

# 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:* **2024-12-22**

*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 zabravljivanja .....	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

<b>BROJ CRTEŽA</b>	<b>Naziv iz sastavnice</b>
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**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$A_0$	mm <sup>2</sup>	Proračunska površina presjeka
$A_j$	mm <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	Gravitacijska konstanta
$\Delta h_{d,d}$	MJ/kg	Donja ogrjevna vrijednost Diesel goriva
$I_i$	mm <sup>4</sup>	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
$\Delta T$	K	Promjena temperature
$t$	mm	Debljina stijenke
$W_i$	mm <sup>3</sup>	Moment otpora presjeka oko osi $i$
$x_k$	mm	Položaj težišta kolica
$x_m$	mm	Položaj težišta motora
$x_{ni}$	mm	Položaj težišta nosača $i$
$\lambda$		Faktor vitkosti vretena
$\eta_{max}$		Efikasnost motora pri najvećoj snazi
$\rho_d$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća Diesel goriva
$\rho_v$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća vode
$\rho_U$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća motornog ulja
$\sigma$	MPa	Ekvivalentno naprezanje
$\sigma_i$	MPa	Naprezanje
$\sigma_k$	MPa	Kritično naprezanje vretena za izvijanje
$\tau$	MPa	Posmično naprezanje
$\tau_t$	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 CO<sub>2</sub> 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

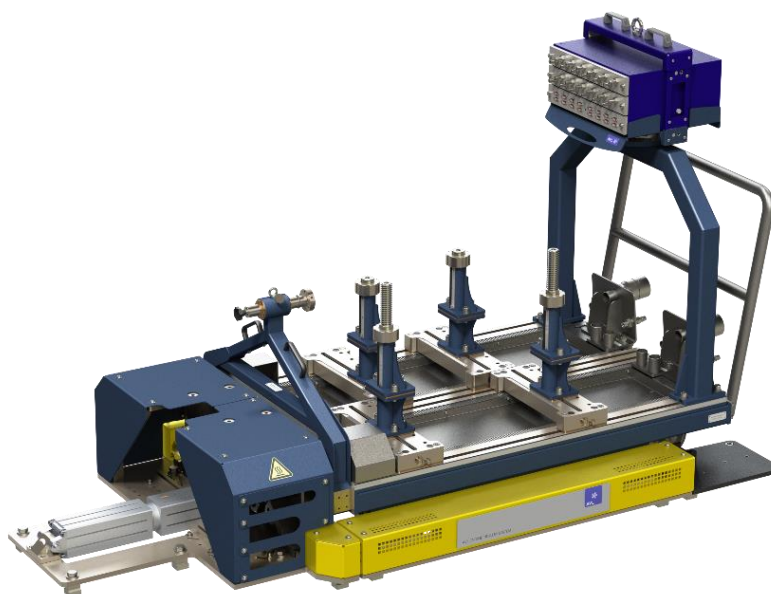
potrebne sustave, poput opskrbe gorivom, rashladnom tekućinom i sl., jer je način spajanja kočnica-izmjenjivi sustav standardiziran pa kočnicu nije potrebno prilagođavati svakom motoru posebno, već se to radi na izmjenjivom sustavu. On također olakšava prilagodbu motora ako je na njemu potrebno izvršiti 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 prihvata 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 prihvata 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.

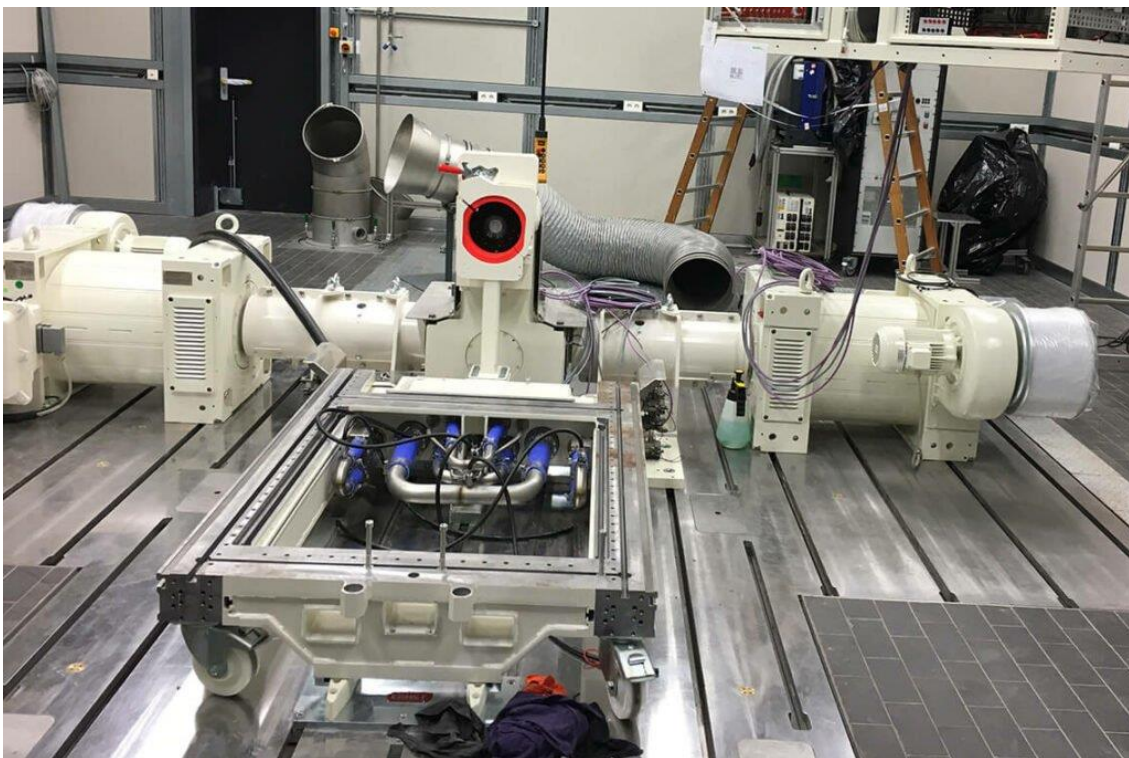


Slika 2.1 Kolica za prihvata motora [2]

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 prihvata 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.

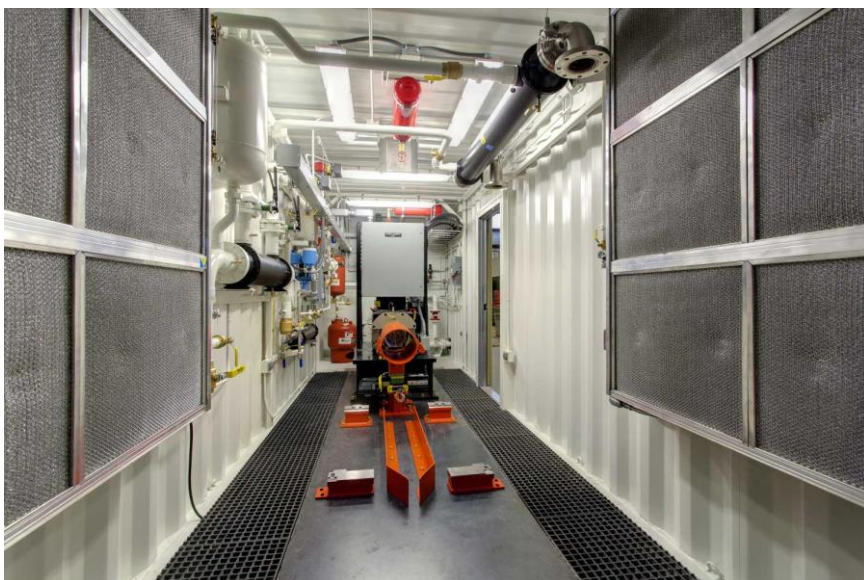


**Slika 2.4 Paletni sustav za serijsko testiranje motora [4]**

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 šestercilindarski 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\*

<b>Weight</b>		
DIN 70020 - GZ 495 kg (single stage charger) DIN 70020 - GZ 510 kg (dual stage chargers)		
<b>Dimensions</b>		
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\*

<b>Weight</b>		
DIN 70020 - GZ	652 kg (single stage charger)	
DIN 70020 - GZ	666 kg (dual stage chargers)	
<b>Dimensions</b>		
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

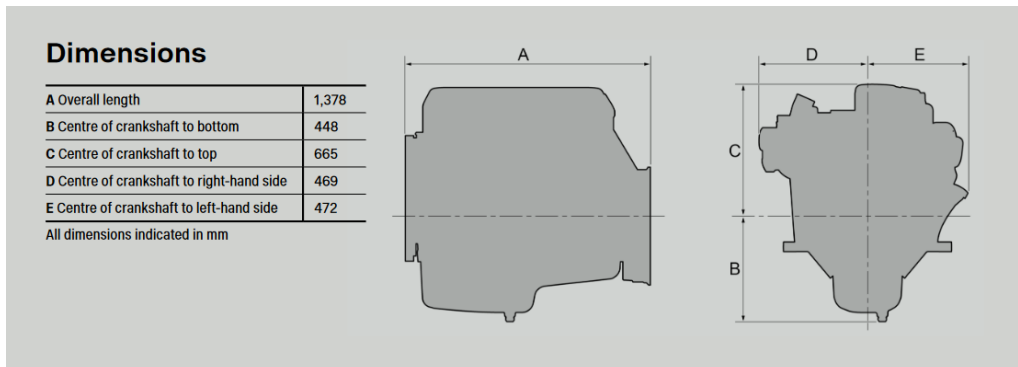
Rated power	[kW/hp]	175/238	200/272	220/299	235/320	260/354
at engine speed	[rpm]	1800	1800	1800	1800	1800
Maximal torque	[Nm]	1000	1100	1200	1300	1400
at engine speed	[rpm]	1200-1600	1200-1600	1200-1600	1200-1600	1200-1800

Slika 3.2 Mercedes OM 936 [6]

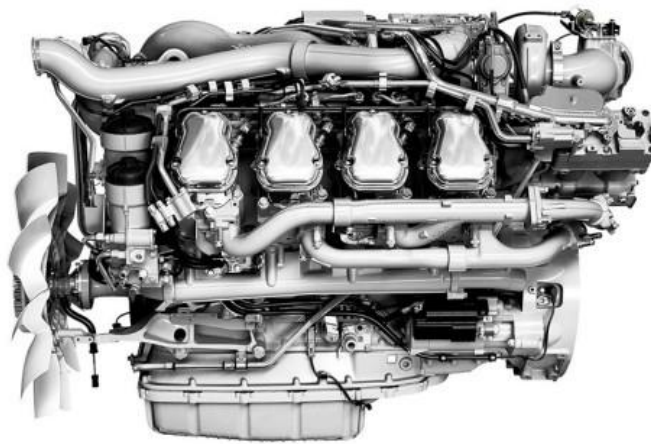


Slika 3.3 Scania DC13 [7]

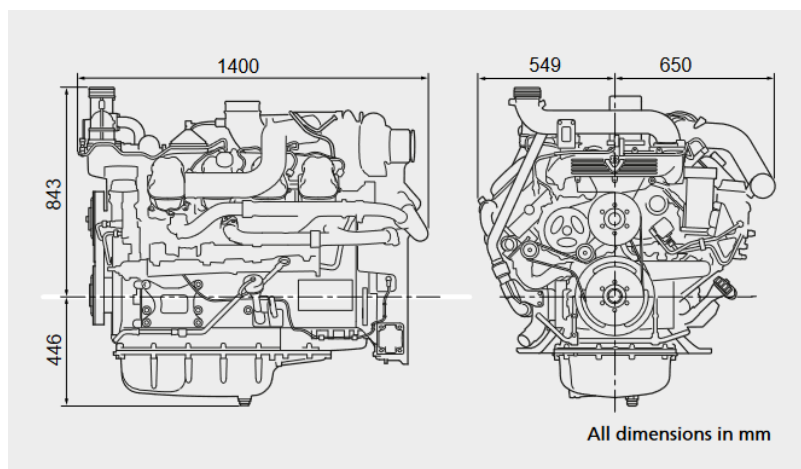




Slika 3.4 Scania DC13 [7]



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:

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

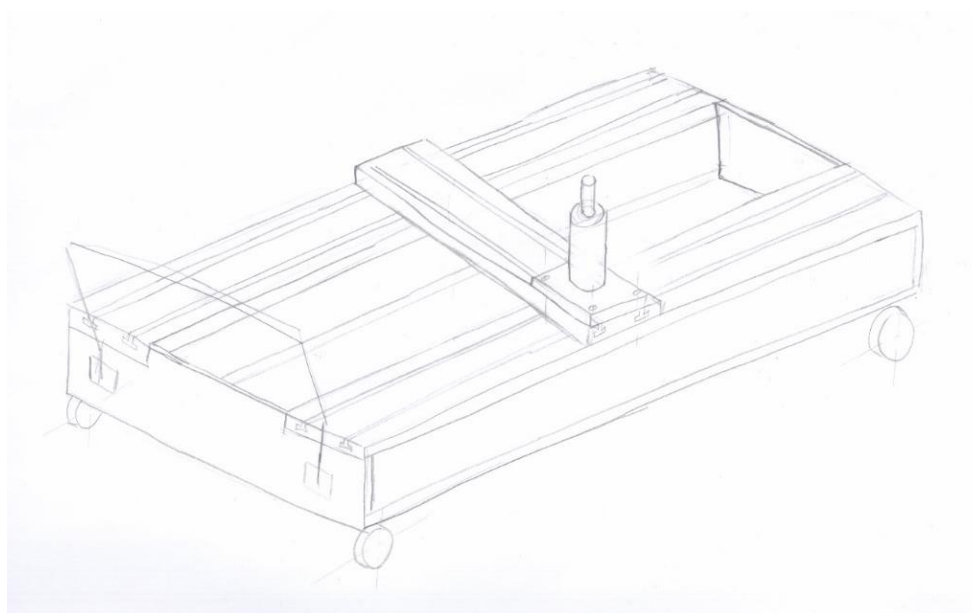
## 4. Koncipiranje izmjenjivog sustava za prihvat motora

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

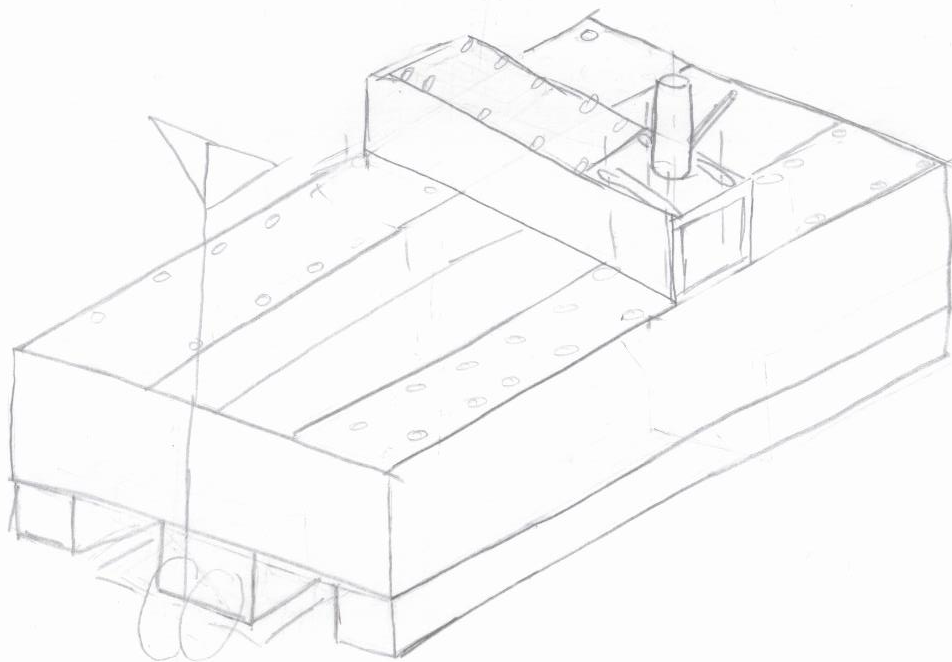
Slika 4.1 prikazuje koncept 1. Horizontalno podešavanje pozicije motora ostvareno je pločama s T utorima i T vijcima, a vertikalno upotrebom navojnog vretena. Za transport se koriste kotači i ručka na samom sustavu, tj. to je sustav u obliku kolica. Konstrukcija koncepta napravljena je zavarivanjem ravnih 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

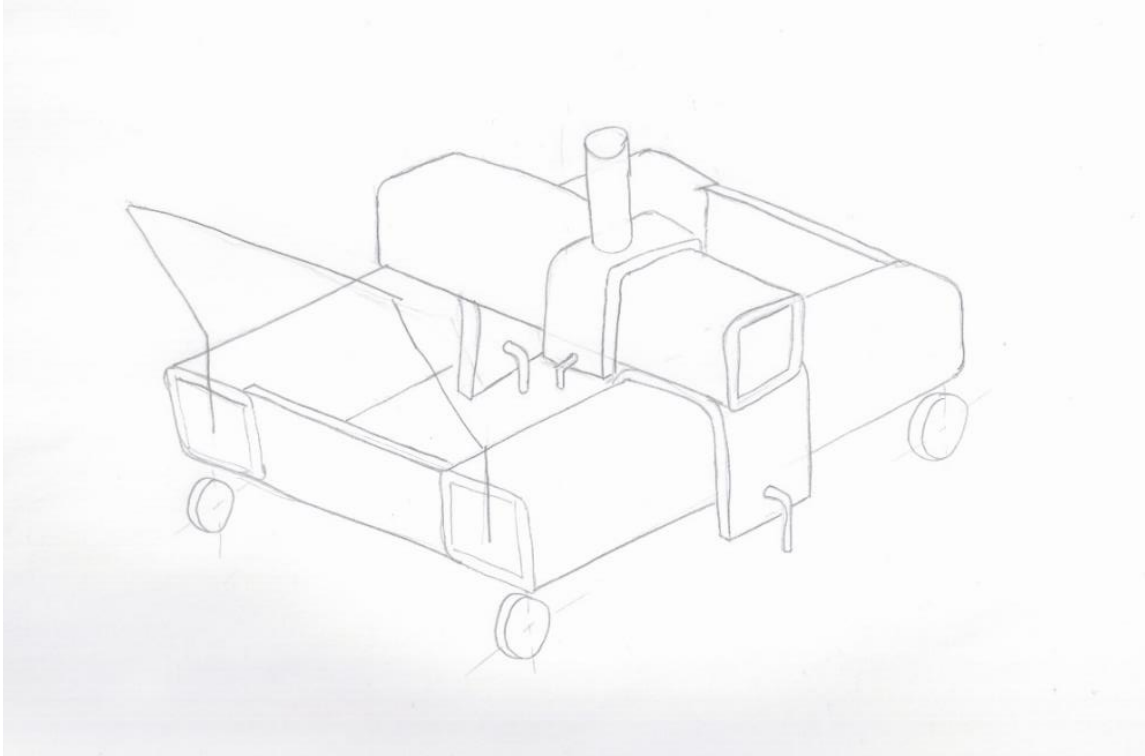
Slika 4.2 prikazuje koncept 2. Horizontalno podešavanje pozicije motora ostvareno je pločama s pravilno raspoređenim rupama s navojima, na koje se nosači učvršćuju običnim vijcima. Vertikalno podešavanje pozicije ostvareno je hidrauličkim cilindrima s ručnim pumpama. Za transport se koristi ručni viličar 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 zabravljivanje.



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

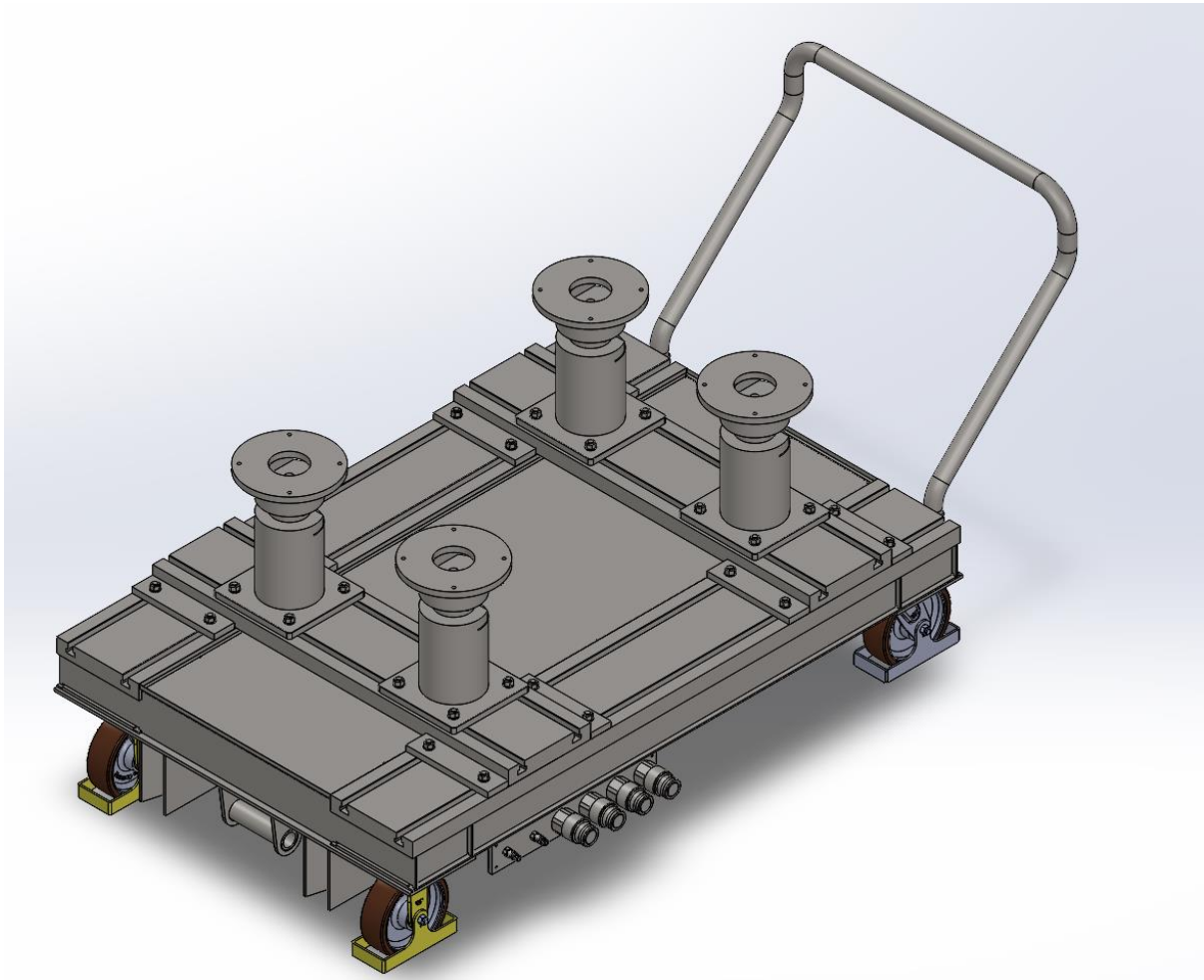
Koncept 3 je najjednostavniji i najjeftiniji za proizvesti jer se izrađuje od gotovih profila pa ima najmanje potrebnih operacija zavarivanja kako bi bio sklopljen u gotovu konstrukciju. Cijena koncepta 1 je nešto veća zbog više operacija zavarivanja, a cijena koncepta 2 zbog potrebe za hidrauličkim 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.

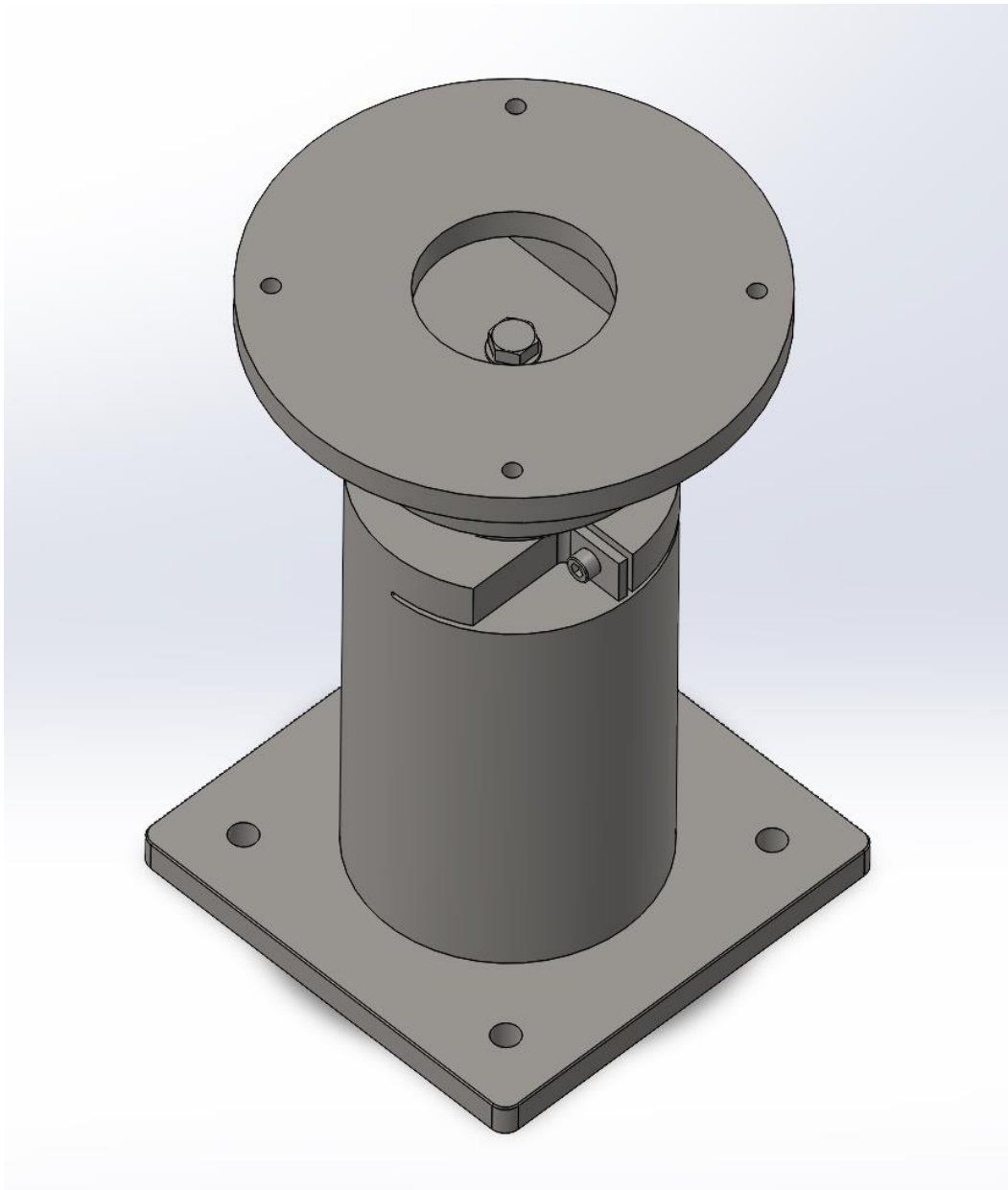


Slika 6.1 Kolica



## 6.1. Prihvat motora

Nosač motora, slika 6.2, omogućuje prilagođavanje pozicije motora.

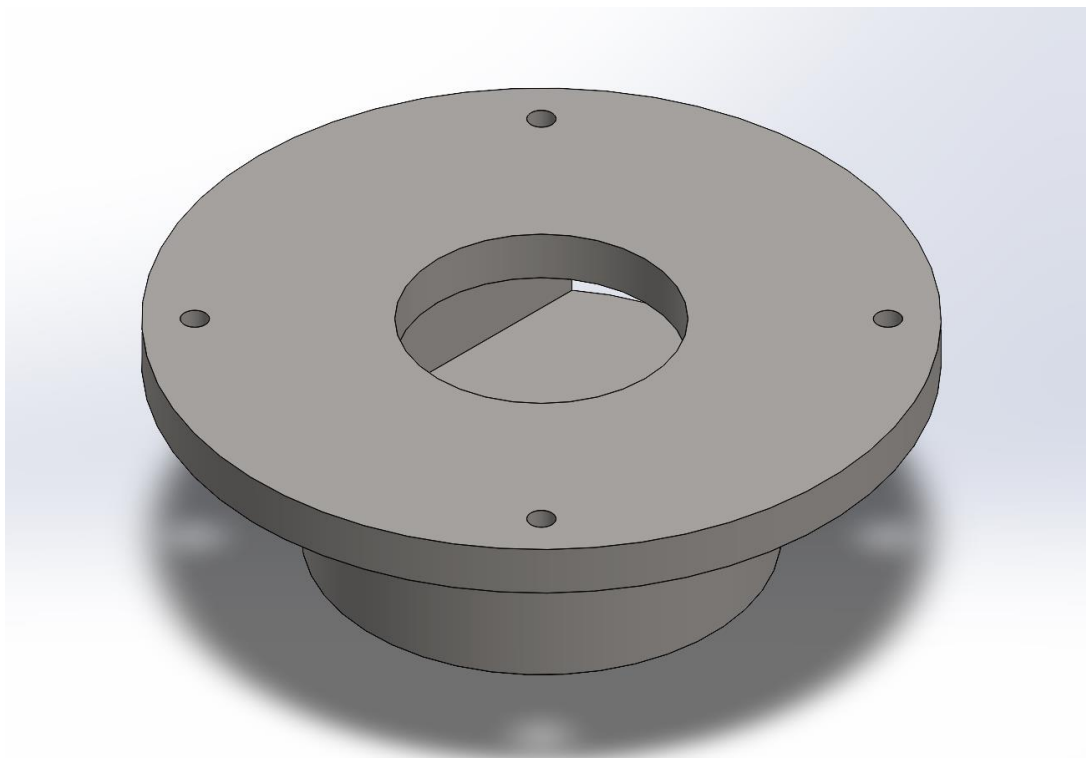


Slika 6.2 Sklop nosača

### 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

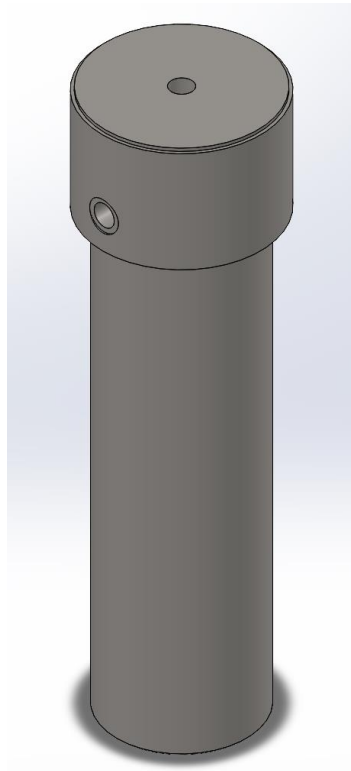
prilagoditi svakom motoru zasebno, zbog različitih izvedbi tvorničkih nosača. Radi podešavanja, nakon otpuštanja vijka prirubnicu je moguće rotirati oko središnje osi.



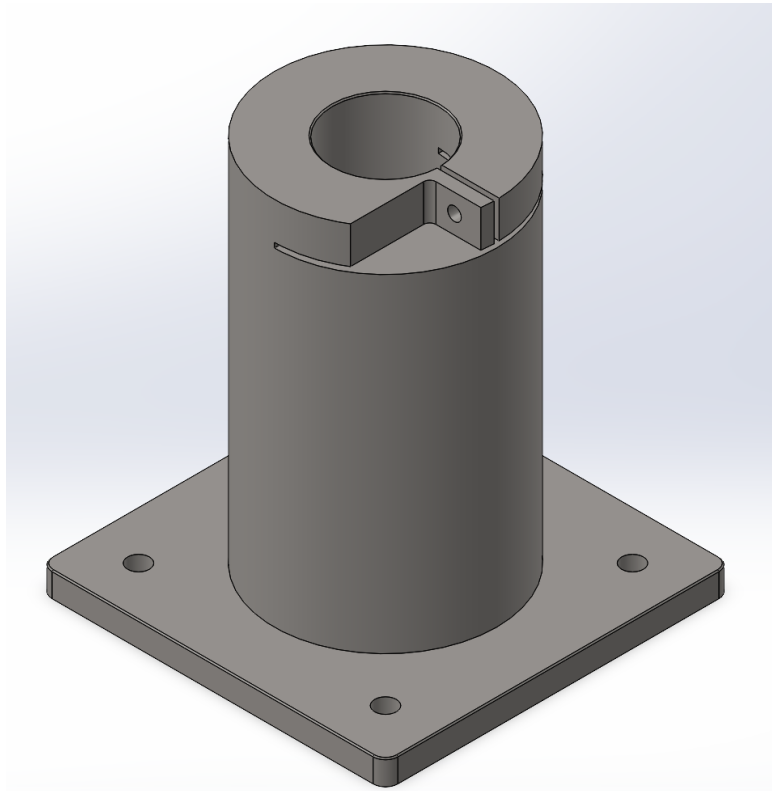
**Slika 6.3 Prirubnica**

### **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.



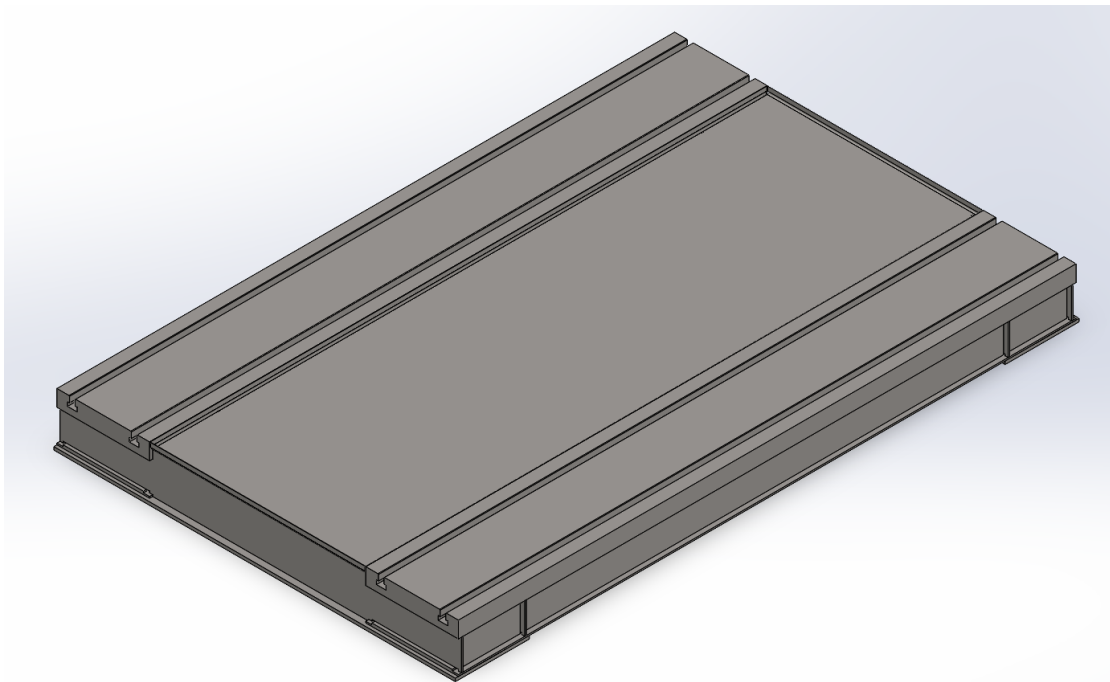
**Slika 6.4 Vretno**



**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

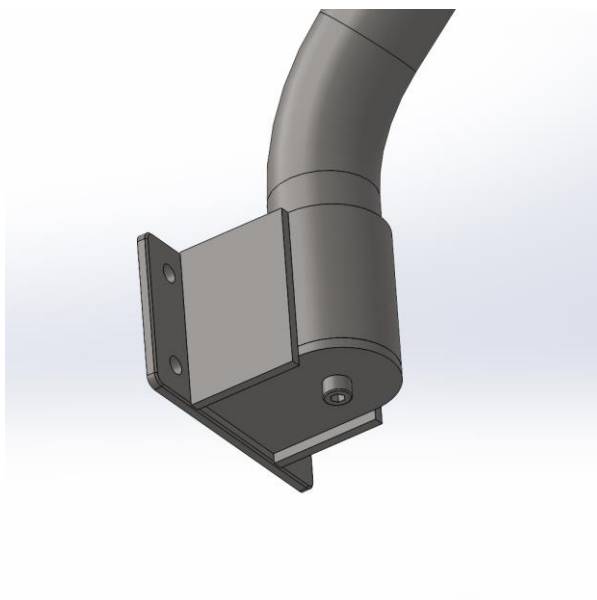
Na gornju stranu nosive konstrukcije vijcima je pričvršćena kada za sakupljanje tekućina u slučaju da dođe do curenja. Izrađena je savijanjem lima debljine 2 mm.

## 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]

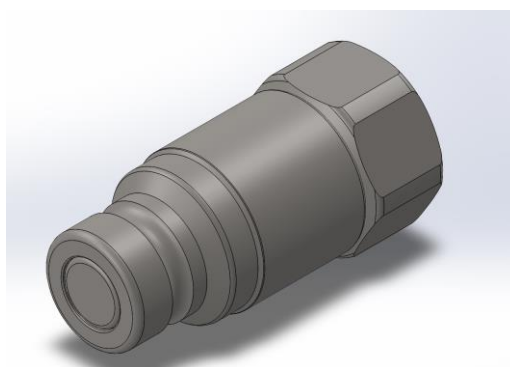
Promjer kotača, mm	250
Širina kotača, mm	80
Nosivost pri 4 km/h, kg	1800
Statička nosivost, kg	4500
Ukupna visina, mm	305
Razmak rupa za vijke, mm	140 x 105
Promjer rupa za vijke, mm	14

### 6.5. Spajanje na medije

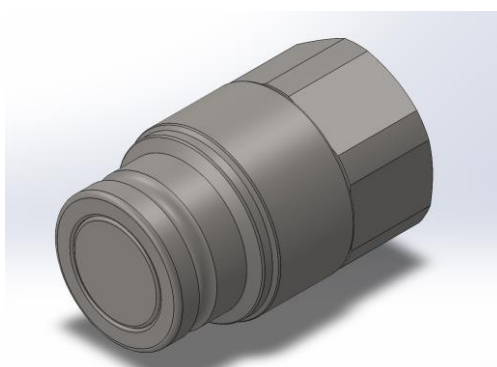
Za spajanje kolica na medije odabrane su utične spojnice prema normi ISO 16028, proizvođača Hansa-Flex. Za opskrbu gorivom odabrane su spojnice oznake SKS 06 IR 1 FS, slika 6.11, podaci u tablici 6.3, a za opskrbu rashladnom tekućinom i uljem spojnice oznake SKS 40 IR 7 FS, slika 6.12, podaci u tablici 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]**

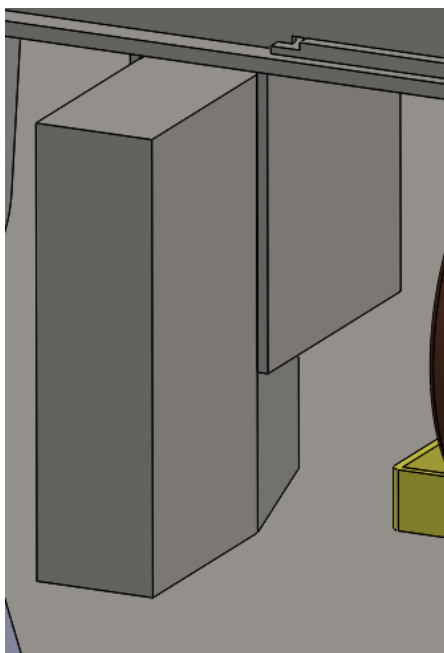
Nazivni promjer, mm	38
Maksimalni protok, L/min	380
Navoj priključka	G 1 1/2
Maksimalna temperatura tekućine, °C	100

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

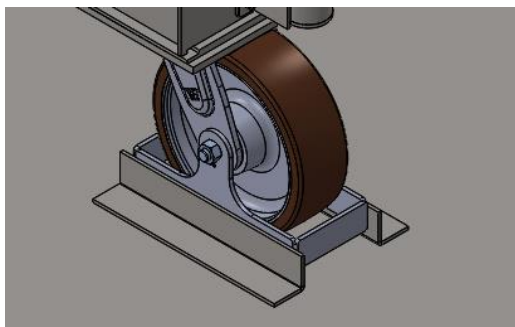


## 6.6. Osiguranje pozicije i osiguranje od pomicanja

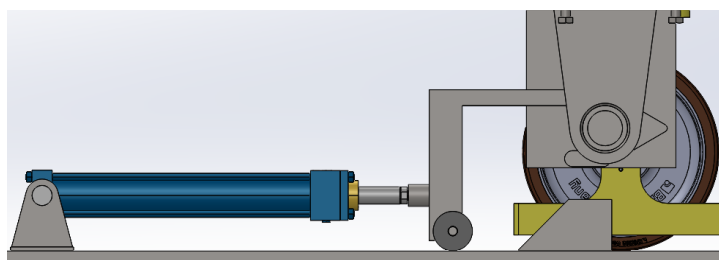
Pozicija sustava na kočnici osigurana je dvama klinovima na postolju kočnice koji se smještaju u odgovarajuće utore na kolicima, slika 6.13, i jednom vodilicom za kotač, slika 6.14. Osiguranje od pomicanja ostvareno je sustavom zabavljanja koji se sastoji od hidraulički pogonjene kuke na postolju kočnice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

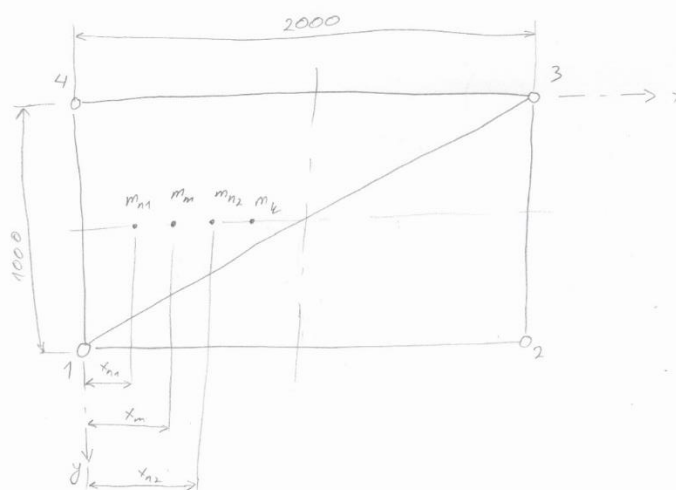
**Tablica 7.2 Dimenzije kolica**

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:

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

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

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

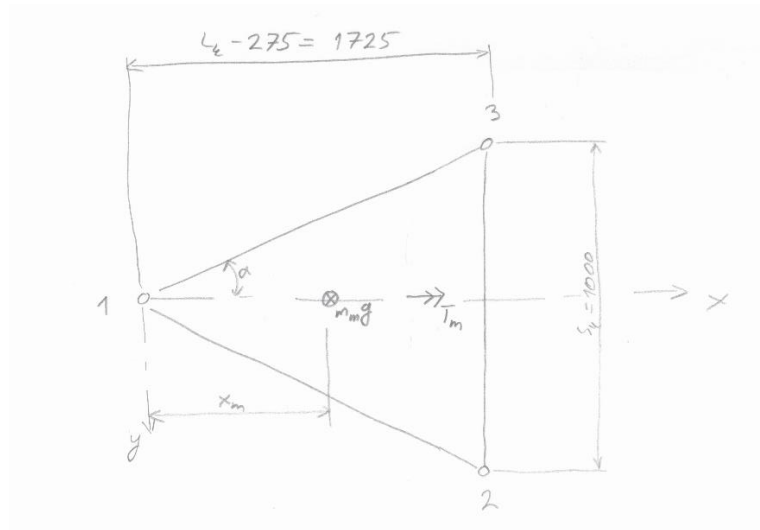
Za  $F_{min}$  nije uzet u obzir slučaj 4., jer se radi o lablnoj ravnoteži i gotovo sigurno do njega u stvarnosti neće doći. Jer proizvođači nosivost kotača deklariraju u kilogramima, potrebno je odrediti s koliko je kg proračunski opterećen kotač:

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

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 <sup>2</sup>	5764,3
$W$ , mm <sup>3</sup>	61729
$I$ , mm <sup>4</sup>	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	$\sigma_i$ , 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 naprezanje 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 naprezanje vretena prema [17] iznosi:

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

Postojeći faktor sigurnosti na izvijanje je:

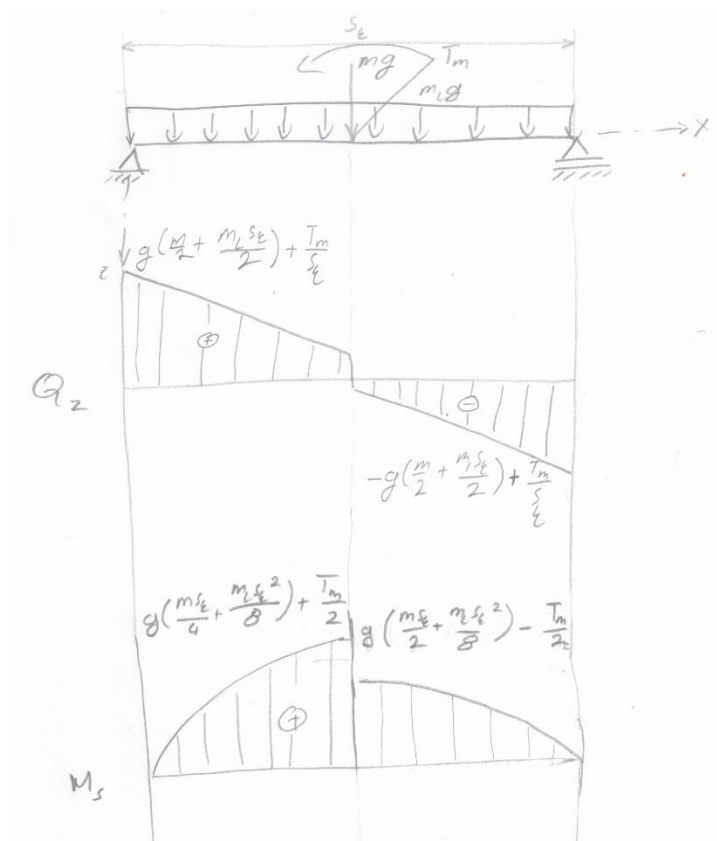
$$S_{\text{post},izv} = \frac{\sigma_k}{\sigma_2} = 3,6 > S_{\text{potr}} \quad (7.47)$$

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.

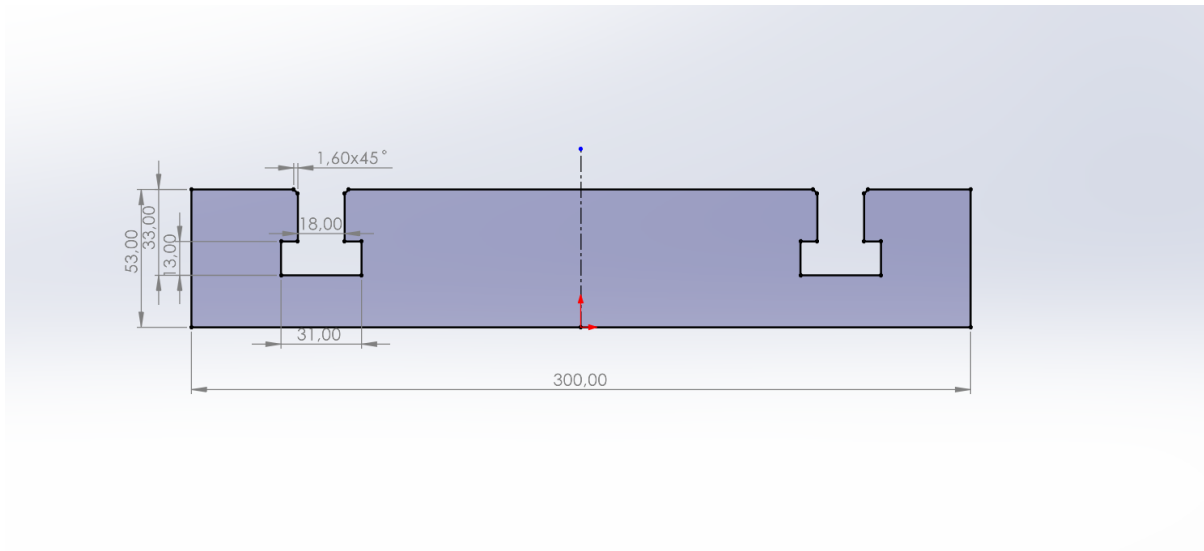


Slika 7.3 Poprečna greda

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 <sup>2</sup>	14373
Moment tromosti oko horizontalne osi kroz težište, mm <sup>4</sup>	3480735
Moment otpora, mm <sup>3</sup>	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:

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

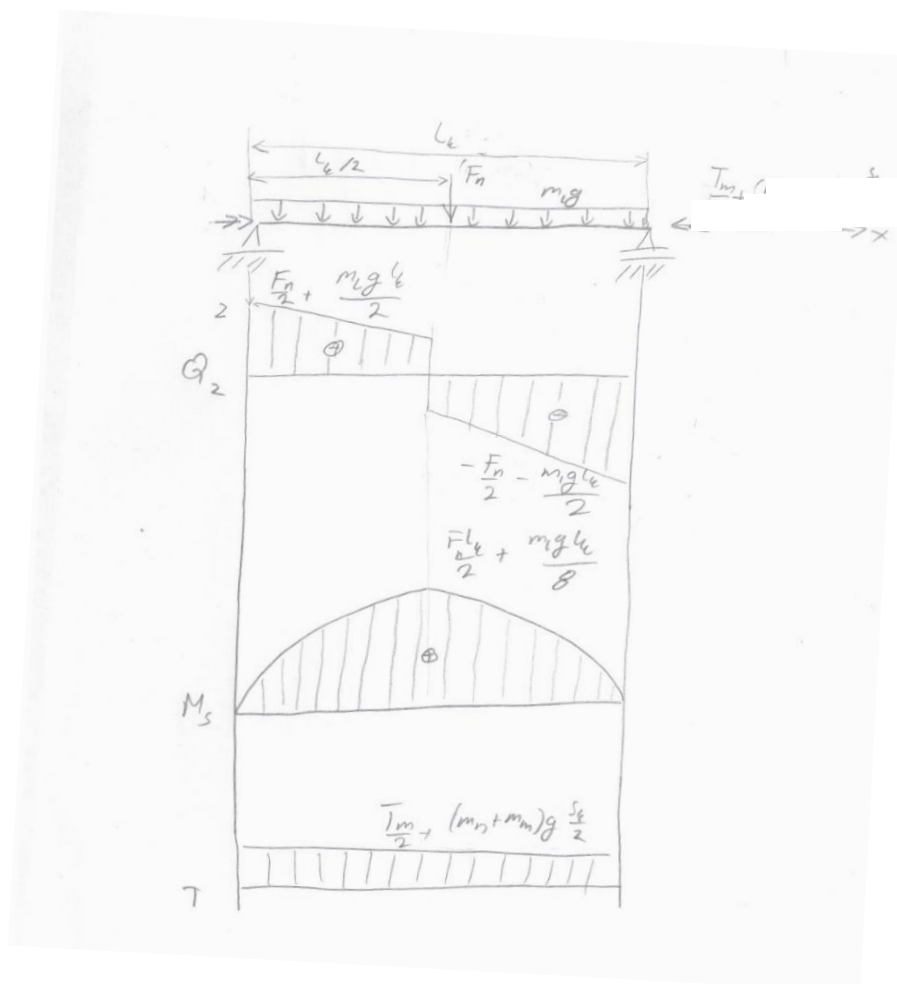
Postojeći faktor sigurnosti je:

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

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

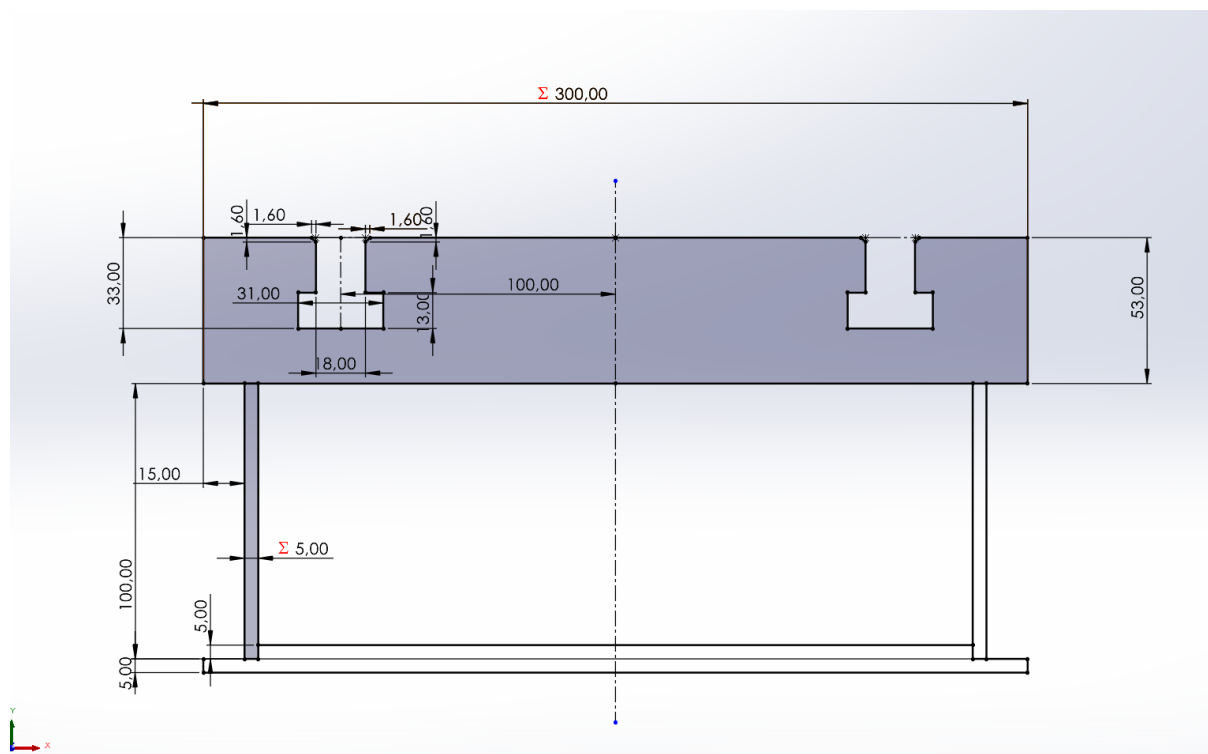
Na slici 7.5 su navedene veličine:

- $F_n = 8313 \text{ N}$  – reakcija s poprečne grede za slučaj najvećeg savojnog opterećenja
- $T = 11629 \text{ Nm}$  – moment uvijanja zbog težine motora, nosača i poprečne grede te momenta motora
- $m_l = 0,141 \text{ kg/mm}$  – duljinska masa grede.

Karakteristike poprečnog presjeka navedene su u tablici 7.7, a poprečni presjek prikazan je na slici 7.6.

**Tablica 7.7 Karakteristike poprečnog presjeka bočne grede**

Udaljenost težišta od gornje površine, mm	50,605
Površina, mm <sup>2</sup>	18124
Moment tromosti oko horizontalne osi kroz težište, mm <sup>4</sup>	43832350
Moment otpora, mm <sup>3</sup>	408142



**Slika 7.6 Poprečni presjek bočne grede**

Najveći moment savijanja iznosi:

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

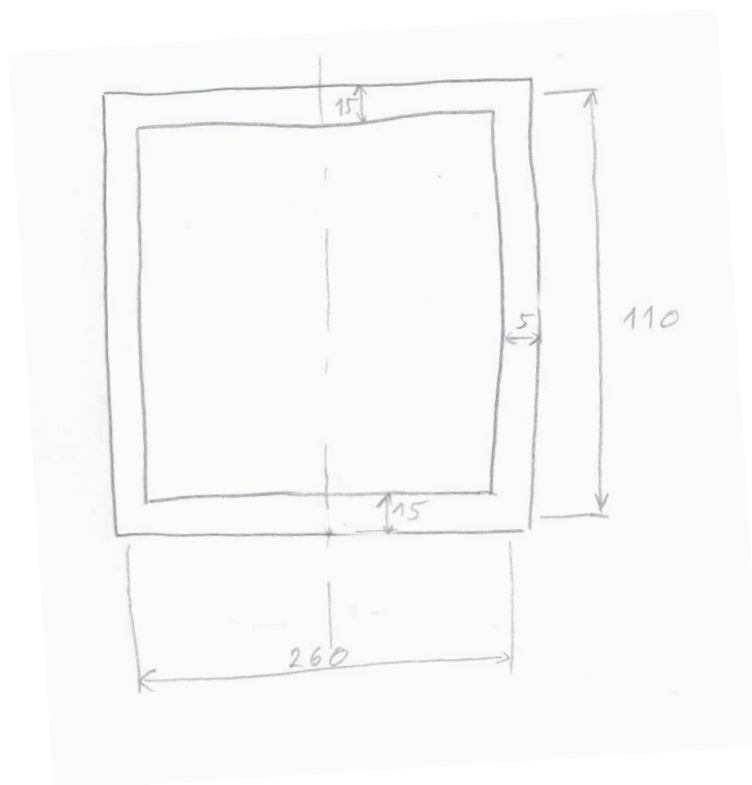
Savojno naprezanje je:

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

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.

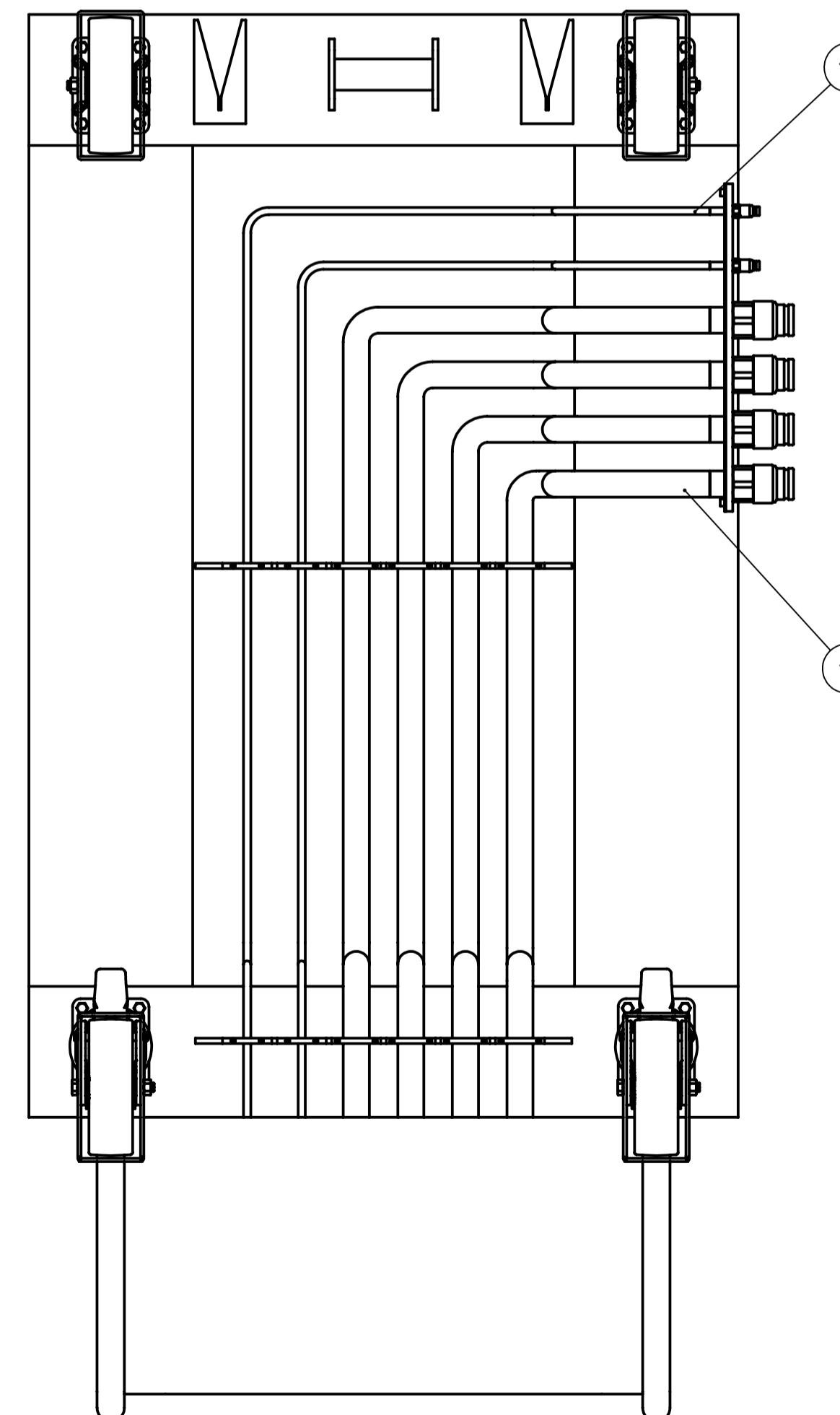
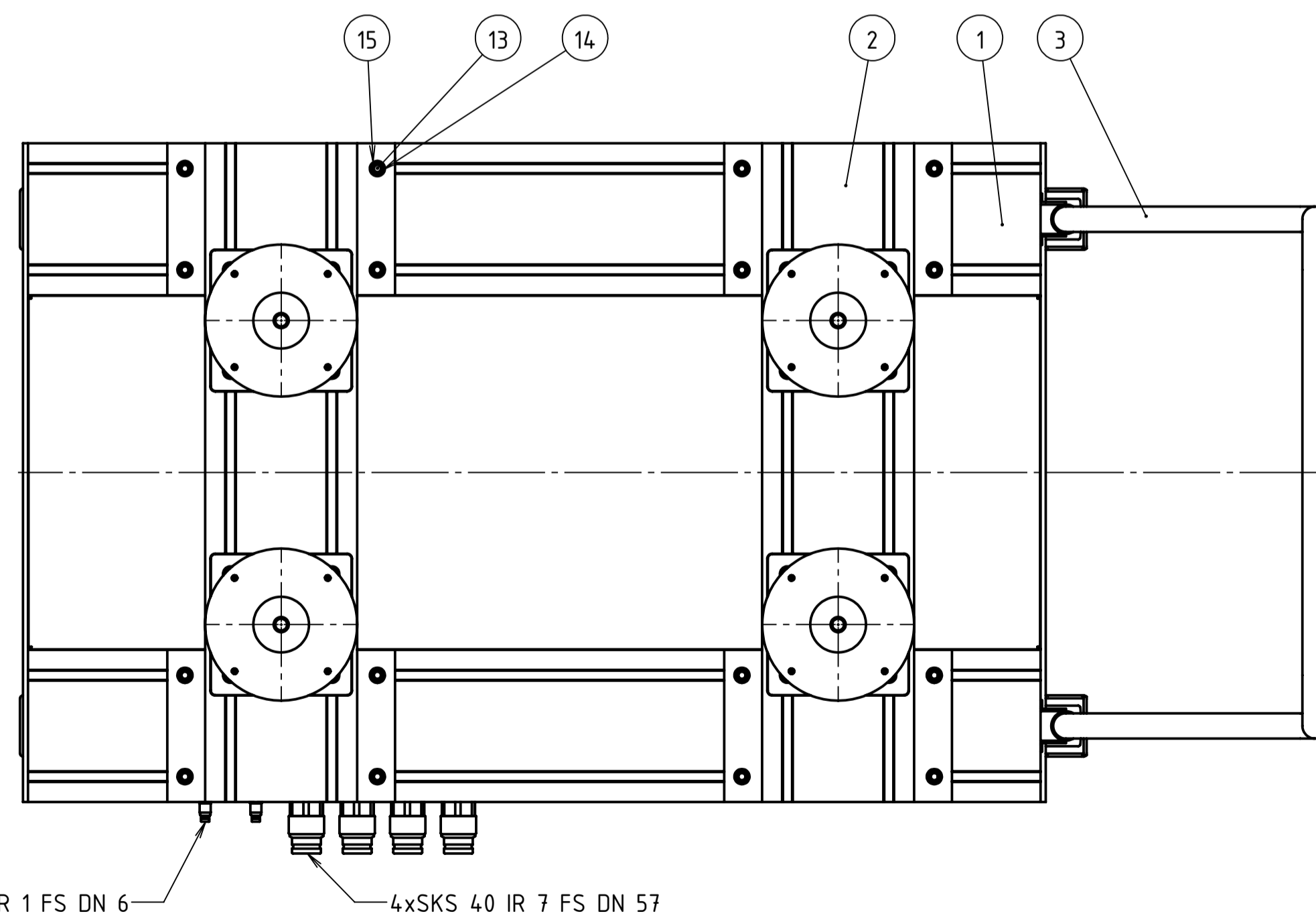
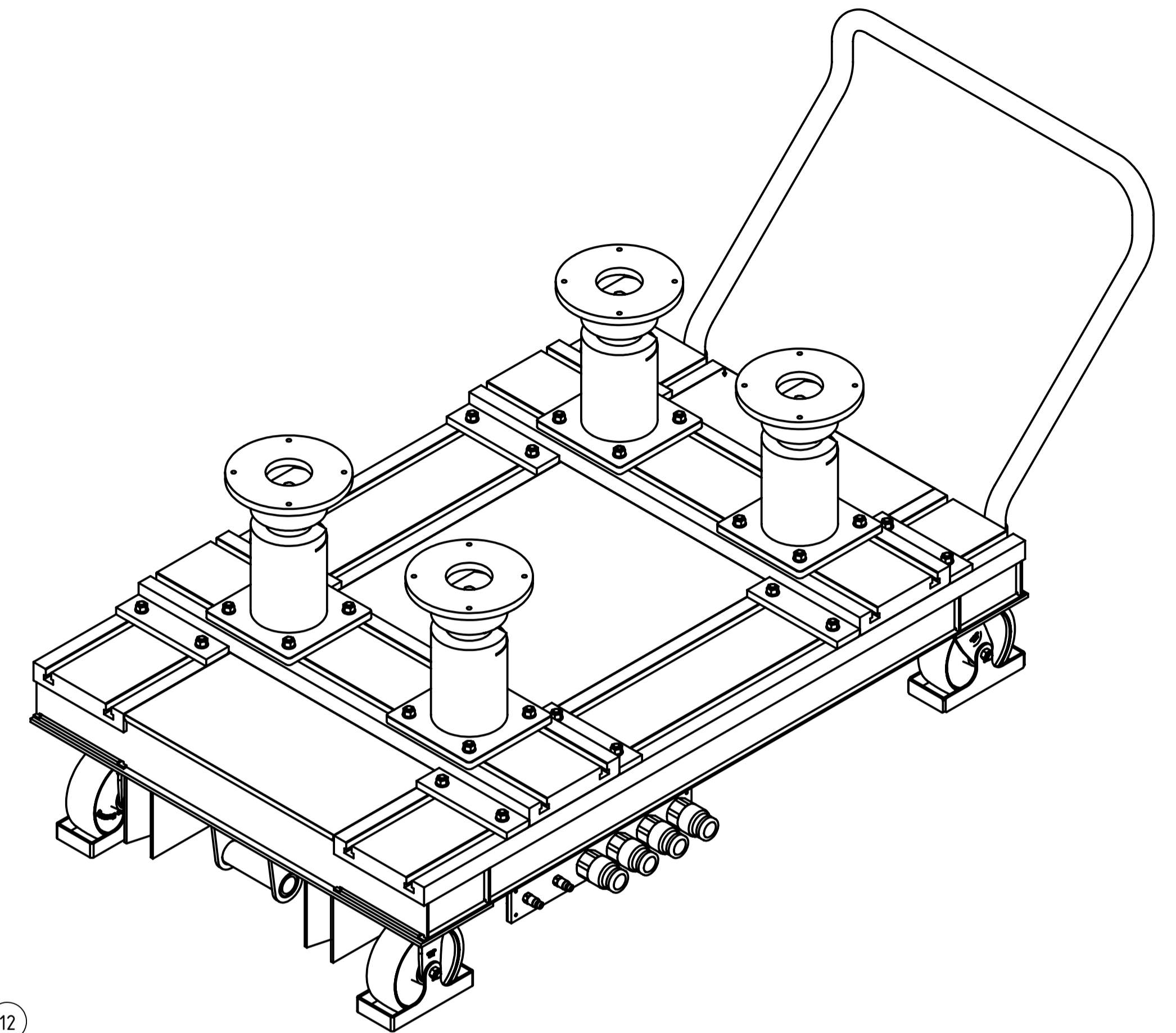
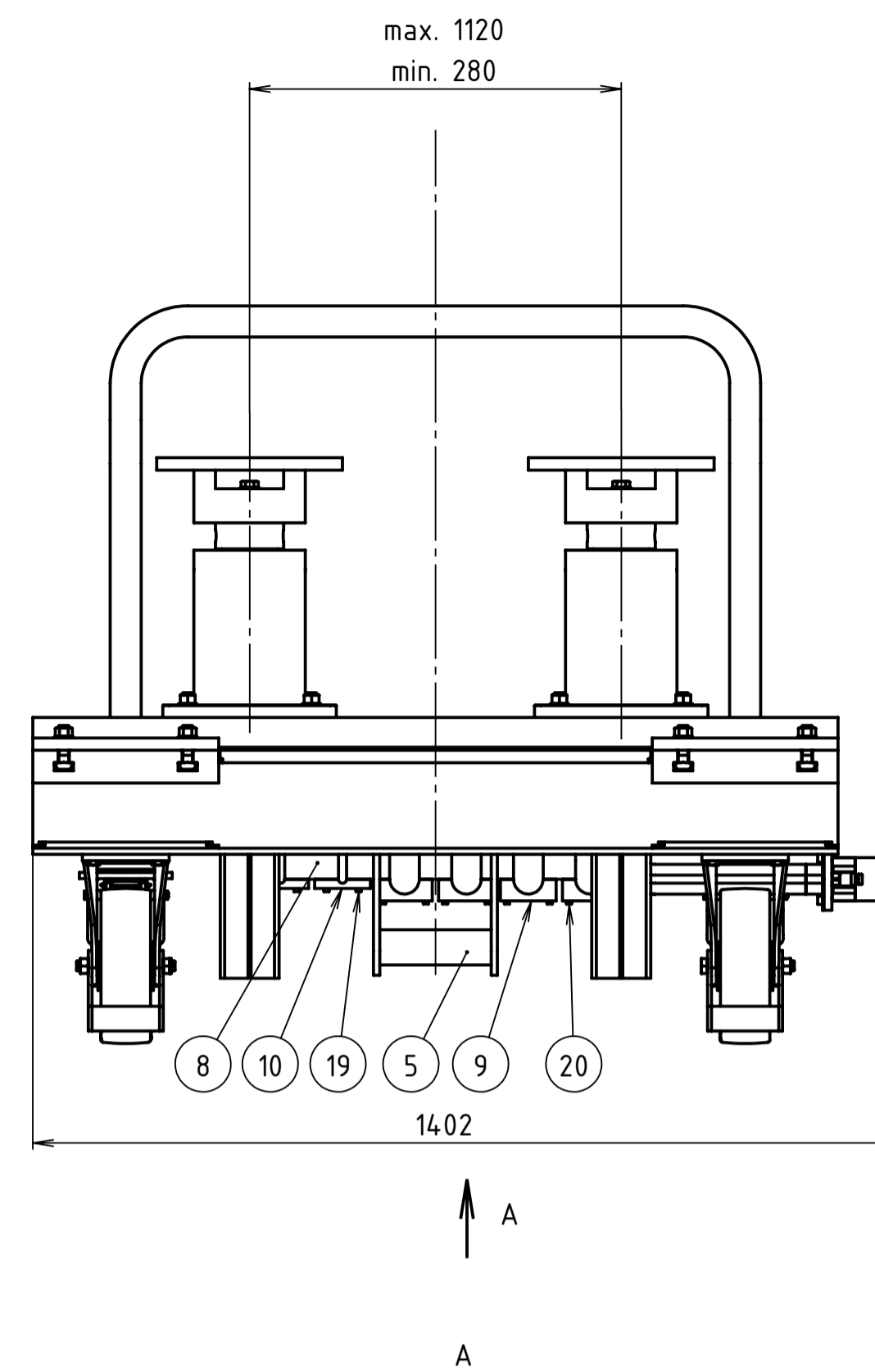
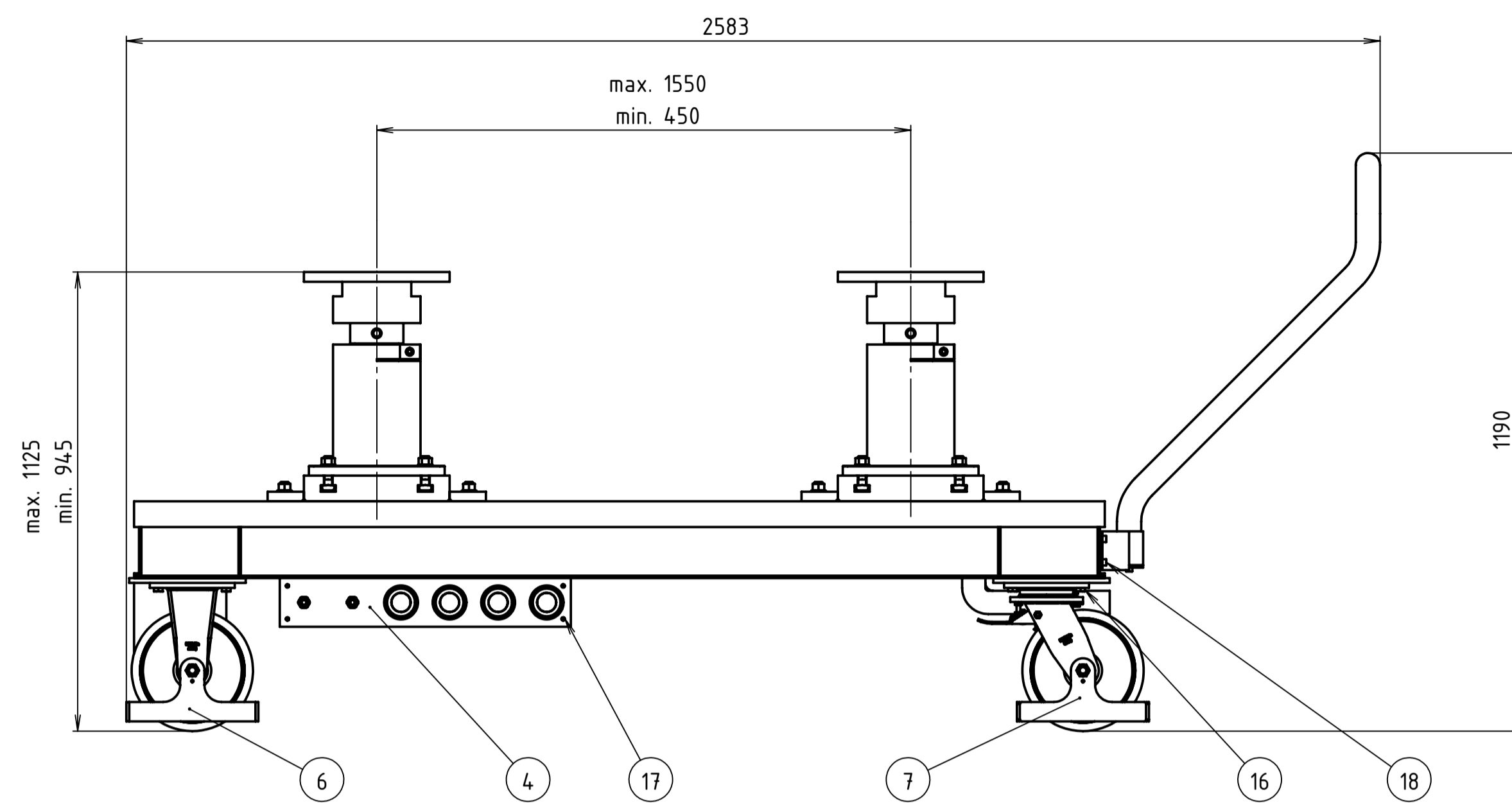
U razradi je oblikovana nosiva konstrukcija, nosači motora i ručka te su odabrani kupovni dijelovi. Proveden je i proračun čvrstoće konstrukcije i nosača te opterećenja kotača.

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](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](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](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](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](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.

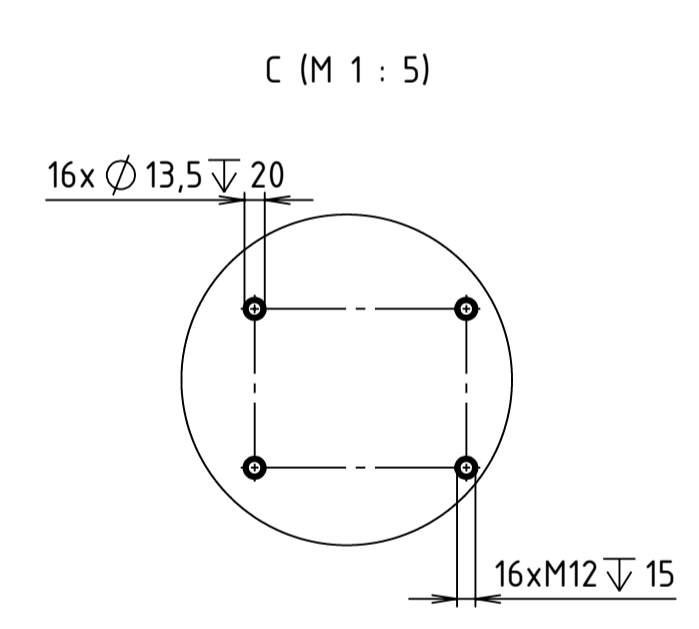
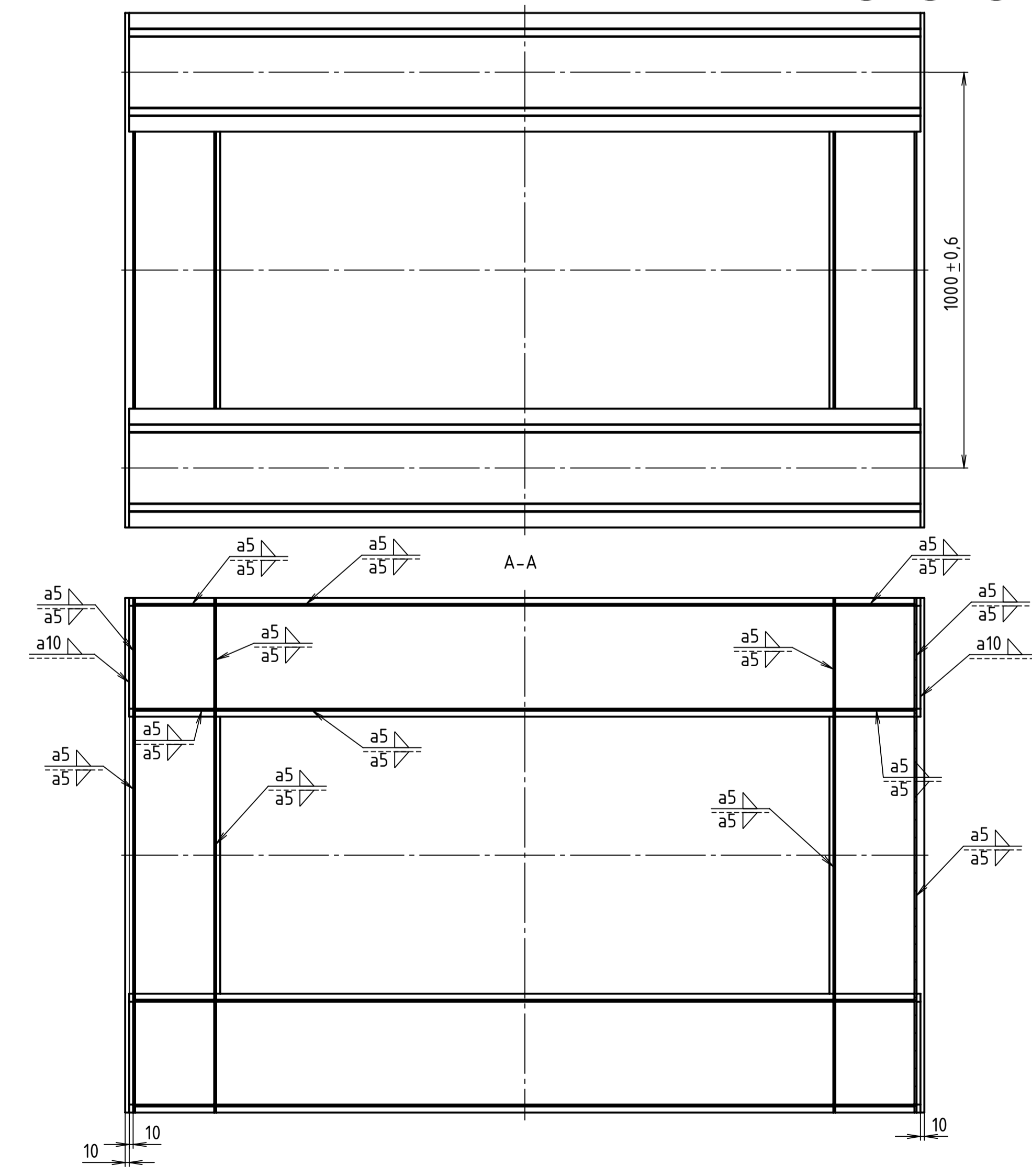
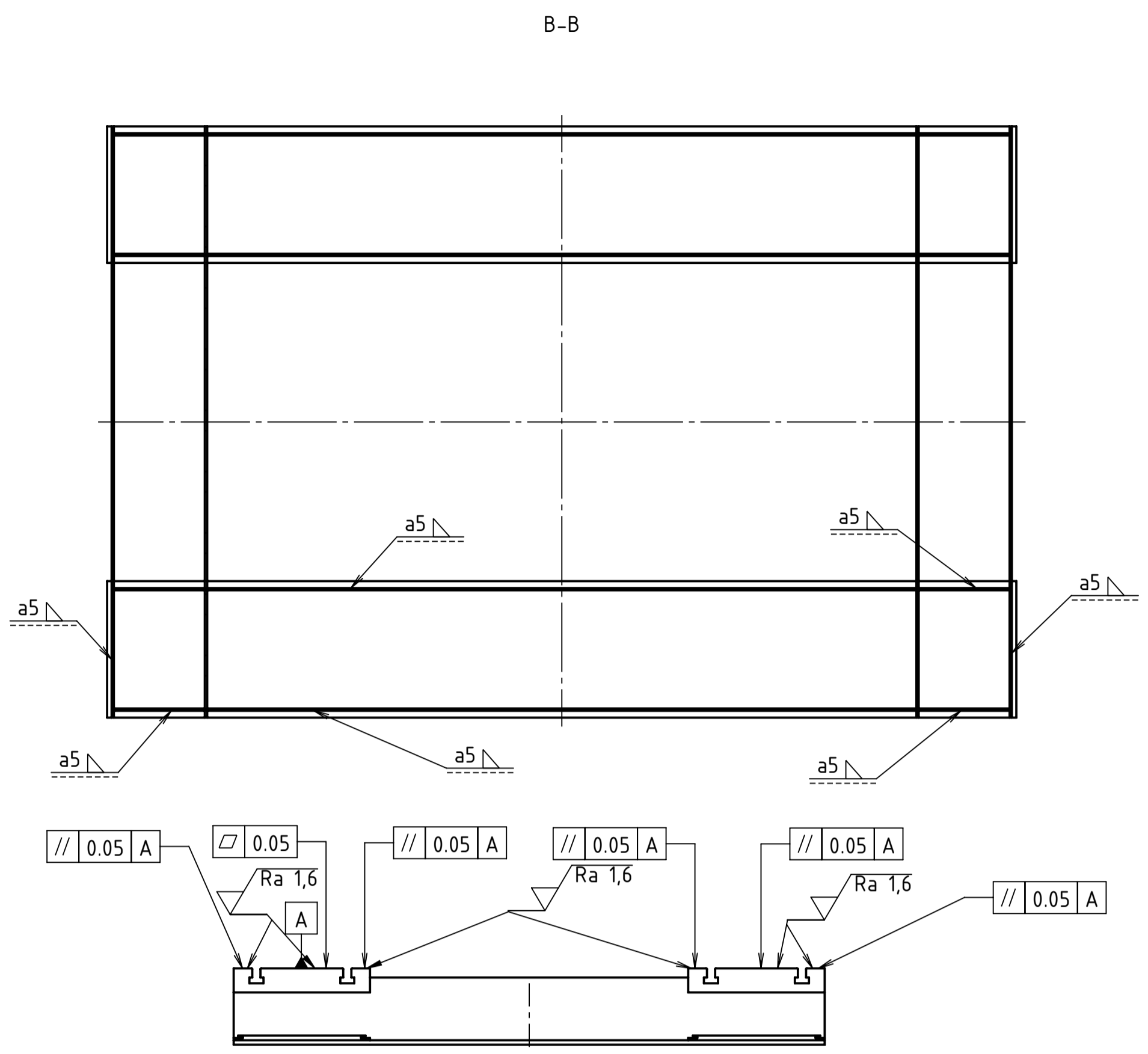
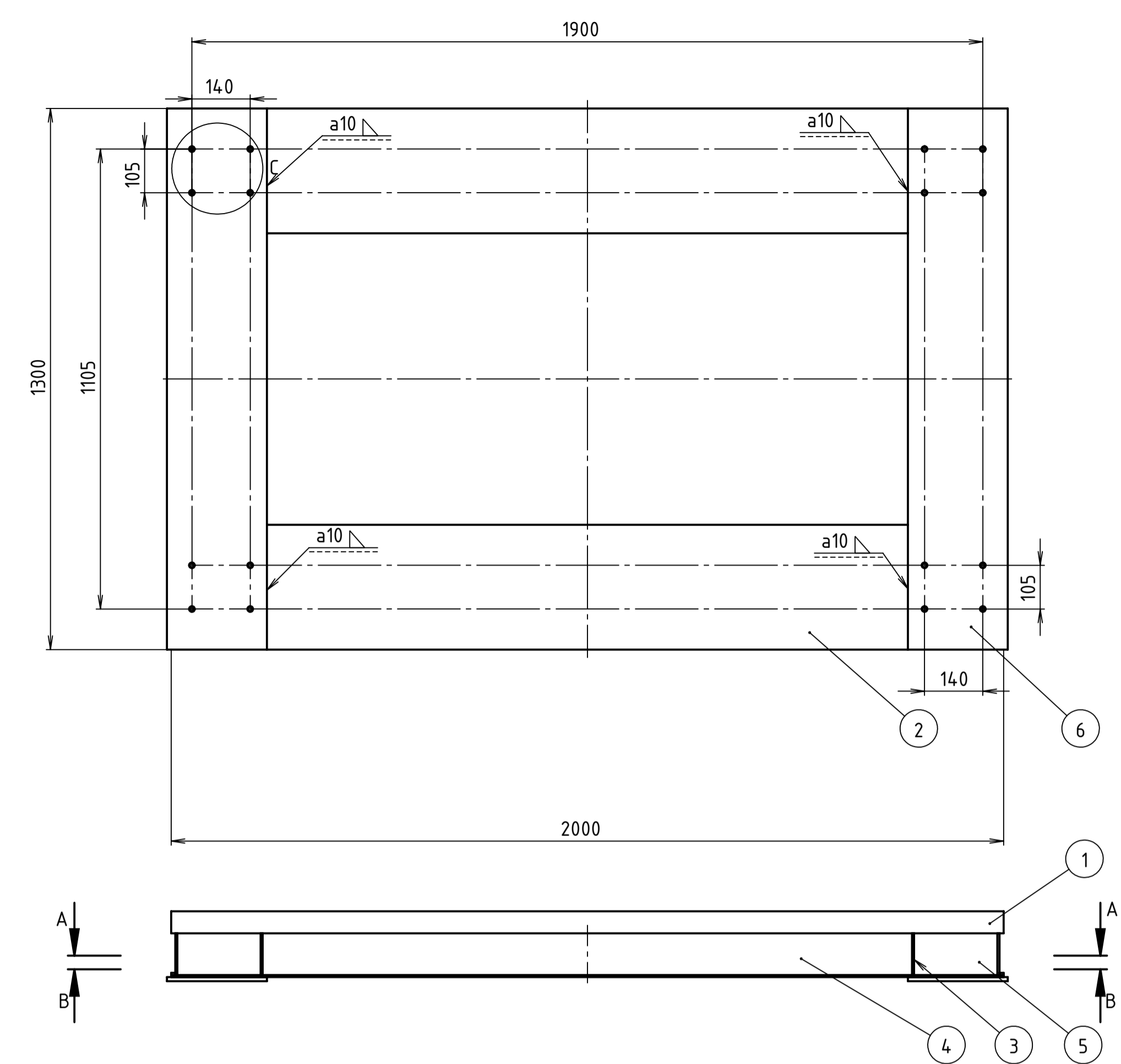


20	Vijak	8	DIN 912	10.9	M 5 x 50	
19	Vijak	4	DIN 912	10.9	M 5 x 30	
18	Vijak	8	DIN 912	10.9	M 8 x 35	
17	Vijak	4	DIN 912	10.9	M 8 x 12	
16	Vijak	16	ISO 4014	10.9	M 12 X 50	
15	Podloška	16	DIN 125	14H	∅30/∅17x2	
14	Matica	16	ISO 4032	10	M 16	
13	T vijak	16	ISO 299	10.9	M 16 x 60	
12	Cijev mala	2				0,3 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

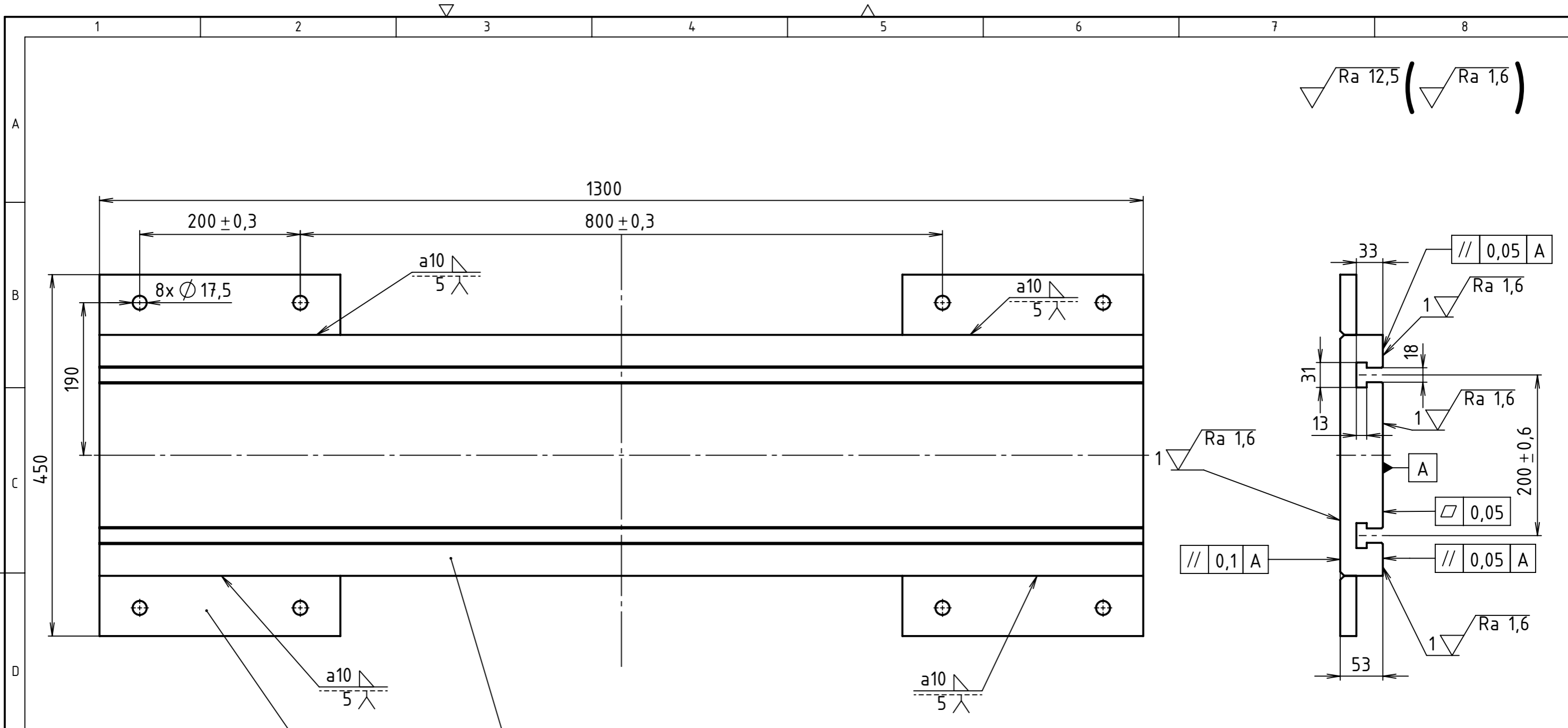
  

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao		David Dorotić	
Razradio		David Dorotić	
Crtao		David Dorotić	
Pregledao		Petar Ilincić	
Voditelj rada		Petar Ilincić	

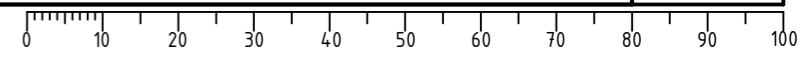
ISO - tolerancije	Objekt: Kolica	Objekt broj: ZR-DD-S-1
	Napomena:	R. N. broj:
	Materijal: S235J0	Masa: 650 kg
	Naziv: Sklop nosive konstrukcije	1
	Mjerilo originala	1
	Crtež broj: ZR-DD-S-2	

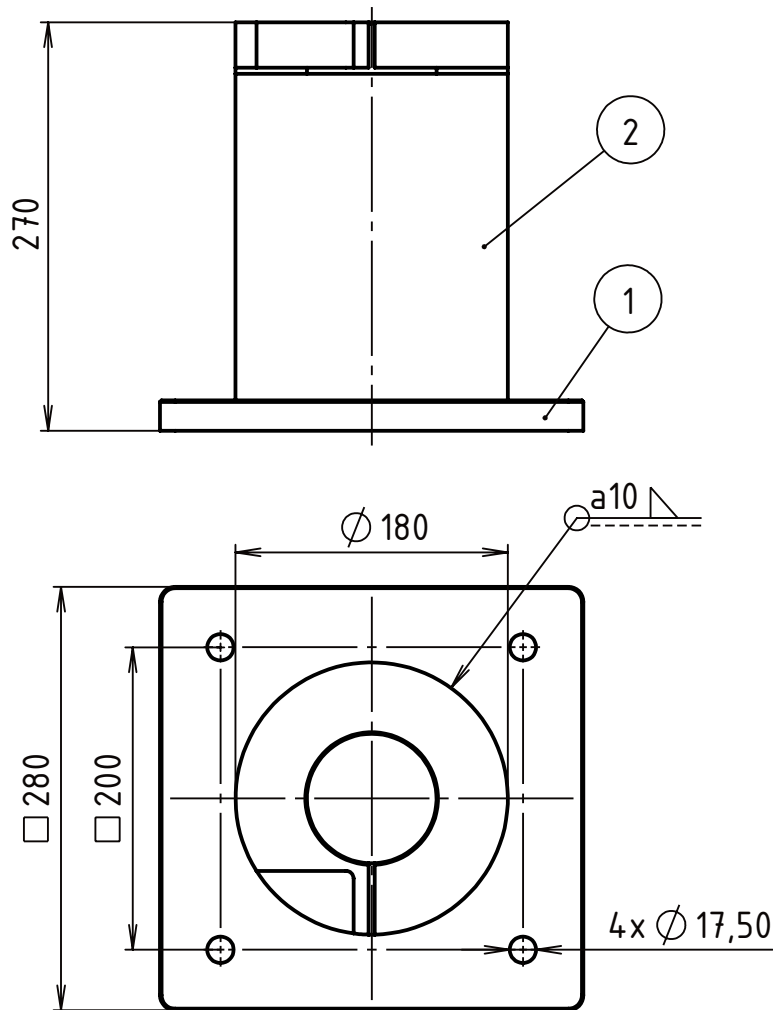
Napomena:  
Završnu obradu površine izvesti nakon zavarivanja.



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		Kopija		
	Materijal:	Masa: 160 kg	Završni rad			
	Mjerilo originala	Naziv: Poprečni nosač				
	M 1:5	Crtež broj: ZR-DD-S-3		Format: A3		
				Listova: 1		
				List: 1		



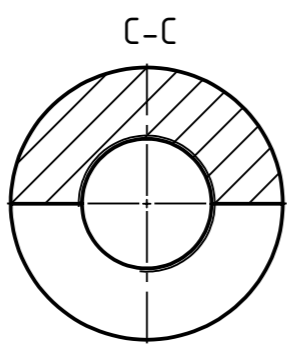
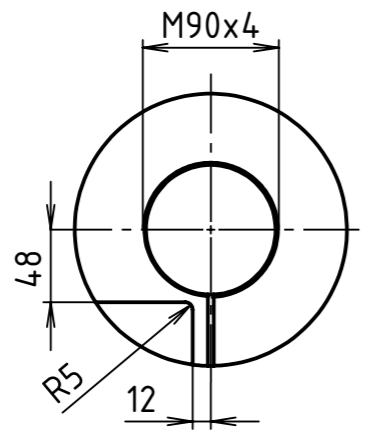
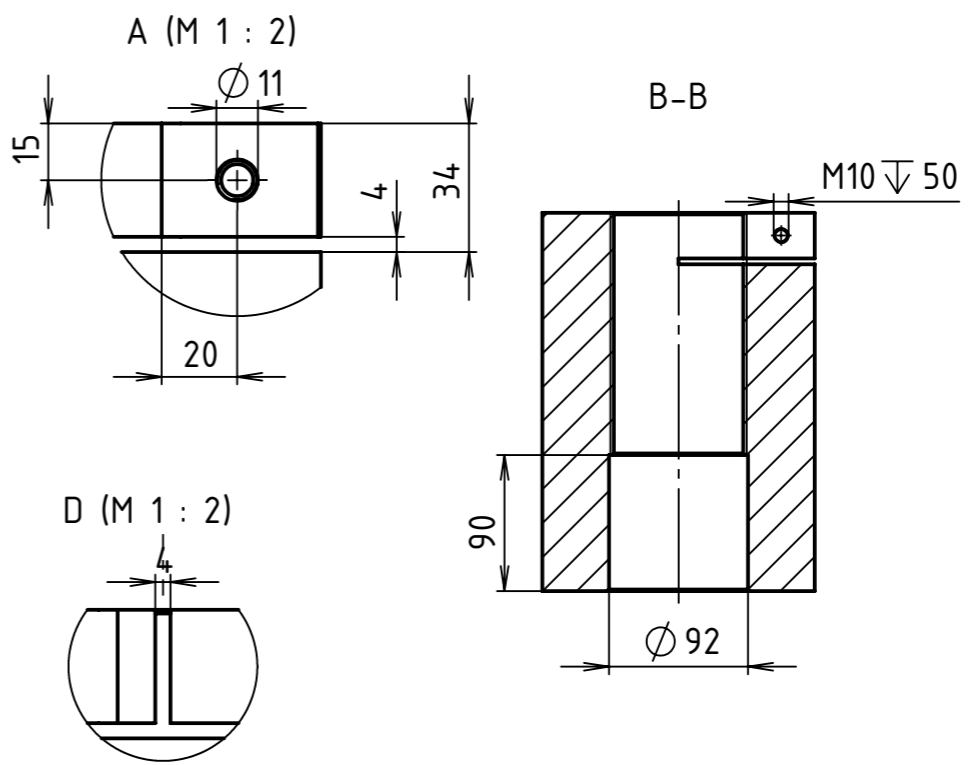
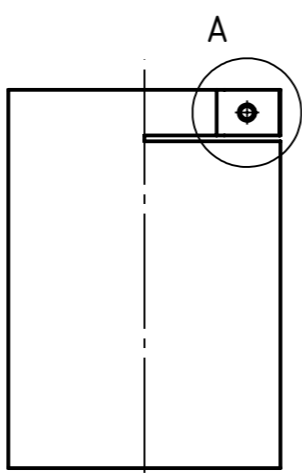
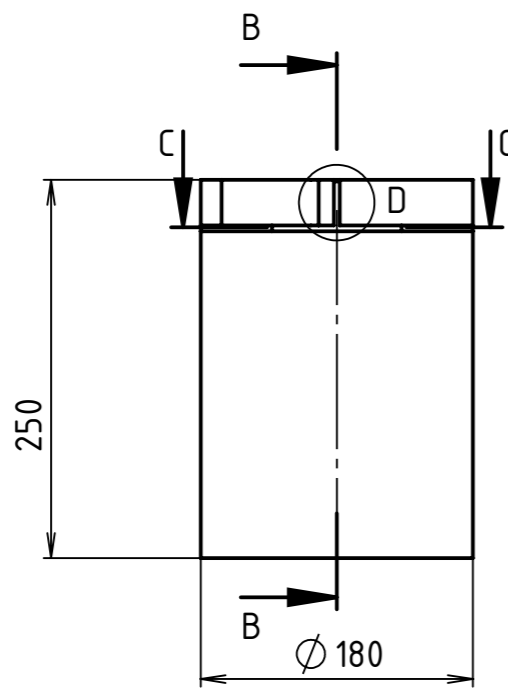


2	Ploča	1		S235J0	□ 280x10	12 kg
1	Matica	1	ZR-DD-R-2	S235J0	∅ 180x250	37 kg
Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež br.	Materijal	Sirove dimenzije	Masa

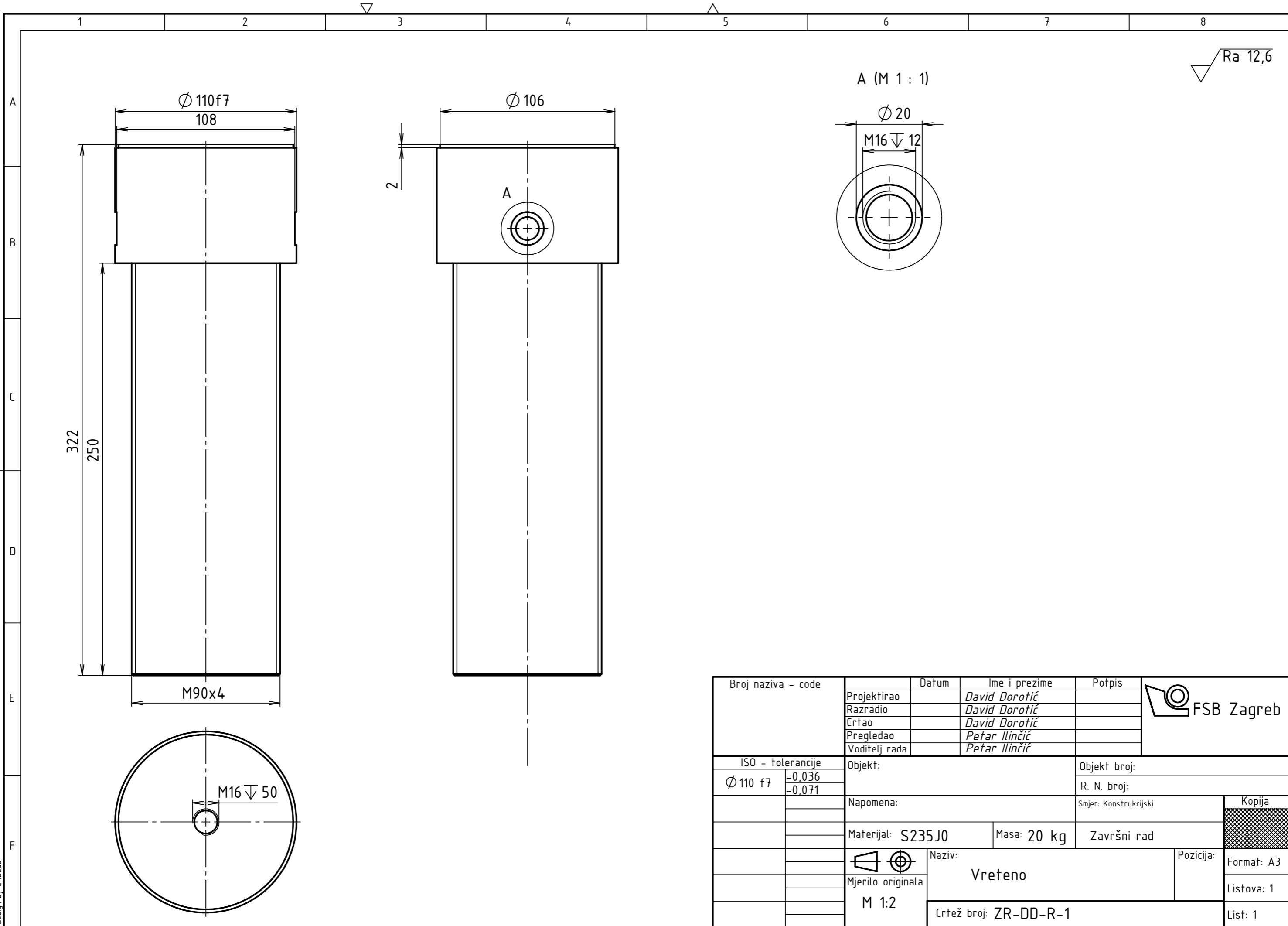
	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao		David Dorotić		
Razradio		David Dorotić		
Crtao		David Dorotić		
Pregledao		Petar Ilinčić		
Voditelj rada		Petar Ilinčić		
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:			Smjer: Konstrukcijski	Kopija
Materijal: S235J0		Masa: 49 kg	Završni rad	
	Naziv:			Pozicija: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

Design by CADLab

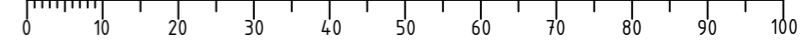
Ra 12,6

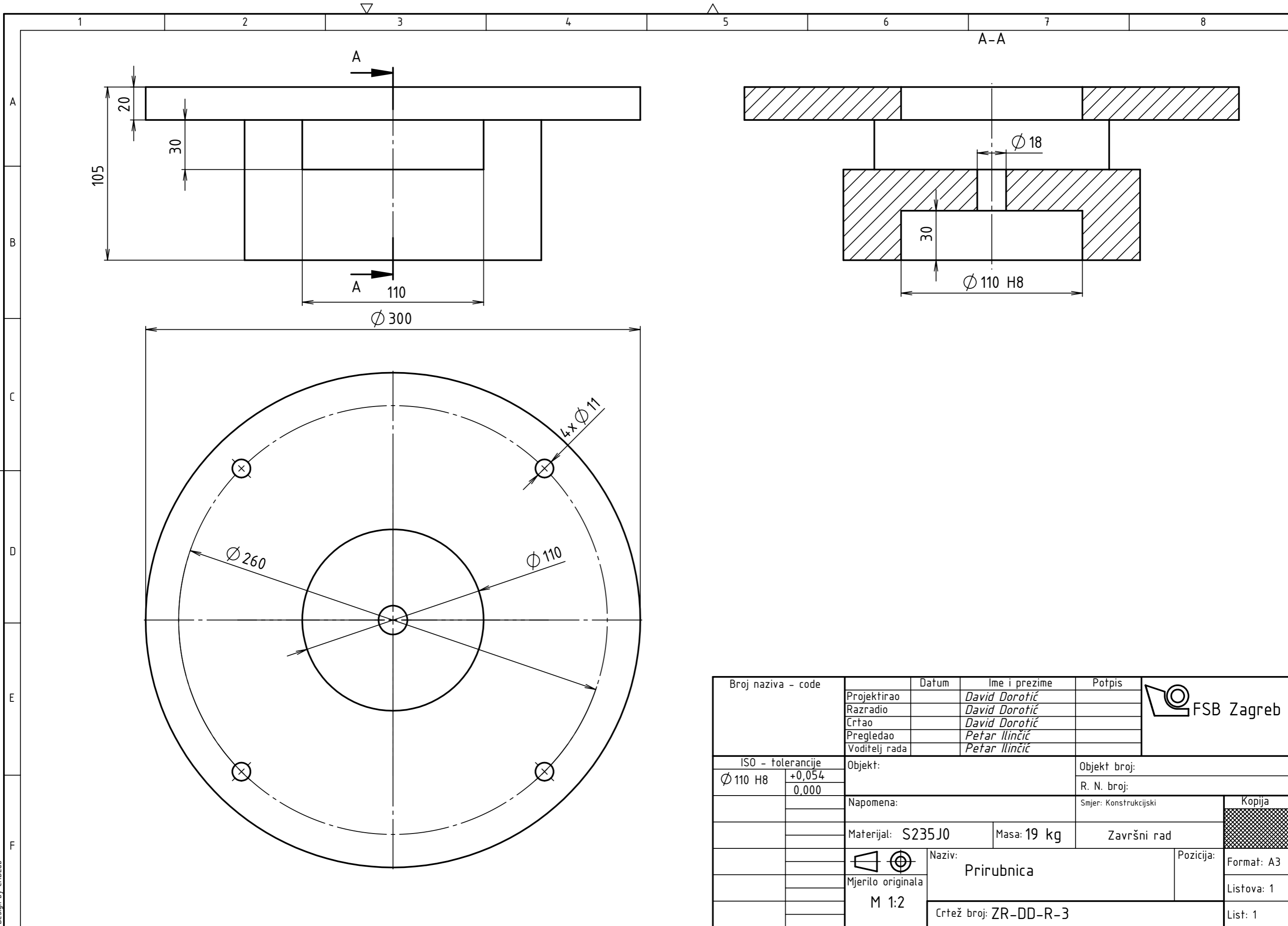


Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio		David Dorotić		
	Crtao		David Dorotić		
	Pregledao		Petar Ilinčić		
	Voditelj rada		Petar Ilinčić		
ISO - tolerancije	Objekt: Sklop matice			Objekt broj: ZR-DD-S-4	
	Napomena:			R. N. broj:	
	Materijal: S235J0	Masa: 45 kg	Završni rad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



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:	
		Mjerilo originala		Vreteno	
		M 1:2		Crtež broj: ZR-DD-R-1	
				Pozicija:	Kopija
				Format: A3	
				Listova: 1	
				List: 1	





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		Pozicija:	
		Crtež broj: ZR-DD-R-3		Format: A3	
				Listova: 1	
				List: 1	

