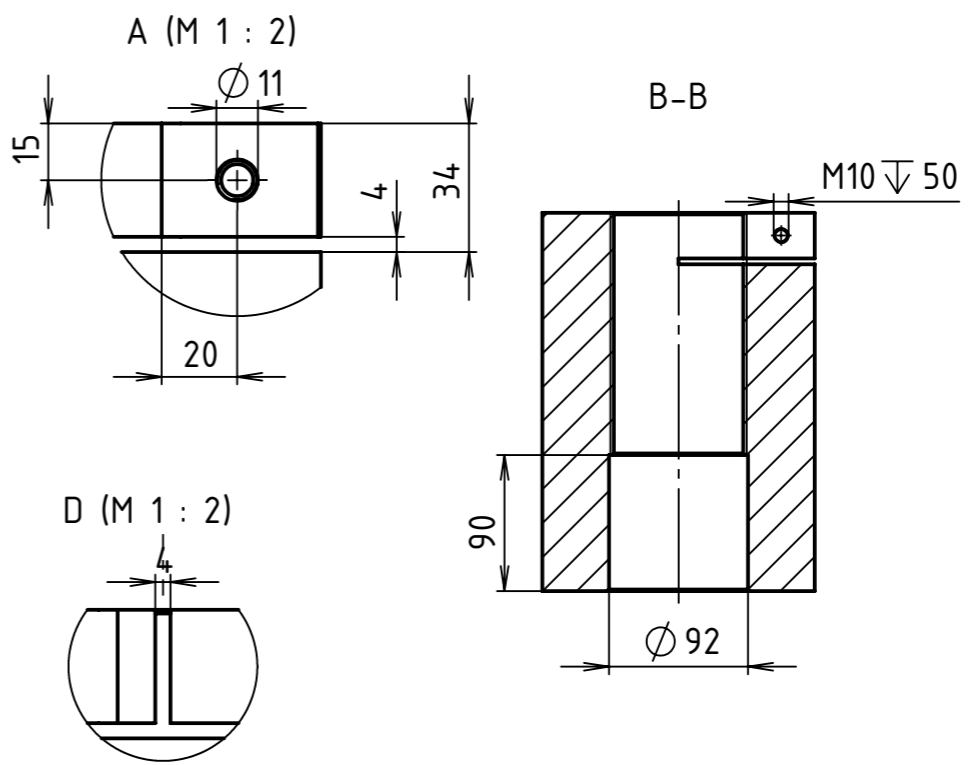
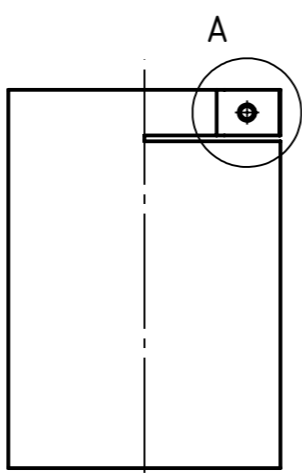
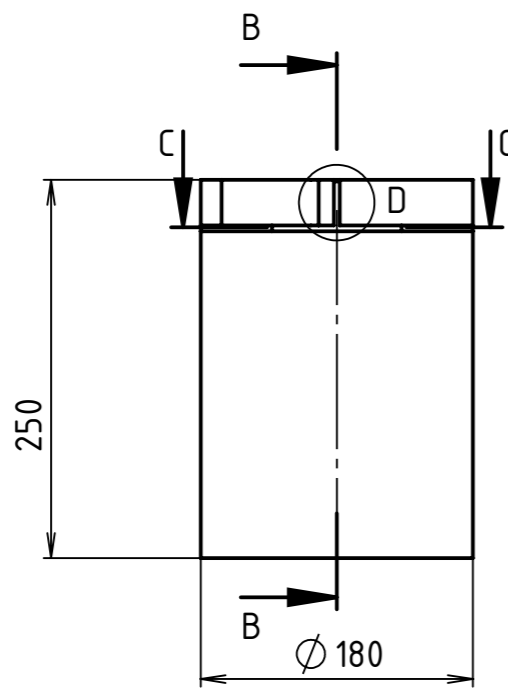




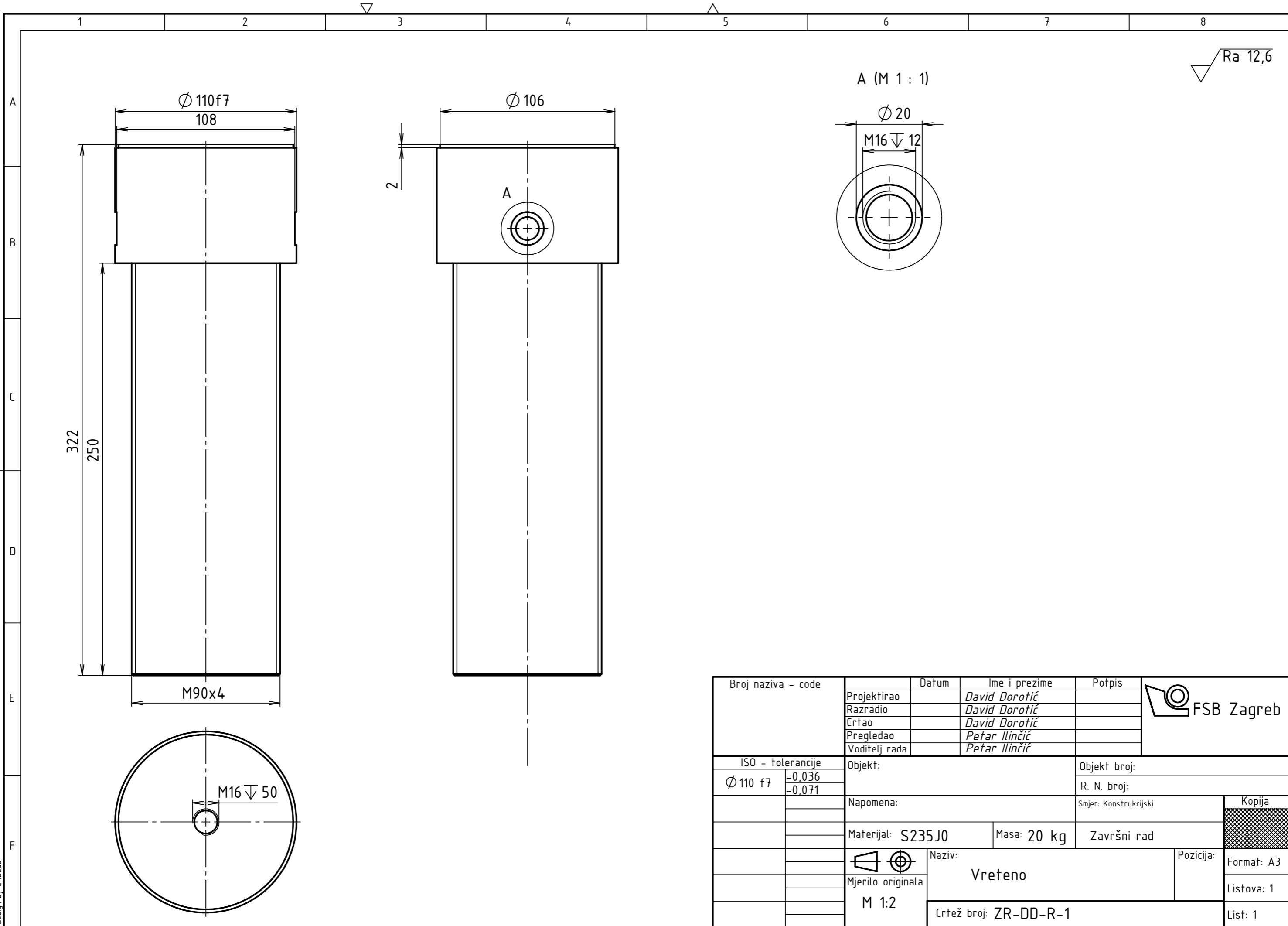
| | | | | | | |
|------|--------------|------|-----------|-----------|------------------|-------|
| 2 | Ploča | 1 | | S235J0 | □ 280x10 | 12 kg |
| 1 | Matica | 1 | ZR-DD-R-2 | S235J0 | ∅ 180x250 | 37 kg |
| Poz. | Naziv dijela | Kom. | Crtež br. | Materijal | Sirove dimenzije | Masa |

| | | | | |
|-------------------|-------|-----------------------|-----------------------|------------|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| Projektirao | | David Dorotić | | |
| Razradio | | David Dorotić | | |
| Crtao | | David Dorotić | | |
| Pregledao | | Petar Ilinčić | | |
| Voditelj rada | | Petar Ilinčić | | |
| Objekt: | | | Objekt broj: | |
| | | | R. N. broj: | |
| Napomena: | | | Smjer: Konstrukcijski | |
| | | | Kopija | |
| Materijal: S235J0 | | Masa: 49 kg | Završni rad | |
| | | Naziv: | | Pozicija: |
| Mjerilo originala | | Sklop matice | | Format: A4 |
| M 1:5 | | Crtež broj: ZR-DD-S-4 | | Listova: 1 |
| | | | | List: 1 |

Ra 12,6



| | | | | | |
|--------------------|----------------------------|-------|---------------|------------------------|--|
| Broj naziva - code | Projektirao | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| | Razradio | | David Dorotić | | |
| | Crtao | | David Dorotić | | |
| | Pregledao | | Petar Ilinčić | | |
| | Voditelj rada | | Petar Ilinčić | | |
| ISO - tolerancije | Objekt: Sklop matice | | | Objekt broj: ZR-DD-S-4 | |
| | Napomena: | | | R. N. broj: | |
| | Materijal: S235J0 | | Masa: 45 kg | Završni rad | |
| | Mjerilo originala M 1:5 | | | Naziv: Matica | |
| | | | | Pozicija: 1 | |
| | | | | Crtež broj: ZR-DD-R-2 | |
| | | | | Kopija | |
| | | | | Format: A3 | |
| | | | | Listova: 1 | |
| | | | | List: 1 | |



Ra 12,6

A (M 1 : 1)

322
250

Ø 110f7
108

Ø 106

Ø 20

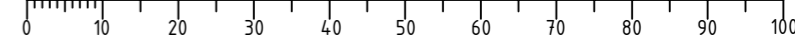
M16 ∇ 12

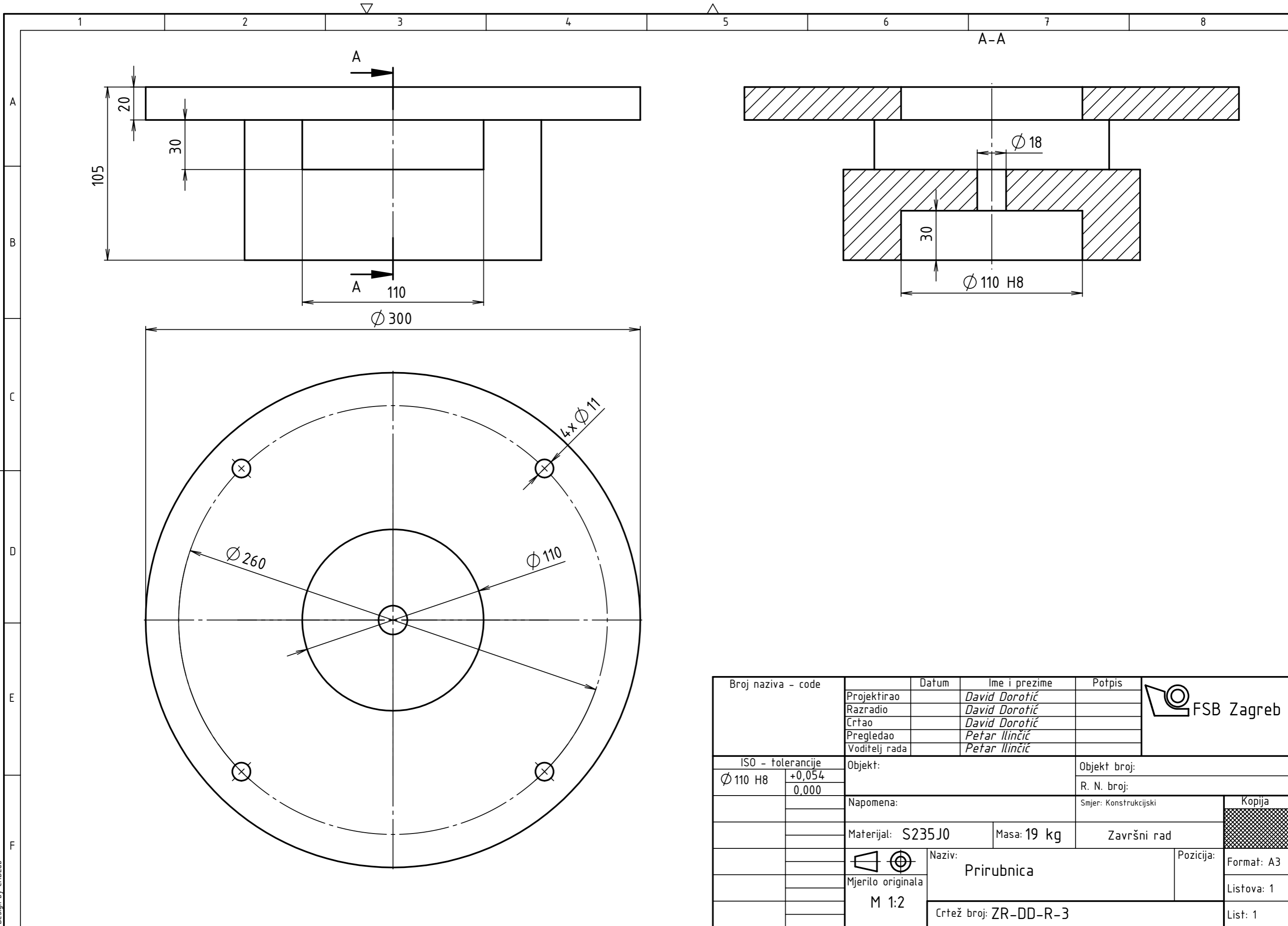
M90x4

M16 ∇ 50

| | | | | | |
|--------------------|------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|---------|
| Broj naziva - code | Projektirao | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| | Razradio | | David Dorotić | | |
| | Crtao | | David Dorotić | | |
| | Pregledao | | Petar Ilinčić | | |
| | Voditelj rada | | Petar Ilinčić | | |
| ISO - tolerancije | | Objekt: | | Objekt broj: | |
| Ø 110 f7 | -0,036 -0,071 | | | R. N. broj: | |
| | | Napomena: | | Smjer: Konstrukcijski | |
| | | Materijal: S235J0 | Masa: 20 kg | Završni rad | |
| | | Naziv: | | Pozicija: | |
| | | Mjerilo originala | | Format: A3 | |
| | | M 1:2 | | Listova: 1 | |
| | | Crtež broj: ZR-DD-R-1 | | | List: 1 |

Design by CADLab





| | | | | | |
|--------------------|-----------------|-------------------|---------------|-----------------------|------------|
| Broj naziva - code | Projektirao | Datum | Ime i prezime | Potpis | |
| | Razradio | | David Dorotić | | |
| | Crtao | | David Dorotić | | |
| | Pregledao | | Petar Ilinčić | | |
| | Voditelj rada | | Petar Ilinčić | | |
| ISO - tolerancije | | Objekt: | | Objekt broj: | |
| Ø 110 H8 | +0,054 0,000 | | | R. N. broj: | |
| | | Napomena: | | Smjer: Konstrukcijski | |
| | | Materijal: S235J0 | Masa: 19 kg | Završni rad | |
| | | | | Naziv: | |
| | | Mjerilo originala | | Prirubnica | |
| | | M 1:2 | | Crtež broj: ZR-DD-R-3 | |
| | | | | Pozicija: | Kopija |
| | | | | | Format: A3 |
| | | | | | Listova: 1 |
| | | | | | List: 1 |

