

# Konstrukcija ispitnog stola za testiranje curenja rashladne tekućine električnih baterijskih modula

---

**Kišić, Dominik**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:212679>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**TEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij strojarstva**

Diplomski rad

**KONSTRUKCIJA ISPITNOG STOLA ZA TESTIRANJE  
CURENJA RASHLADNE TEKUĆINE ELEKTRIČNIH  
BATERIJSKIH MODULA**

Rijeka, srpanj 2023.

Dominik Kišić

0035209336

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**TEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij strojarstva**

Diplomski rad

**KONSTRUKCIJA ISPITNOG STOLA ZA TESTIRANJE  
CURENJA RASHLADNE TEKUĆINE ELEKTRIČNIH  
BATERIJSKIH MODULA**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Goran Gregov

Rijeka, srpanj 2023.

Dominik Kišić

0035209336

## Sadržaj

1. UVOD.....	3
2. KONCEPCIJSKA RIJEŠENJA .....	7
2.1. Ulazni parametri .....	7
2.2. Koncept 1 .....	10
2.3. Koncept 2 .....	13
2.4. Validacija.....	16
3. PROJEKTIRANJE .....	18
3.1. Rotacijsko postolje.....	18
3.1.1. Proračun aluminijskog profila .....	21
3.2. Okvir ispitnog stola.....	29
3.3. Spremnik rashladne tekućine i spremnik za punjenje.....	31
3.4. Fiksator modula .....	36
3.4.1. Proračun kuta nagiba.....	36
3.4.2. Projektiranje fiksatora modula .....	40
3.5. Cijeli sklop .....	42
4. ODABIR KOMPONENATA .....	51
4.1. Hidroagregat .....	52
4.2. Regulator tlaka.....	53
4.3. Troputni ventil .....	54
4.4. Manometar.....	55
4.5. Razvodni ventil.....	56
4.6. Osjetnik protoka.....	57
4.7. Osjetnik tlaka.....	58
4.8. Sigurnosni ventil.....	59
4.9. Filter .....	60
4.10. Automatski zračnik.....	61
4.11. Nepovratni ventili.....	62
5. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA .....	63
5.1. Rotacijska platforma .....	63
5.1.1. Gumena podloga.....	64

5.1.2.	Metalna ploča .....	64
5.1.3.	U držač .....	65
5.1.4.	Kružna potpora .....	66
5.1.5.	Gornji držač .....	66
5.1.6.	Potpora za pin .....	67
5.2.	Okvir ispitnog stola .....	67
5.3.	Spremnik rashladne tekućine .....	68
5.3.1.	Oplošje spremnika .....	70
5.3.2.	Nogica .....	71
5.3.3.	Cilindrični priključak .....	71
5.3.4.	Čep .....	72
5.3.5.	Spojnik .....	73
5.4.	Spremnik za punjenje .....	74
5.4.1.	Oplošje spremnika za punjenje .....	75
5.4.2.	L profil .....	76
5.5.	Fiksator .....	76
5.5.1.	Zavareni zaustavljači .....	77
6.	ZAKLJUČAK .....	78
7.	LITERATURA .....	80
8.	POPIS SLIKA .....	81
9.	POPIS TABLICA .....	83
10.	SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI .....	84
11.	SUMMERY AND KEY WORDS .....	85

# 1. UVOD

Električni automobili koriste baterijske module kako bi osigurali dovoljnu energiju i snagu za vožnju. Osim toga, uporabom baterija smanjuje se emisija štetnih plinova što ih čini ekološki prihvatljivijima od konvencionalnih vozila na fosilna goriva. Električni baterijski moduli sastoje se od niza pojedinačnih baterijskih ćelija koje se povezuju u seriju i paralelu kako bi se postigao potreban napon i kapacitet. Moduli su fizički obično pravokutni ili kvadratni blokovi sastavljeni od nekoliko desetaka do stotina pojedinačnih ćelija. Svaki modul može imati različite karakteristike ovisno o tipu i veličini baterije koja se želi napraviti. Više baterijskih modula se obično povezuje u baterijski paket (Slika 1.1) kako bi se postigla potrebna snaga i kapacitet za električni automobil.



*Slika 1.1 Baterijski paket Rimac Nevera [1]*

Rashladna tekućina ima ključnu ulogu u električnim baterijskim modulima, pružajući učinkovito hlađenje i održavanje optimalne temperature, kako bi se osigurala sigurnost, dugovječnost i pouzdanost baterijskih sustava.

Rashladna tekućina se koristi radi uklanjanja viška topline koja se generira tijekom rada baterijskih modula. Električne baterije u tim modulima mogu generirati znatnu količinu topline zbog unutarnjih otpora, elektrokemijskih reakcija i gubitaka energije. Ako se ta toplota ne ukloni na pravilan način, može doći do pregrijavanja baterija, što može rezultirati smanjenjem njihovog kapaciteta, skraćanjem životnog vijeka ili čak izbijanjem požara. Osim toga, hlađenje može pomoći u održavanju relativno konstantne temperature u svim dijelovima modula, čime se smanjuje nejednakost unutar sustava baterija i sprječava prekomjerno zagrijavanje određenih područja.

Princip hlađenja uključuje korištenje rashladne tekućine koja kruži kroz sustav baterijskih modula kako bi apsorbirala toplinu i prenijela je izravno ili putem razmjene topline na hladila ili izmjenjivače topline. Rashladna tekućina obično ima visoku toplinsku provodljivost kako bi efikasno prenosila toplinu i smanjila temperaturu baterija.

Za pravilnu konstrukciju ispitnog stola za testiranje curenja rashladne tekućine električnih baterijskih modula potrebno je poznavati željena funkcionalna svojstva ispitnog stola, problematiku prolaska tekućine kroz sustav za hlađenje baterijskog modula, maksimalna opterećenja uzrokovana tlakom tekućine te maksimalni potreban protok koji tekućina smije ostvariti. Veliki faktor kod konstrukcije ovakvog sustava je sigurnost, pogotovo zato jer se modul može nalaziti pod električnim naponom. Sigurnost operatera je najvažnija, budući da na testni stol dolaze moduli koji još nisu validirani i nemaju dopuštenje za opću uporabu jer se tek nalaze u fazi evaluacija. Samim time postoji veća šansa da je modul neispravan ili potencijalno opasan za rukovanje. Potrebno je obratiti pažnju i na sigurnost modula dok je svako oštećenje koje je nastalo uslijed ispitivanja modula na ispitnom stolu je neprihvatljivo.

Na ispitnom stolu neće se testirati samo jedna vrsta modula, nego on mora biti pogodan za module različitih dimenzija, težina, oblika itd. Nije dovoljno napraviti konstrukciju koja je pogodna za sve poznate module koji se testiraju i koriste. Kako bi se osigurala pouzdanost i učinkovitost ispitnog stola, potrebno je provesti realističnu procjenu parametara budućih modula koji bi mogli biti prisutni, uzimajući u obzir njihove karakteristike i performanse. Cilj je postići optimalnu dimenzioniranost i prilagodljivost, izbjegavajući nepotrebno preveliko dimenzioniranje koje bi moglo rezultirati višim troškovima.

Da bi ispitni stol bio prilagodljiviji neke ključne parametre modula je potrebno regulirati, kao na primjer tlak ili protok rashladne tekućine. Kako stol mora biti pogodan za uporabu različitih modula

isto tako mora biti pogodan i za uporabu različitih rashladnih tekućina, jer se različiti baterijski moduli mogu hladiti različitim tekućinama (najčešće kombinacije vode pomiješane s etilen-glikolom različitih gustoća i viskoziteta, no može se hladiti i s rashladnim uljem). Također, kako bi se osigurala pouzdanost testova, potrebno je osigurati stabilno okruženje za ispitni stol. To podrazumijeva kontrolu temperature, vlage i drugih faktora okoliša koji bi mogli utjecati na stanje modula.

S obzirom na raznolikost korisnika koji će koristiti ispitni sustav nužna je visoka razina intuitivnosti i jednostavnosti korištenja. Potrebno je osigurati da korisnici, bez obzira na njihovu stručnost ili predznanje, mogu lako upravljati sustavom i iskoristiti njegove funkcionalnosti na učinkovit način. Kako bi se operaterima omogućila brza i učinkovita provjera modula, potrebno je osigurati jednostavne i jasne upute za uporabu. U određenim vremenskim periodima potrebno je provest servisiranje ispitnog stola, kako bi se osigurala njegova funkcionalnost i pouzdanost u dugoročnoj uporabi.

Primarna svrha ispitnog stola biti će testiranje curenja rashladne tekućine iz rashladnih ploča koje se nalaze u modulu preko mjerenja tlaka na ulazu i izlazu iz modula, te ako postoji razlika tlakova (van dozvoljenih tolerancija) tj. ako je tlak na izlazu manji nego onaj na ulazu znači da postoji curenje, uzevši u obzir da su osjetnici tlaka ispravni i ispravno kalibrirani. Sekundarna uloga ispitnog stola biti će punjenje i pražnjenje modula rashladnom tekućinom prije testiranja. Poželjno je ostvariti što veći omjer rashladne tekućine naprema zraku. Sustav će puniti tekućinu prije testiranja i prazniti nakon. Neki od tih testova su ispitivanje modula u promjenjivim uvjetima okoline u određenim ciklusima vremena, simuliranje uvjeta vožnje i promatranje ponašanje modula, testiranje hlađenja kod simuliranja maksimalnih uvjeta u kakvima se modul smije naći prilikom vožnje.

Diplomski rad je napravljen uz potporu tvrtke Rimac Technology. Tvrtka Rimac je hrvatski proizvođač sportskih automobila i tehnoloških rješenja za automobilsku industriju, osnovana 2009. godine u Svetoj Nedelji. Kasnije se podijelila na više tvrtki od kojih je jedna Rimac Technology. Glavna uloga tvrtke je razvoj baterijskih sustava za električna vozila. Kompanija se specijalizira za proizvodnju baterijskih modula namijenjenih upotrebi u vlastitim vozilima, ali također pruža mogućnost prodaje tih baterijskih sustava drugim proizvođačima koji žele implementirati visokokvalitetne baterijske tehnologije u svoje proizvode. Njihovi baterijski sustavi uključuju litij-ionske baterije koje su sposobne za velike brzine punjenja i pražnjenja struje, a istovremeno su i sigurne za korištenje. Tvrtka Rimac koristi vlastite razvojne centre i testne centre za razvoj svojih baterijskih sustava. U svojim laboratorijima provode razne testove kako bi osigurali visoku kvalitetu



svojih proizvoda. Tvrtka također surađuje s drugim tvrtkama i znanstvenim institucijama kako bi unaprijedila tehnologiju baterijskih sustava.

U 2. poglavlju provest će se analiza ulaznih parametara, konceptualizacija i validacija odabira konceptijskih rješenja koja će poslužiti kao temelj za daljnji razvoj. Treće poglavlje obuhvaća detaljnu razradu odabranog konceptualnog rješenja, uključujući dimenzioniranje, način rada i specifikacije komponenti. U 4. poglavlju, fokus će biti na odabiru komponenata, pri čemu će se analizirati i integrirati kupovni elementi poput pumpi, ventila, fleksibilnih cijevi i filtera. Peto poglavlje posvetit će se konstrukcijskoj razradi, koja uključuje detaljni razvoj svakog dijela i sklopa, definiranje točnih dimenzija, odabir materijala, obradu površina te izradu radioničkih i sklopnih nacрта.

## 2. KONCEPCIJSKA RIJEŠENJA

### 2.1. Ulazni parametri

Ulazni parametri su različiti za svaki tip modula koji će se testirati. Potrebno je poznavati svaki parametar koji je bitan prilikom pražnjenja i punjenja modula. Ti parametri su najveći i najmanji apsolutni tlak koji modul može podnijeti, njegove dimenzije, težina i oblik. Trenutno se planira testirati 5 različitih tipova modula. U diplomskom radu nije moguće detaljno opisivati konkretnu konstrukciju električnih baterijskih modula zbog zaštite intelektualnog vlasništva tvrtke Rimac Technology. Iz tog razloga Baterijski moduli su nazvani Modul 1, Modul 2 ,..., Modul 5. te su njihovi parametri dani u Tablica 2-1.

*Tablica 2-1 Parametri električnih baterijskih modula*

	<b>Dim. (d x š x v ) [mm]</b>	<b>Težina [kg]</b>	<b>Max. tlak [bar]</b>	<b>Min. Tlak [bar]</b>
<b>Modul 1</b>	<b>575x390x85</b>	<b>40,9</b>	<b>1,5</b>	<b>0,25</b>
<b>Modul 2</b>	<b>470x505x98</b>	<b>40</b>	<b>1,6</b>	<b>0,05</b>
<b>Modul 3</b>	<b>670x232x87</b>	<b>29</b>	<b>2</b>	<b>0,6</b>
<b>Modul 4</b>	<b>1130x270x105</b>	<b>65,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0,25</b>
<b>Modul 5</b>	<b>1300x426x96</b>	<b>105</b>	<b>2,5</b>	<b>0,5</b>

U obzir se uzima i moguća pojava novih baterijskih modula, stoga Tablica 2-1 nije potpuno definirala zahtjeve funkcionalnosti sustava. Promatranjem podataka uočava se da ovih 5 baterijskih modula imaju dosta međusobno različite parametre, stoga sami dizajn sustava na temelju prijašnje navedenih modula najvjerojatnije će odgovarati i budućim modulima, ali to ne možemo garantirati sa stopostotnom sigurnošću. Modul 5 ima maksimalnu težinu i dužinu, stoga se njega uzima kao referencu za ta dva parametra. Dimenziju dužine ispitnog mjesta odredimo pomoću dužine Modula 5 pomnoženog s određenim faktorom povećanja.

$$K_p = 1,2 \quad (2.1)$$

$K_p$  - Faktor povećanja dužine

Faktor povećanja dužine nije velik broj jer je pretpostavka da budući moduli najvjerojatnije neće biti duži od njega, a ako budu neće biti puno duži. S druge strane ni jedan modul nije proizveden tako da ima veliku širinu, nego su većinom proizvedeni manji kvadratni ili dugi, ali tanki. Stoga druga dimenzija sustava tj. dijela gdje će se moduli odlagati ne mora biti velika kao prva dimenzija. No širina neće biti premala u odnosu na dužinu, razlog tome je pružanje mogućnosti operateru da okrene neke buduće manje module suprotno od pretpostavljenog načina ako će mu biti pogodnije zbog buduće pozicije konektora na modulu. Stoga se za faktor povećanja širine uzima veći broj nego za faktor povećanja dužine.

$$K_s = 2 \quad (2.2)$$

$K_s$  - Faktor povećavanja širine

Težina Modula 5 se također uzima u obzir kao referentni podatak uz neka dodatna opterećenja koja se mogu naći na stolu. Sustav mora podnijeti naprezanje koje nastaje uslijed težine baterijskog modula uz dopuštene deformacije. Također je potrebno odrediti faktor povećavanja mase. Uz samo modul na postolju se može naći neki dodatni predmet ili se operater može nasloniti na stol te ga dodatno opteretiti. Stoga se usvaja:

$$K_m = 1,5 \quad (2.3)$$

$K_s$  - Faktor povećavanja mase

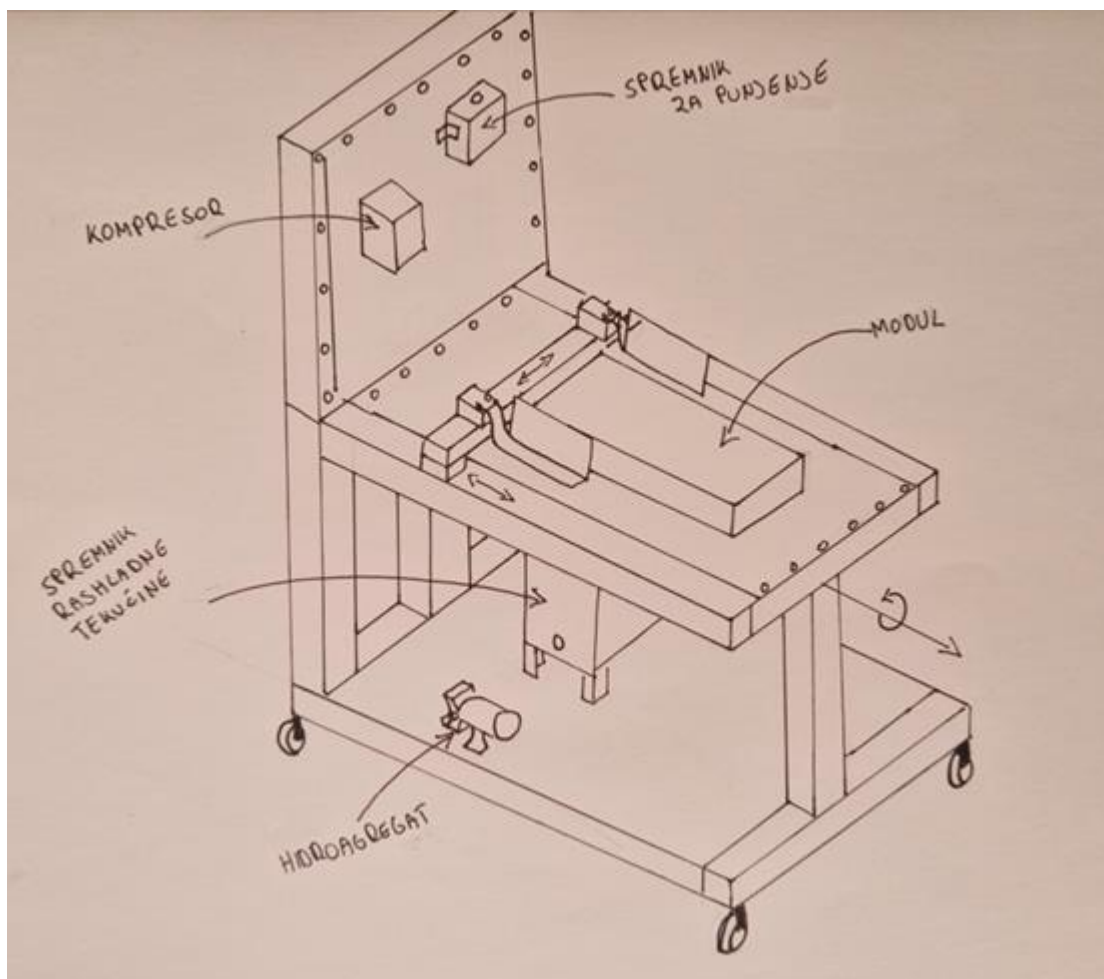
Sustav mora imati i regulaciju tlaka pošto svaki modul ima drugačiji radni tlak. Iz sigurnosnih razloga potrebno je postaviti sigurnosni ventil prije ulaska tekućine u modul koji će se otvoriti ukoliko tlak premaši podešenu vrijednost te vratiti tekućinu u početni spremnik, a vrijednost se podešava na temelju testiranog modula.

Da bi se smanjilo nepotreban transport baterijskih modula, sustav je potrebno konstruirati tako da bude prijenosan. To se ostvaruje na način da se sustav izradi kao stol koji se nalazi na kotačima te posjeduje sve potrebne komponente za izvršavanje zadane funkcije na bilo kojoj lokaciji koja ima pristup električnom napajanju. Da bi odredili sve komponente koje sustav mora posjedovati potrebno je u grubo definirati način punjenja i pražnjenja. Primarno razmišljanje svodi se na ostvarivanje protoka rashladne tekućine iz spremnika u električni baterijski modul, odzračuje se zrak iz sustava te vraća rashladnu tekućinu u početni spremnik tj. dolazi do zatvorenoga kruga gdje pumpa napaja sustav s rashladnom tekućinom iz spremnika, prolazi kroz sve potrebne komponente te se potom vraća u

spremnik. Pražnjenje se svodi na uklanjanje tekućine iz modula koja struji u smjeru spremnika te se dodatno modul ispuhuje komprimiranim zrakom kako bi odstranili zaostale čestice tekućine.

Odzračivanje zraka je postupak gdje se zrak koji je primarno u modulu zamjenjuje rashladnom tekućinom, cilj je dobiti modul koji u sebi ima samo tekućinu bez zaostalog zraka, to je moguće ostvarivo samo u teoriji. Problem se javlja jer dolazi do zaostalog zraka u mrtvom prostoru. Zaostali zrak je pojava u kojoj zrak ostaje miran ili se ne kreće dovoljno brzo kroz neku geometriju, što može dovesti do neželjenih posljedica. Ova pojava se može pojaviti u bilo kojoj geometriji kroz koju prolazi zrak, poput pravokutnih cijevi, krivulja, nagiba, zavojnica, ventilacijskih kanala, itd. Problem je što na tim mjestima koeficijent prolaska topline nije jednak kao i na ostalima a razlog tome je što toplina mora dodatno proći kroz zrak koji ima mali koeficijent toplinske vodljivosti. Sa zadanim ulaznim i pretpostavljenim budućim parametrima modula moguće je krenuti u izradu konceptijskog rješenja.

[2]



Slika 2.1 Gruba skica ispitnog stola

Na Slika 2.1 prikazan je grub nacrt ispitnog sustava koji je potrebno konstruirati. Ovaj sustav će sadržavati osnovne komponente poput pumpe, spremnika rashladne tekućine, spremnika za punjenje te kompresora. Iako ova skica ne razrješava sve probleme koji se pojavljuju u konstrukciji ovakvog sustava, ona služi kao pokazatelj same strukture stola. Koncept 1 i Koncept 2 će sadržavati sve prikazane komponente, ali će se razlikovati u drugim dijelovima kao što su način upravljanja sustavom, pozicijama regulatora tlaka te automatizaciji. Sljedeći korak u procesu konstrukcije ovog sustava je prikaz načina rada svakog pojedinog koncepta kroz shematski prikaz. Nakon toga će se validacijom oba koncepta odlučiti koje rješenje je prikladnije za konačnu konstrukcija ispitnog sustava.

## **2.2. Koncept 1**

Sustav se može konstruirati na mnoge načine. Razlika će biti u načinu ostvarivanja protoka fluida kroz sustav, kako će se upravljati sustavom, kako riješiti odzračivanje zaostalog zraka te na koji način će se osigurati sustav.

U ovom konceptu, osnovni mehanizam za stvaranje protoka rashladne tekućine prilikom punjenja sastoji se od hidroagregata. Koristit će se hidroagregat kako bi se ostvario protok rashladne tekućine iz spremnika i punjenje modula. Pažljivo je odabran da odgovara potrebnim tehničkim specifikacijama i performansama, te će osigurati pouzdanu i učinkovitu funkcionalnost sustava.

Nakon završetka testiranja i potrebnog rashlađivanja, tekućina će biti odstranjena iz modula putem gravitacijske sile. To znači da ventil mijenja poziciju sustava te se tekućina slobodno giba (spusti) prema nižoj točki (spremniku rashladne tekućine). Gravitacija se koristi kao prirodna sila koja pomaže u ispuštanju rashladne tekućine iz sustava.

Nakon što je većina tekućine uklonjena, slijedi postupak uklanjanja preostalih čestica tekućine iz modula. Za to se koristi kompresor koji ostvaruje protok zraka. Protok zraka prolazi kroz modul, stvarajući strujanje koje će ukloniti preostale čestice tekućine koje su se zadržale unutar modula. Zrak djeluje kao sredstvo za ispiranje i sušenje modula, osiguravajući da ne ostane višak tekućine koja bi mogla negativno utjecati na rad ili izazvati probleme unutar modula. U skladu s principima hidrodinamike, rashladna tekućina u sustavu uvijek treba slijediti smjer gravitacije i kretati se prema

nižoj relativnoj točki. To znači da u svakom trenutku protok tekućine treba biti usmjeren nizvodno, podržavajući prirodno kretanje tekućine prema nižoj razini.

Upravljanje smjera gibanja protoka ostvaruje se pomoću ručnog troputnog ventila što znači da sustav nema visoki stupanj automatizacije. Operater će prilikom punjenja ili pražnjenja morati provjeriti jesu li ventili otvoreni na pravu stranu, ako pogriješi i sustav se pokrene dok su ventili otvoreni na pogrešnu stranu može doći do oštećenja sustava. Stoga je potrebno ugraditi sigurnosne ventile prije troputnih ventila kako ne bi došlo do oštećenja uslijed pogrešnog pokretanja. Sprječavanje protoka u suprotnom smjeru se ostvaruje nepovratnim ventilima. Dodatno na svakom dijelu crijeva koji u nekom trenu može bit zatvoren radi vizualne kontrole tlaka potrebno je postaviti T spojnik na kojemu je povezan manometar koji podržava fluid u tekućem i plinovitom stanju.

Da bi se omogućilo pravilno punjenje svakog modula koji ima različite maksimalne i minimalne tlakove, ključno je regulirati tlak u sustavu. Regulacija tlaka može se postići na nekoliko načina, ovisno o karakteristikama kompresora i pumpe koje se koriste. Na primjer, postavljenjem regulatora tlaka nakon zupčaste pumpe moguće je održavati konstantan tlak na način da je regulator tlaka postavljen na željeni tlak. Kada tlak prelazi postavljenu vrijednost, regulator tlaka otvara put za vraćanje tekućine u spremnik ili u drugi dio sustava. Regulacija protoka se može postići promjenom napona na elektromotoru koji pokreće pumpu.

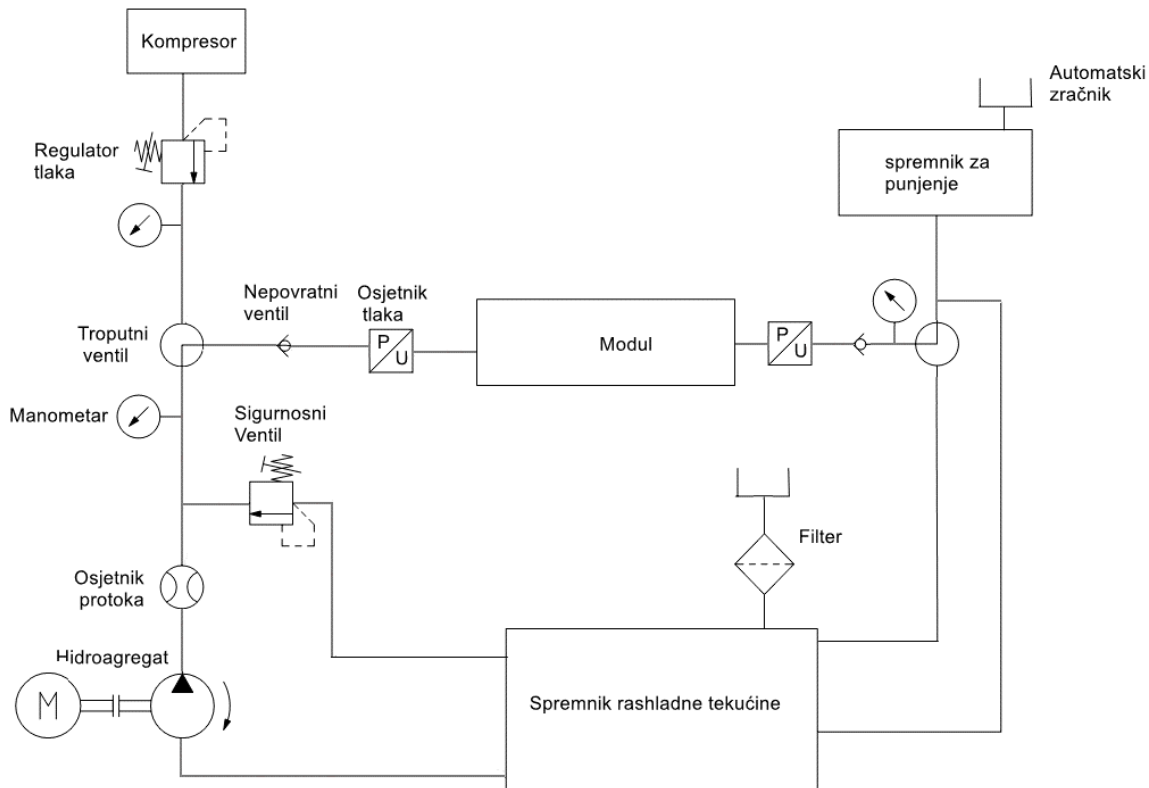
Na izlazu iz kompresora se već nalazi regulator tlaka, no potrebno je postaviti dodatni kako bi se mogao tlak smanjiti. Regulacijski ventil omogućuje fino podešavanje tlaka zraka i osigurava da se tlak održava unutar željenih granica, prilagođavajući ga prema specifičnim zahtjevima svakog modula.

U postupku punjenja modula s rashladnom tekućinom, zrak koji se nalazi unutar modula mora biti zamijenjen rashladnom tekućinom. To se ostvaruje na način da pumpa protokom rashladne tekućine tjera zrak izvan modula. Zrak nakon izlaska iz modula nastavlja gibanje prema spremniku za punjenje i spremniku rashladne tekućine. Oba spremnika opremljena su ventilom za odzračivanje na vrhu. Kada rashladna tekućina napušta modul, protok se grana pomoću spojnog elementa u obliku slova T. Prirodno će se sva tekućina gibati prema spremniku rashladne tekućine. Budući da je gustoća zraka manja od gustoće rashladne tekućine, zraka će se prirodno kretati prema vrhu spremnika za punjenje.

Zrak se može uspješno odvojiti iz modula čak i bez upotrebe spremnika za punjenje. U takvom scenariju, zrak bi završio u spremniku rashladne tekućine koji bi je također opremljen automatskim

zračnikom. Međutim, spremnik za punjenje dodatno se ugrađuje iz drugih razloga. U nekim testiranja potrebno je potopiti sustav bez rada pumpe, a da bi se to uspješno ostvarilo spremnik za punjenje mora se nalaziti na najvišoj točki sustava kako bi gravitacijsko gibanje tekućine bilo kroz modul.

Automatski odzračnik koji se nalazi na vrhu spremnika djeluje na principu razlike u gustoći između zraka i tekućine. Zrak koji je u sustavu ima tendenciju nakupljanja na vrhu spremnika tj. u točki, dok se tekućina nalazi na donjem dijelu. Automatski odzračnik ima unutarnji mehanizam koji omogućuje zraku da izađe iz sustava, dok istovremeno zadržava tekućinu unutar. Kada se zrak nakupi u blizini odzračnika, to uzrokuje porast tlaka unutar njega te kada tlak dosegne određenu vrijednost, unutarnji mehanizam odzračnika se aktivira i omogućuje izlazak zraka iz sustava. Taj zrak se ispušta iz sustava u atmosferu.



*Slika 2.2 Shematski prikaz protoka Koncepta 1*

Na Slika 2.2 je shematski prikaz protoka fluida prilikom punjenja i pražnjenja. Proces punjenja modula sastoji se od ručnog okretanja mehaničkih troputnih ventila u potrebnom smjeru, te odabira potrebnog tlaka na sigurnosnom ventilu. Zatim se uključuje hidroagregat koji ostvaruje protok

tekućine iz spremnika rashladne tekućine. Protok tekućine se giba kroz osjetnik protoka koji javlja povratnu informaciju o količini protoka. Nakon toga protok tekućine prolazi kroz sigurnosni ventil te ulazi u troputni ventil, potom ulazi u modul gdje se prije i poslije ulaska mjeri tlak u crijevima. Tlak se mjeri pomoću osjetnika koji javljaju povratnu informaciju preko računala, no ujedno se u svakom dijelu crijeva može provjeriti tlak pomoću očitavanja s manometra. Fluid se nakon izlaska iz modula dijeli na dvije grane od kojih jedna ide u spremnik za punjenje, a druga grana protoka se vraća u početni spremnik.

Prilikom pražnjenja modula (pod pražnjenjem se podrazumijeva pražnjenje rashladne tekućine iz modula tj. punjenje modula zrakom) troputni ventili se okreću, gravitacijskim pražnjenjem ostvaruje se protok rashladne tekućine koji iz modula ide u spremnik rashladne tekućine koja se nalazi ispod samog modula te također posjeduje ventil za odzračivanje kako ne bi došlo do nabijanja tlaka u spremniku tokom ispuhivanja.

Pretpostavka je da će u modulu ostati čestice rashladne tekućine stoga je potrebno kompresorom ostvariti protok zraka koji će ukloniti čestice rashladne tekućine tj. ispuhati će modul. Zbog posljednje faze pražnjenja u kojoj se nalazi zrak s česticama rashladne tekućine, preporučuje se postavljanje filtra na odzračnik. Ova mjera je važna jer zrak ulazi u spremnik s velikom brzinom, a ukoliko ventil za odzračivanje nema ugrađen filter, iz spremnika će izlaziti zrak koji je pomiješan s česticama tekućine. Takav zrak može biti štetan za zdravlje svih osoba koje se nalaze u blizini. Stoga, filter predstavlja bitnu komponentu za osiguranje kvalitete izlaznog zraka iz spremnika te za smanjenje potencijalnih rizika za korisnike i okoliš.

### **2.3. Koncept 2**

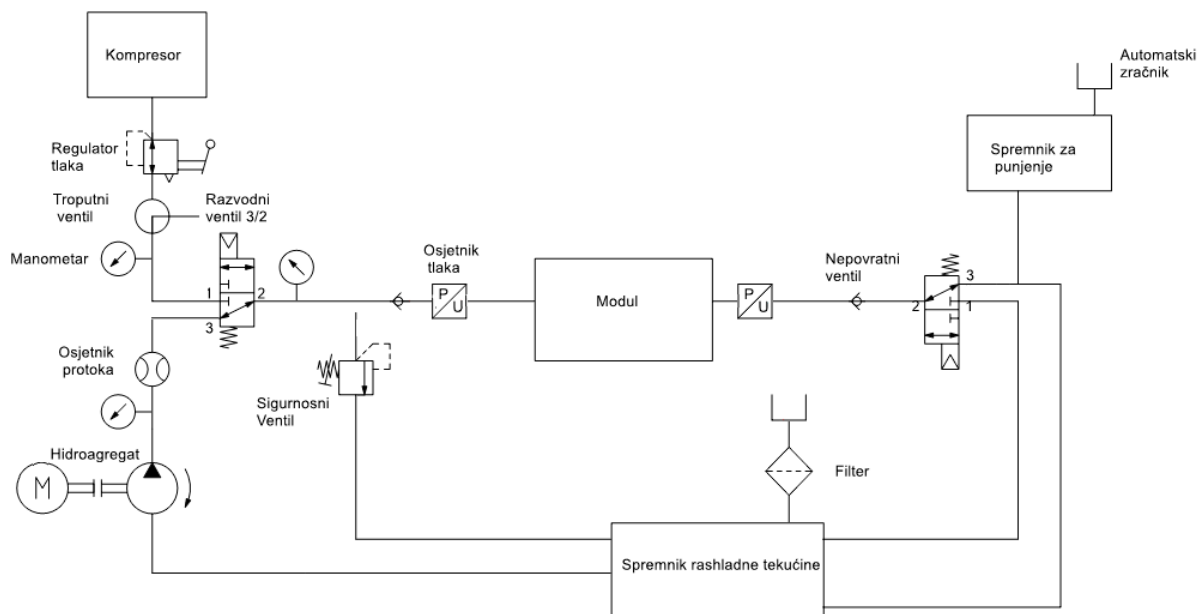
Koncept 2 ostvaruje protok rashladne tekućine prilikom punjenja na isti način kao i koncept 1. Razlika je u načina upravljanja. Kod pražnjenja modula sustav nema svoj kompresor nego se spaja na zračni sustav Rimac Technologya što smanjuje trošak samog sustava. Zrak u RT zračnom sustavu nalazi se na 8 bara stoga je potreban regulator tlaka. Zbog smanjenja troškova ne kupuju se novi razvodni ventili nego se u sustavu koriste dva hidraulička 3/2 razvodna ventila koja se nalaze na raspolaganju u tvrtki. Hidraulički razvodni ventil 1/2" BSP Diverter Valve 12VDC je komponenta koja omogućuje prebacivanje protoka između dva izlaza, ovisno o električnom signalu koji kontrolira njegov rad. Kolege koji su koristili spomenute hidraulične razvodne ventile tvrde da mogu izvršavati svoju



funkciju i sa zrakom i sa rashladnom tekućinom isto kao i sigurnosni ventil „1/2" BSP Diverter valve 12vdc “ tvrtke „Hydraulic Megastore“.

Rad hidrauličkog razvodnog ventila temelji se na elektromagnetskom principu. Kada se na ventil primijeni električni napon od 12VDC, elektromagnetsko polje se aktivira i pokreće mehanizam ventila. To rezultira promjenom protoka tekućine ili zraka u skladu s konfiguracijom ventila. Jedan od tih ventila smješten je prije baterijskog modula, dok se drugi nalazi nakon modula. Planirano je automatsko upravljanje s dva gumba, jedan za punjenje drugi za ispuhivanje. Pritiskom gumba za punjenje razvodni ventil je u nultoj poziciji, a pritiskom gumba za pražnjenje dovodi napon i ventil mijenja poziciju.

Pošto ne postoji opasnost od pogrešnog uključivanja nije potrebno prije razvodnika postaviti sigurnosne ventile. U slučaju da se hidroagregat pokrene uvijek će razvodni ventil biti u poziciji nula i obrnuto kod ispuhivanja. No sigurnosni ventil se stavlja nakon razvodnog ventila kako bi uklonili mogućnost pogrešno reguliranog tlaka. Sigurnosni ventil je isti i za zrak i za rashladnu tekućinu. Na temelju prijašnjih testiranja gdje je bilo potrebno koristiti sustave kroz koje je prolazio i zrak i tekućina ustanovljeno je da se može koristiti jedan sigurnosni ventil za oba medija koji se naziva „Relief Valves - H900“ tvrtke „Ultra Clean Holdings“ .



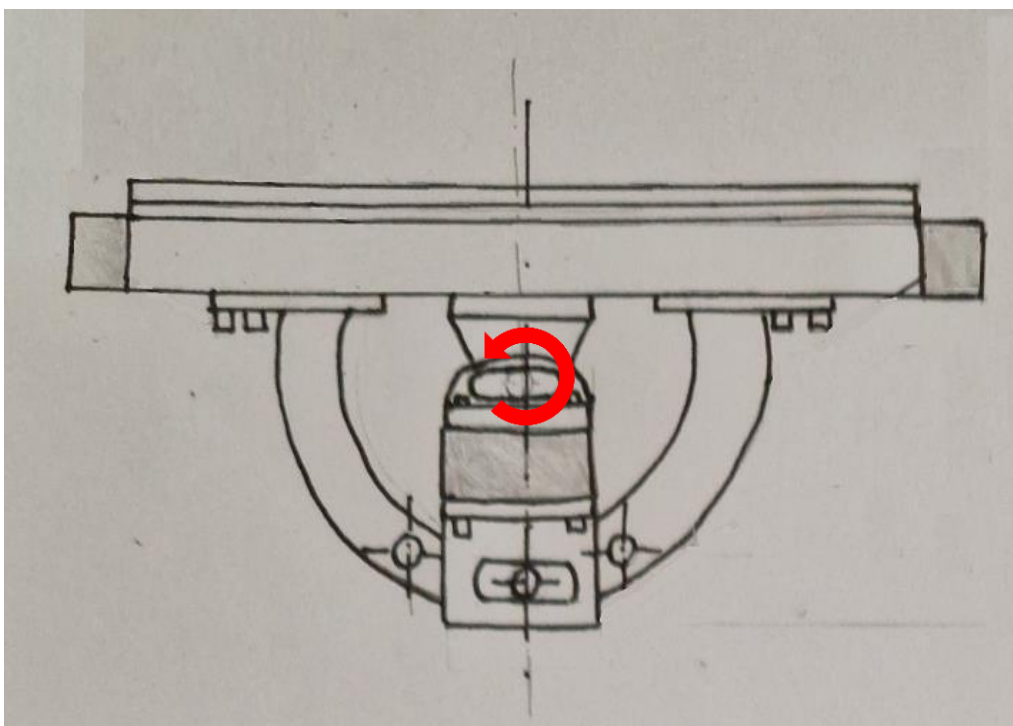
Slika 2.3 Shematski prikaz protoka Koncepta 2

Na Sliku 2.3 je shematski prikaz protoka fluida kroz sustav u konceptu 2. Prilikom pritiska gumba za punjenje uključuje se pumpa koja ostvaruje regulirani protok tekućine iz spremnika prema 3/2 razvodnom ventilu te nakon njega kroz sigurnosni ventil. Tlak se također mjeri pomoću osjetnika prije i poslije ulaska u modul. Iz sigurnosnih razloga tlak prije ulaska u modul se dodatno mjeri i preko manometra, kako bi se izbjegla greška.

Fluid se nakon izlaska iz modula dijeli u dvije grane gdje jedna ide u spremnik za punjenje gdje će se većina zraka zbog svoje manje gustoće gibati prema vrhu spremnika koji također kao Koncept 1 posjeduje ventil za odzračivanje, dok druga grana protoka nastavlja u početni spremnik. Isto kao i Konceptu 1 spremnik za punjenje ima funkciju potapanja modula bez rada pumpe.

U ovom konceptu implementirano je rješenje rotacije stola oko osi paralelne s dužinom modula (Slika 2.4) zbog uklanjanja zatočenog zraka. Kada se rashladna tekućina kreće kroz električni modul, postoje područja ili mrtvi kutovi gdje se zrak može zadržati ili akumulirati. To može uzrokovati nepoželjne učinke stoga se taj zrak mora ukloniti. Rotacija stola omogućuje da se zatočeni zrak izbaciti iz mrtvih kutova te nastavi gibanje s protokom rashladne tekućine, čime se poboljšava protok i osigurava optimalno hlađenje. Također se u svakom dijelu crijeva koji se može naći povišenim tlakom nalazi manometar.

U fazi pražnjenja rashladne tekućine iz modula pritiskom gumba ventili mijenjaju poziciju te se uslijed gravitacijske sile počne stvarati protok rashladne tekućine u smjeru spremnika rashladne tekućine. Kao i u konceptu prije, bitno je da tekućina u ovoj fazi ne mora savladavati gravitacijsku silu, nego da se giba prema nižoj poziciji ili horizontalno. Spremnik također ima ventil za odzračivanje kako bi se izbjeglo nabijanje tlaka u njemu prilikom ispuhivanja. Između regulatora tlaka i razvodnog ventila nalazi se ručni troputni ventil koji kada se okrene u drugu poziciju koja je otvoren prema atmosferi ispusti višak zraka koji je ostao u sustavu. Također se prije ulaska u spremnik nalazi filter koji služi za odvajanje čestica rashladne tekućine iz zraka.



*Slika 2.4 Prikaz načina rotiranja ispitnog stola*

## **2.4. Validacija**

Prije nego što se pristupi projektiranju i konstrukcijskoj razradi nekog koncepta, važno je provesti proces validacije koji omogućuje potvrdu njegove optimalnosti za primijenjenu prigodu. U konkretnom slučaju, uspoređuju se Koncept 1 i Koncept 2 koji ispunjavaju istu funkciju na sličan način, ali se razlikuju u nekoliko detalja. Glavne razlike se nalaze u načinu upravljanja, količini i tipu komponenti koje su uključene u svaki od koncepta, te stupnju automatizacije.

Koncept 1 zahtijeva veću odgovornost operatera zbog potrebe provjere troputnih ventila prije svakog punjenja i promjene smjera troputnog ventila prilikom pražnjenja i potencijalnog rizika od pogrešne pozicije ventila. S druge strane, Koncept 2 ima automatizirani sustav koji eliminira potencijalne greške te operater ne mora biti oprezan kao s Konceptom 1. Međutim, Koncept 2 ima složeniju početnu izvedbu zbog potrebne pravilne automatizacije 3/2 razvodnog ventila te paljenja i gašenja pumpe.

Kada se radi o pražnjenju rashladne tekućine iz modula, Koncept 1 koristi kompresor koji je fiksno vezan za prijenosni sustav. S druge strane, Koncept 2 koristi kompresor koji napaja cijeli zračni sustav

firme, što ima prednosti i nedostatke. Prednost je niža cijena zbog eliminacije kompresora, ali nedostatak je moguća nepristupačnost zračnog sustava te potreba za regulatorom tlaka zraka.

U konačnici, odabir Koncepta 2 opravdan je zbog jednostavnijeg upravljanja i automatiziranijeg procesa, što smanjuje vrijeme pripreme sustava i broj komponenti. Korištenje sustava predviđeno je samo u prostorima firme stoga nedostatak kompresora nije preveliki problem.

### 3. PROJEKTIRANJE

#### 3.1. Rotacijsko postolje

Rotacijsko postolje mora ispuniti funkciju držanja, izoliranja i rotiranja baterijskog modula. Dimenzije rotacijskog postolja usvajaju se na temelju ulaznih parametara i određenih faktora. U pod poglavlju 2.1 iz Tablica 2-1 najveću dimenziju dužine te najveću masu ima Modul 5 i iznosi 1300 mm i 105 kg, a širinu Modul 2 koja iznosi 505 mm.

Dužina postolja iznosi:

$$a = 1300 * K_d \quad (3.1)$$

$$a = 1300 * 1,2 = 1560 \text{ mm} \quad (3.2)$$

Širina:

$$b = 505 * K_s = 1010 \text{ mm} \quad (3.3)$$

$$b = 505 * 2 = 1010 \text{ mm} \quad (3.4)$$

Usvaja se:

$$b = 1000 \text{ mm} \quad (3.5)$$

Potrebna nosivost postolja:

$$m_p = 105 * K_m = 157,5 \text{ kg} \quad (3.6)$$

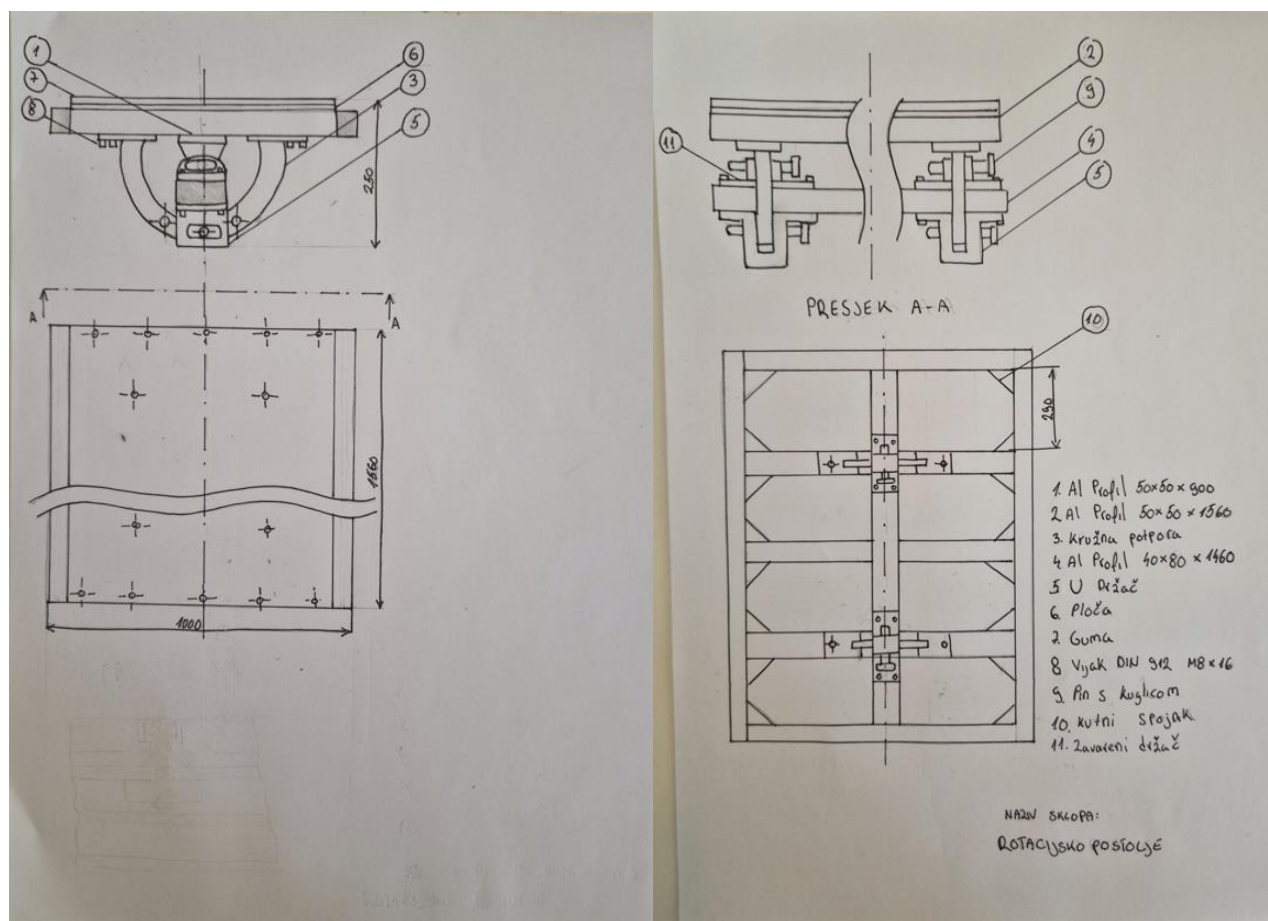
$$m_p = 105 \times 1,5 = 157,5 \text{ kg} \quad (3.7)$$

Usvaja se:

$$m_p = 160 \text{ kg} \quad (3.8)$$

Potrebno je osmisliti način na koji se postolja može rotirati. Ideja iza rotiranja modula je izvlačenje zatočenog zraka iz mrtvog prostora rashladnih ploča. Rotacija ploče omogućava da protok rashladne tekućine mijenja smjer, usmjeravajući ga prema drugim dijelovima mrtvog prostora. Na taj način tekućina se proširuje kroz cijeli sustav i istiskuje zrak iz svih dijelova tj. kada protok rashladne tekućine dopre u mrtvi prostor zrak nastavlja gibanje s njom. Kad se zrak izbacila iz sustava protok tekućine postaje stabilniji i učinkovitiji.

Okvir postolja će biti izrađen od aluminijskih profila koji imaju rupu po cijeloj dužini profila koje omogućuju međusobno spajanje drugih profila te dodatnih dijelova bez potrebe za zavarivanjem dok će samo postolja biti izrađeno od dvije komponente metalne ploče i gumene prevlake. Metalna ploča imati će ulogu preuzimanja opterećenja samog modula i dodatnih pomoćnih uređaja. Gumena prevlaka ima više uloga, jedna od njih je izoliranje baterijskog modula od metalne ploče koja je u dodiru s ostatkom ispitnog stola. Izolacija je neizbježna iz sigurnosnih razloga samog operatera i svih radnika u neposrednoj blizini. Druga uloga gumene prevlake je povećavanje koeficijenta trenja između modula i stola, a veći koeficijent trenja je pogodan zbog rotacije modula. Ako koeficijent trenja podloge nije dovoljno velik, modul može skliznuti i pasti s površine stola, što može dovesti do oštećenja. Međutim, ako se koeficijent trenja poveća, sila trenja između stola i objekta će se povećati, čime će se povećati i sila koja pokušava zadržati objekt na stolu. To će smanjiti vjerojatnost da će se objekt pomaknuti s površine stola i smanjiti rizik od pada. No to nije dovoljno nego je potrebno i koristiti dodatne mehaničke komponente koje će svojim oblikom zaustaviti modul od pomicanja tj. fiksirati će ga.

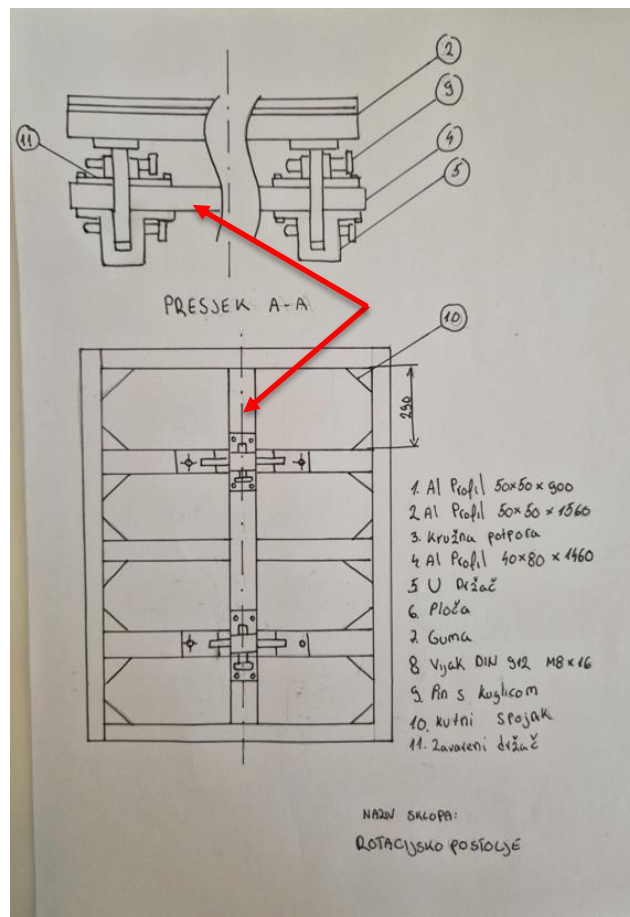


Slika 3.1 Skica rotacijskog postolja

Na slici 3.1 prikazana je skica rotacijskog postolja, dimenzije postolja dobivene su preko formula 3.1 i 3.3. Rotacija postolja ostvaruje se uklanjanjem dva pina s kuglicom koja se nalaze u U držaču. Samim time moguća je rotacija oko osi koja prolazi kroz centar preostala dva pina s kuglicom. U konstrukcijskom dijelu koji se naziva kružna potpora izbušene su dvije dodatne rupe koje omogućuju fiksiranje stola pod određenim kutom. Preliminarno za nosivi profil (br. 4 na skici) je odabran aluminijski profili 80x40 mm, no potrebno je proračunati njegovi nosivost za ovaj slučaj.

### 3.1.1. Proračun aluminijskog profila

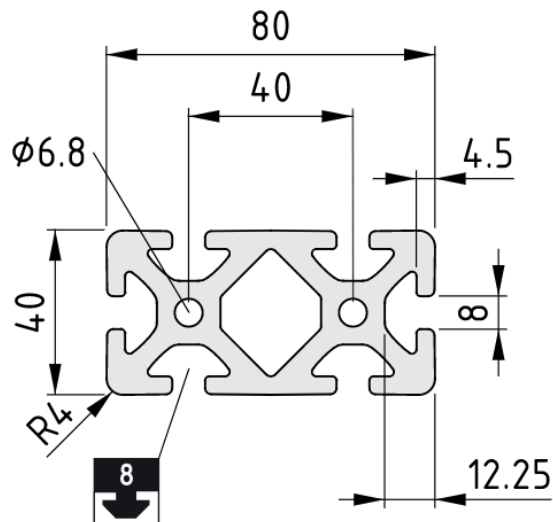
Svo opterećenje koje se nalazi na rotacijskom postolju se prenosi preko pinova s kuglicom na držač koji zatim prenosi na aluminijski profil (Slika 3.2).



Slika 3.2 prikaz profila koji se proračunava

Aluminijski profil koji je odabran proizvod je tvrtke Item 24, a dimenzije poprečnog presjeka profila dane su na Slika 3.3.





Slika 3.3 Poprečni presjek Aluminijskog profila [3]

Specifikacije profila također očitane s njihove stranice dane su u Tablica 3-1.

Tablica 3-1 Specifikacije aluminijskog profila [3]

Površina poprečnog presjeka	$A$	16,76	cm <sup>2</sup>
Torzijski moment tromosti	$I_t$	18,83	cm <sup>4</sup>
Moment tromosti x-os	$I_x$	26,87	cm <sup>4</sup>
Moment tromosti y-os	$I_y$	101,19	cm <sup>4</sup>
Moment otpora presjeka x-os	$W_x$	13,44	cm <sup>3</sup>
Moment otpora presjeka y-os	$W_y$	25,29	cm <sup>3</sup>
Masa	$m$	4.53	kg
Youngov modul elastičnosti	$E$	70	GPa
Matrijal - Aluminij			

Na Slika 3.4 vidi se raspodjela opterećenja na profilu. Ukupno opterećenje je izazvano maksimalnom težinom koja je izračunata i iznosi 160 kg iz formule 3.8. Pošto se postolje nalazi na dva držača tako se sila raspodijelila na dva djela i na svakom dijelu se pojavljuje upola manje opterećenje nego maksimalno. Provjeriti će se statička izdržljivost profila i progib profila u točki G koja se nalazi na sredini profila. Ta točka je odabrana jer se tu očekuje najveći progib pošto je raspodjela opterećenja simetrična. Za proračun progiba koristiti se 2. Castiglianov teorem. U točki kojoj se računa progib potrebno je dodati fiktivnu silu  $F_G$  po kojoj deriviramo moment prema formuli (3.1) [4].

$$v_G = \int_0^l \frac{M_x}{EI_x} * \frac{\delta M_x}{\delta F_G} dz \quad (3.9)$$

$v_G$  – vertikalni pomak u točki G (progib)

Zbog statičkog uvjeta ravnoteže zbroj sila u smjeru x-osi i y-osi iznosi 0.

$$\Sigma F_x = 0 \quad (3.10)$$

$$F_{Ax} = 0 \quad (3.11)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad (3.12)$$

$$F_{Ay} = 800 + 800 + F_G - F_{By} \quad (3.13)$$

$F_G$  – fiktivna sila iznosi 0

Zbroj momenata u točki A iznosi 0. Radi se zbroj momenata koji nastaju uslijed djelovanja sila na kraku duljine do točke A. Sila  $F_{Ay}$  ne radi moment u točki A stoga se dobije jednadžba s jednom nepoznanicom  $F_{By}$ .

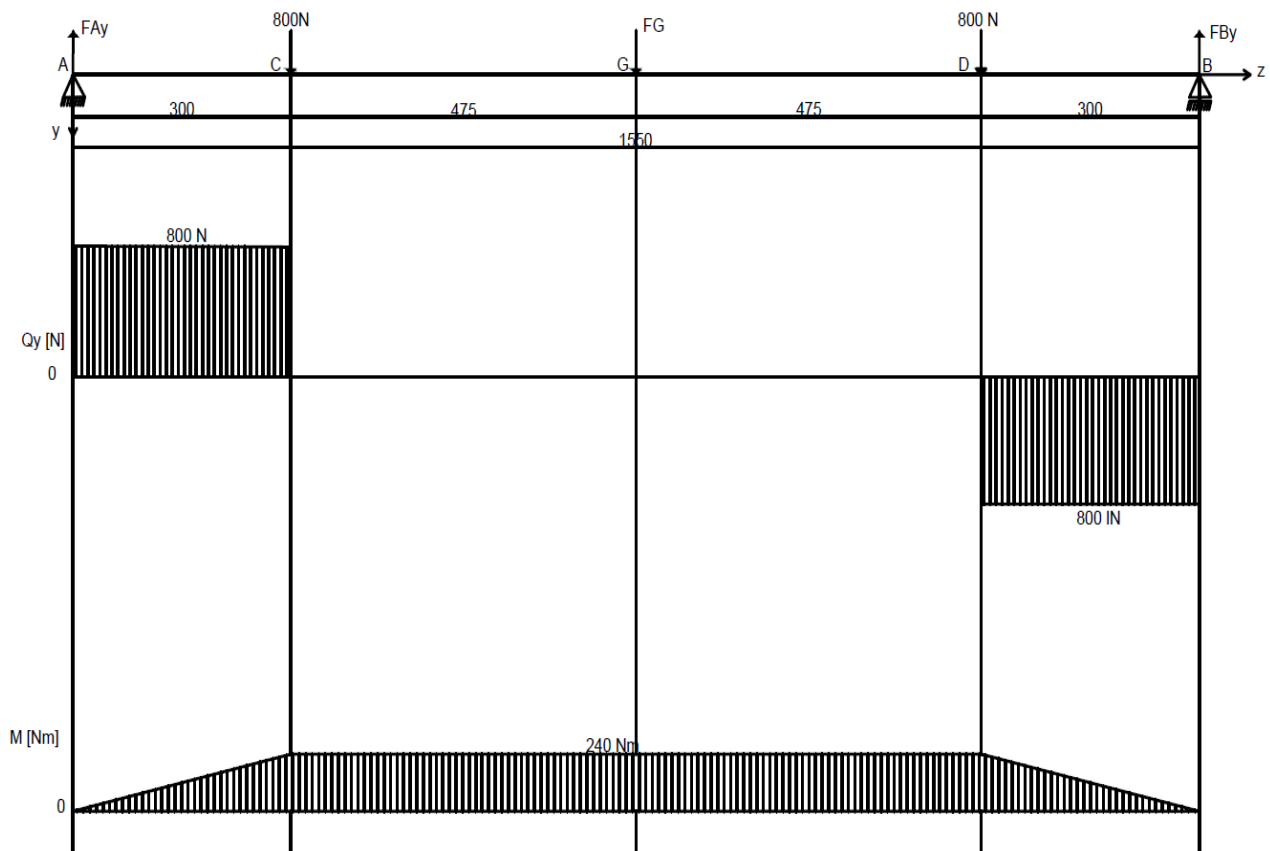
$$\Sigma M_A = 0 \quad (3.14)$$

$$F_{By} * 1,55 = 800 * 0,3 + 800 * 1,25 + F_G * 0,725 \quad (3.15)$$

$$F_{By} = \frac{800 * 0,3 + 800 * 1,15 + 0,775 F_G}{1,55} = 800 + 0,5 F_G = 800 N \quad (3.16)$$

Uvrštavamo iz formule (3.8) u (3.5):

$$F_{Ay} = 800 + 800 + F_G - 800 - 0,5 F_G = 800 + 0,5 F_G = 800 N \quad (3.17)$$



Slika 3.4 Graf poprečne sile i momenta naprezanja

Nacrtan je graf naprezanja po y-osi te graf momenta savijanja (Slika 3.4). Na grafu momenta je vidljivo da je maksimalan moment kontinuiran između točaka C i D. Taj moment će se dobiti ako presiječemo gredu bilo gdje između te dvije toče i izračunamo sve sile koje rade moment na rubu grede.

$$M_{max} = F_{Ay} * z - 800 * (z - 0,3) \quad (3.18)$$

$z$  – Udaljenost presječne grede

Za  $z$  se uzima duljina polovica profila

$$z = 0,775 \text{ m} \quad (3.19)$$

$$M_{max} = 800 * 0,775 - 800 * (0,775 - 0,3) = 240 \text{ Nm} \quad (3.20)$$

Naprezanje koje se javlja u bilo kojoj točki elementa ne smije biti veće od dopuštenog napreznja koje za aluminij iznosi: [5]

$$\sigma_{dop} = 50 \dots 125 \text{ MPa} \quad (3.21)$$

Usvaja se:

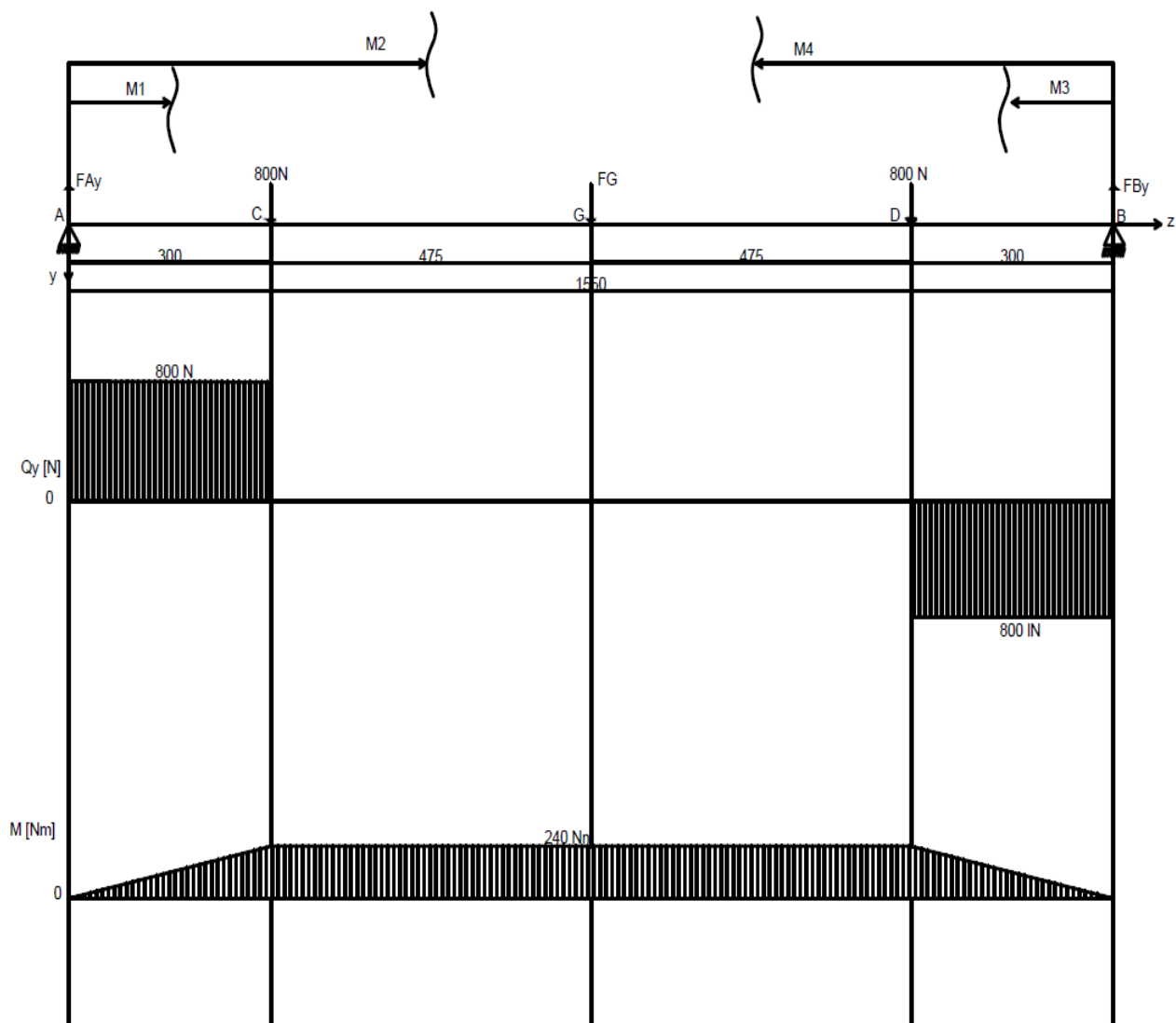
$$\sigma_{dop} = 50 \text{ MPa} \quad (3.22)$$

$$\frac{M_{max}}{W_x} \leq \sigma_{dop} \quad (3.23)$$

$$\frac{240 \text{ [N]}}{1,344 * 10^{-5} \text{ [mm}^2\text{]}} \leq 50 * 10^6 \text{ [Pa]} \quad (3.24)$$

$$17,991 * 10^6 [Pa] \leq 50 * 10^6 [Pa] \quad (3.25)$$

Uvjet je zadovoljen.



Slika 3.5 Raspodjela profila na 4 segmenta

Za izračun progiba u točki G primjenjuje se formula (3.1). Gledajući graf momenta savijanja potrebno je presjeći profil toliko puta koliko ima različitih jednadžba pravaca. Na Slika 3.5 vidljiv je isti nagib pravaca od točke A do C i od točke D do B stoga nije potrebno zasebno računati oba integrala nego samo jedan. Isto tako pravac je konstanta od točke C do G i od G do D stoga se isto računa samo jedan integral te se pomnoži s 2. Kada se uvrštavaju poznate sile u osloncima potrebno je uvrstiti izraz gdje su iskazane kroz fiktivnu silu jer je po njoj potrebno derivirati moment.

$$M_1 = F_{Ay} * z_1 = (800 + 0,5 F_G) * z_1 = 800 z_1 + 0,5 F_G z_1 \quad (3.26)$$

$$M_2 = F_{Ay} * z_2 - 800 * (z_2 - 0,3) = (800 + 0,5 F_G) * z_2 - 800 * (z_2 - 0,3) \quad (3.27)$$

$$M_2 = 800 z_2 + 0,5 F_G z_1 - 800 z_2 + 240 = 0,5 F_G z_2 + 240 \quad (3.28)$$

$$M_3 = M_1 \quad (3.29)$$

$$M_4 = M_2 \quad (3.30)$$

$$\frac{\partial M_1}{\partial F_G} = 0,5 z_1 \quad (3.31)$$

$$\frac{\partial M_2}{\partial F_G} = 0,5 z_2 \quad (3.32)$$

$$\frac{\partial M_3}{\partial F_G} = 0,5 z_3 \quad (3.33)$$

$$\frac{\partial M_4}{\partial F_G} = 0,5 z_4 \quad (3.34)$$

Uvrstimo u formulu (3.1):

$$v_G = \frac{1}{EI_x} * \left( \int_0^{0,3} M_1 \frac{\partial M_1}{\partial F_G} dz_1 + \int_{0,3}^{0,775} M_2 \frac{\partial M_2}{\partial F_G} dz_2 + \int_0^{0,3} M_3 \frac{\partial M_3}{\partial F_G} dz_3 + \int_{0,3}^{0,775} M_4 \frac{\partial M_4}{\partial F_G} dz_4 \right) \quad (3.35)$$

$$\int_0^{0,3} M_1 \frac{\partial M_1}{\partial F_G} dz_1 = \int_0^{0,3} M_3 \frac{\partial M_3}{\partial F_G} dz_3 \quad (3.36)$$

$$\int_{0,3}^{0,775} M_2 \frac{\partial M_2}{\partial F_G} dz_2 = \int_{0,3}^{0,775} M_4 \frac{\partial M_4}{\partial F_G} dz_4 \quad (3.37)$$

$$v_G = \frac{2}{EI_x} * \left( \int_0^{0,3} M_1 \frac{\partial M_1}{\partial F_G} dz_1 + \int_{0,3}^{0,775} M_2 \frac{\partial M_2}{\partial F_G} dz_2 \right) \quad (3.38)$$

$$v_G = \frac{2}{EI_x} * \left( \int_0^{0,3} (800 z_1 + 0,5 F_G z_1) * 0,5 z_1 dz_1 + \int_{0,3}^{0,775} (0,5 F_G z_2 + 240) * 0,5 * z_2 dz_2 \right) \quad (3.39)$$

Uvrste se vrijednosti  $F_G$ :

$$v_G = \frac{1}{70 * 10^9 * 2,687 * 10^{-7}} * \left( \int_0^{0,3} (800 z_1 + 0,5 * 0 * z_1) * 0,5 z_1 dz_1 + \int_{0,3}^{0,775} (0,5 * 0 * z_2 + 240) * 0,5 * z_2 dz_2 \right) \quad (3.40)$$

$$v_G = \frac{1}{70 * 10^9 * 2,687 * 10^{-7}} * \left( \int_0^{0,3} 400 z_1^2 dz_1 + \int_{0,3}^{0,775} 120 z_2 dz_2 \right) \quad (3.41)$$

$$v_G = \frac{1}{70 * 10^9 * 2,687 * 10^{-7}} * \left( \frac{400}{3} * z_1^3 0,3 | 0 + \frac{120}{2} * z_2^2 0,775 | 0,3 \right) \quad (3.42)$$

$$v_G = \frac{1}{70 * 10^9 * 2,687 * 10^{-7}} * (3,6 + 30,63) \quad (3.43)$$

$$v_G = 0,0018 \text{ m} = 1,8 \text{ mm} \quad (3.44)$$

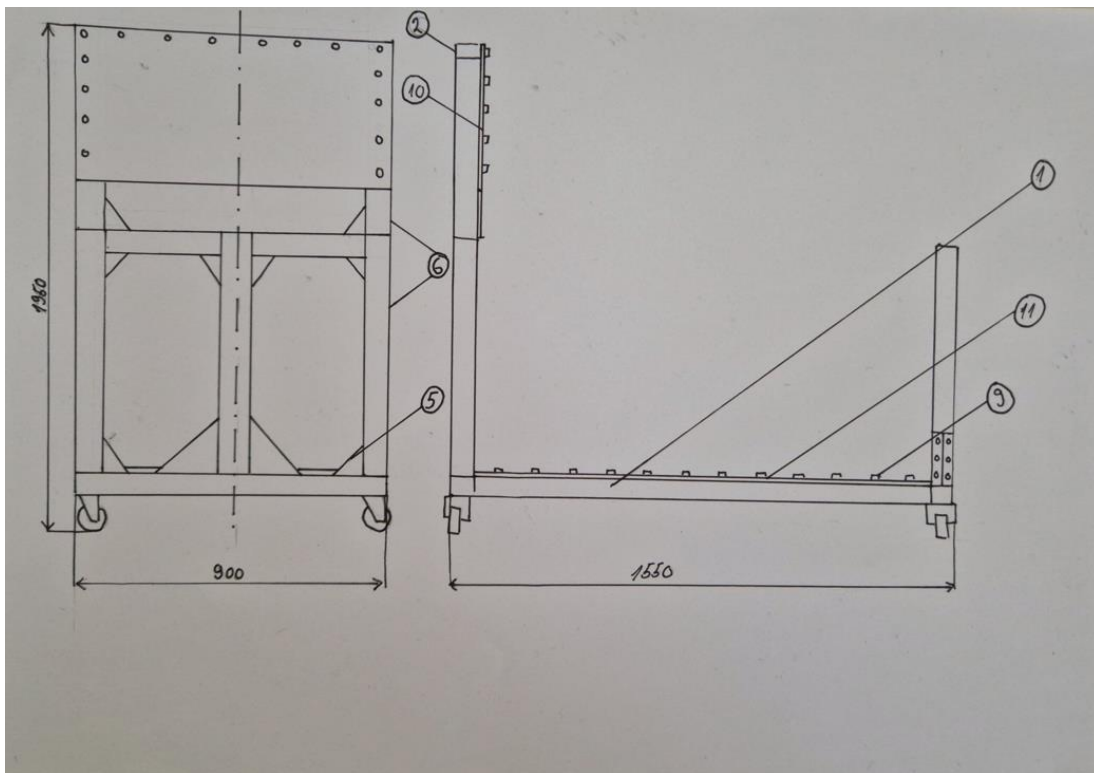
Najveći vertikalni pomak pri maksimalnom opterećenju od 1,8 mm je zadovoljavajući. U okviru linearnog elastičnog ponašanja materijala, ovaj progib smatra se elastičnom deformacijom. To znači da će se struktura vratiti u svoj izvorni oblik kada se ukloni opterećenje.

### 3.2. Okvir ispitnog stola

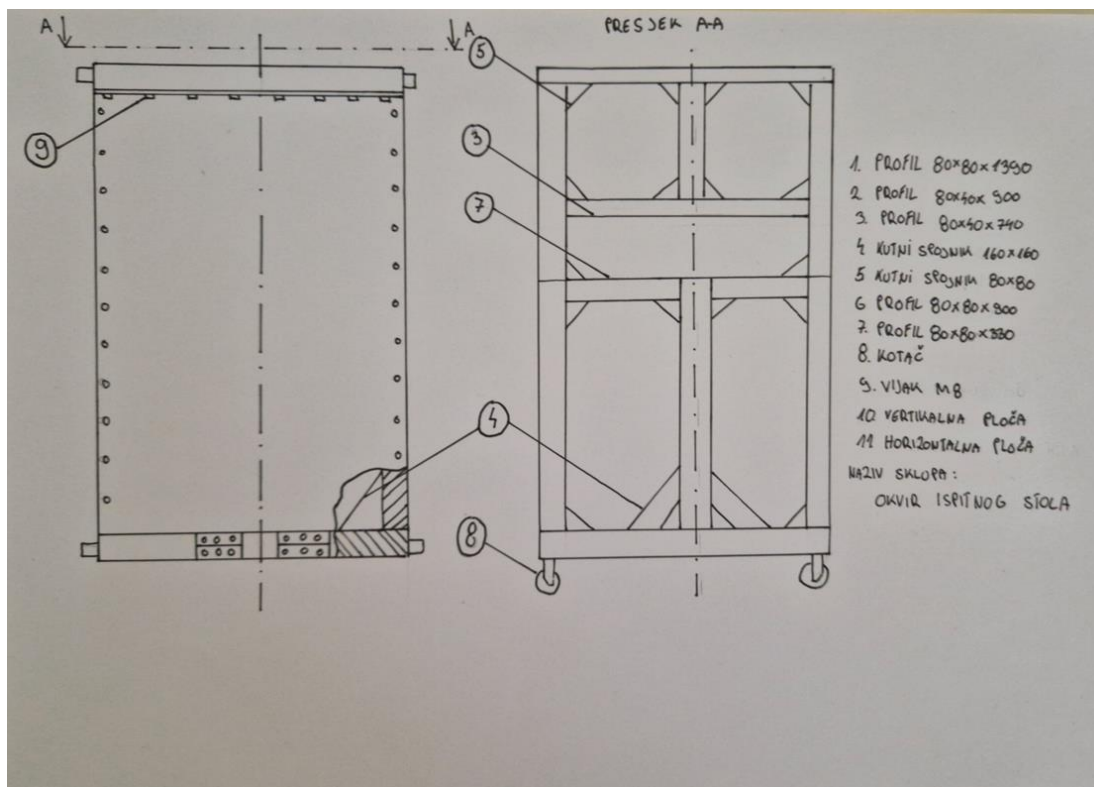
U ovom pod poglavlju cilj je detaljnije razraditi okvir ispitnog stola. Nadovezujući se na prethodno pod poglavlje, rotacijsko postolje biti će fiksirano za okvir. Također on će se nalaziti na kotačima kako bi se mogao lako transportirati na drugu lokaciju gdje će biti potreban. Posjedovat će i dvije metalne ploče koje će služiti za fiksiranje drugih komponenata kao što su pumpa, spremnici, razvodni ventili...

Za konstrukciju ovoga modela koristit će se također profili i kutni spojnici tvrtke Item24. Za okvir je odlučeno koristiti profile 80x80 mm, a na glavnim kutnim spojevima koristiti će se spojnici dimenzija 160x160x80 mm kako bi se osigurala veća krutosti i izdržljivost dok će se za ostale spojeve koristiti spojnice dimenzija 40x40.





Slika 3.6 Prvi dio skice okvira ispitnog stola



Slika 3.7 Drugi dio skice okvira ispitnog stola

Na Slika 3.6 i Slika 3.7 je prikazana skica okvira. Profili su prikazani kao puni zbog pojednostavljivanja crteža, iako su ustvari profili tako oblikovani da se po cijeloj dužini može ostvariti vijčani spoj preko vijka i posebne matice (Slika 3.8), a poprečni presjek profila se može vidjeti na Slika 3.3.



*Slika 3.8 Prikaz postavljanja matice u profil [6]*

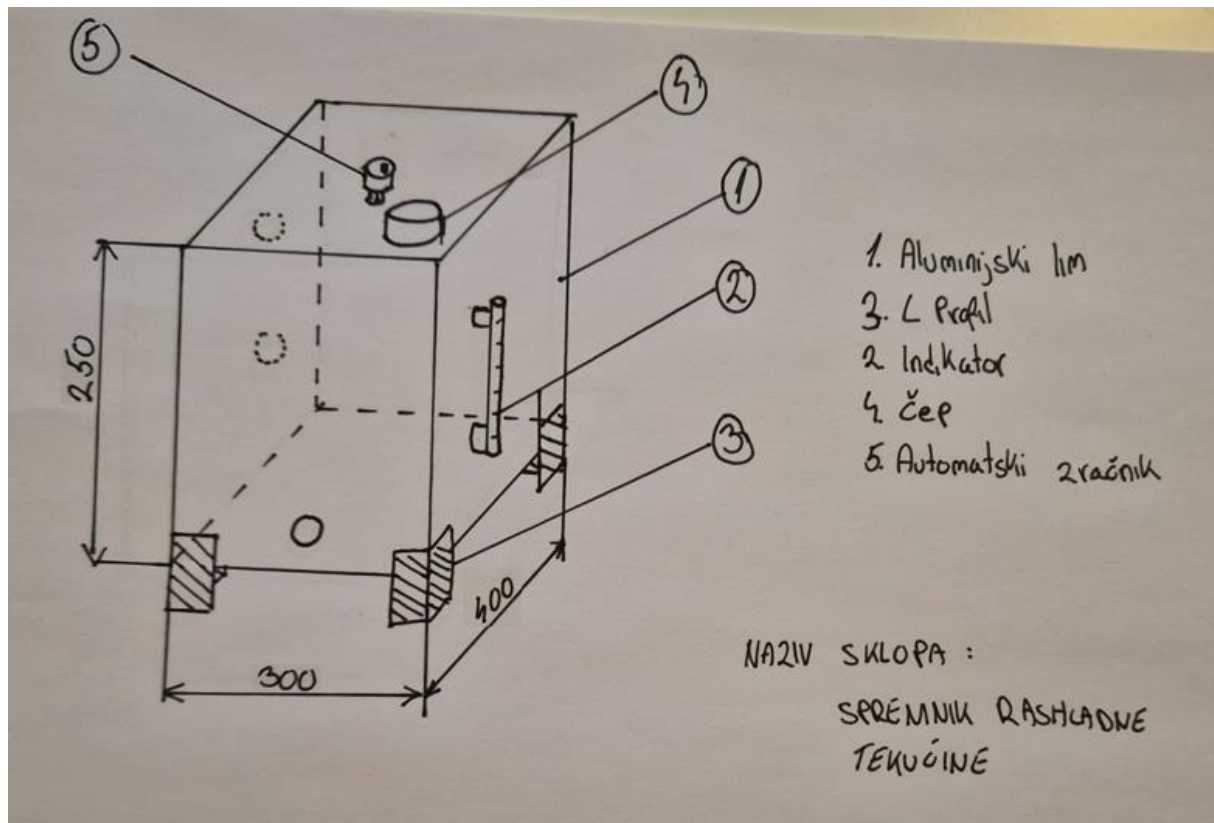
Okvir nije potrebno posebno proračunavati jer su profili koji se koriste za njega većih dimenzija od profila koji je proračunat u pod poglavlju 3.1.1. Na skici pogotovo u bokocrtu je vidljiva pozicija na koju dolazi rotacijsko postolje. Profil koji smo proračunali iz postolja se pozicionira na okvir te se učvrstiti s kutnim spojnicima 160x160. Cijeli ispitni stol se mora moći zaključiti s toga će se odabrati kotači koji dolaze s ugrađenom kočnicom. Konstrukcijsko željezo biti će odabrano kao materijal za horizontalnu i vertikalnu ploču, a biti će zaštićeno od korozije bojom ili će se plastificirati. U skladu s tim, za izradu okvira biti će potrebno samo izrezati ploče jer će ostatak biti sastavljen od kupovnih dijelova tvrtke Item 24.

### **3.3. Spremnik rashladne tekućine i spremnik za punjenje**

Potrebno je procijeniti dostupne opcije kako bi se utvrdilo je li najpogodnije rješenje kupnja spremnika od vanjskog dobavljača ili ih proizvesti interno unutar organizacije. Neke karakteristike koje spremnik rashladne tekućine mora posjedovati su indikator pokazatelja razine tekućine, zapremnina 30 l,

potrebna veličina i broj priključaka. Spremnik za punjenje ne mora imati veliku zapremninu, potrebno je samo da na vrhu sadrži automatski zračnik (ventil za odzračivanje).

Teško je pronaći ovakve spremnike na tržištu. Spremnik rashladne tekućine se neće moći pronaći zbog ne standardne raspodjele ulaznih i izlaznih priključaka tj. rupa za priključke. Moguće je kupiti standardni spremnik te kasnije probušiti rupe no u slučaju gdje je spremnik potrebno dodatno obrađivati, jeftinije je proizvesti spremnik koji zadovoljava sve uvjete. Isto to vrijedi za spremnik za punjenje.



Slika 3.9 Gruba skica spremnika rashladne tekućine

Na Slika 3.9 prikazana je gruba skica spremnika rashladne tekućine. Glavni dio spremnika napravljen je od aluminijskog lima. Volumenska ispuna mora biti veličine 30 l. Stranice spremnika su 300x400x250 mm.

$$V_1 = 300 * 400 * 250 = 30\,000\,000 \text{ mm}^3 \quad (3.45)$$

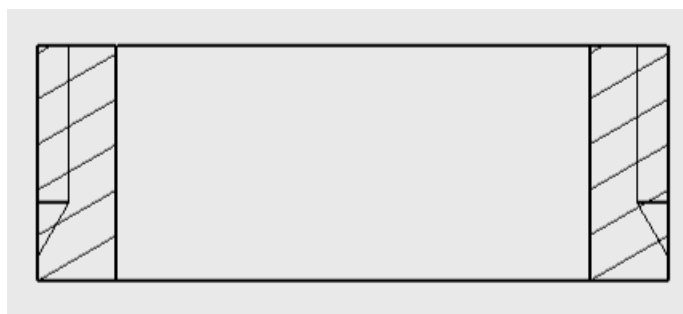
$$30\,000\,000\text{ mm}^3 = 30\text{ dm}^3 = 30\text{ l} \quad (3.46)$$

U ovoj računici je zanemarena debljina lima. Problem se javlja kada je potrebno vijčano spojiti priključke, aluminijski lim je pretanak da bi se na njega narezao navoj tj. bilo bi premalo koraka navoja. Stoga je potrebno konstruirati cilindrični priključak koji ima u sredini rupu s urezanim unutarnjim navojem, a po obodu vanjskog ruba je zavaren, a pozicioniran tako da mu se središnja os nalazi na istom pravcu kao i središnja os rupe. Priključak mora biti isto od aluminijske kako bi se uspio zavariti. Na taj način je riješen problem za sve rupe. Za čep se napravi slično rješenje ali s vanjskim navojem zato što čep ima unutarnji navoj.

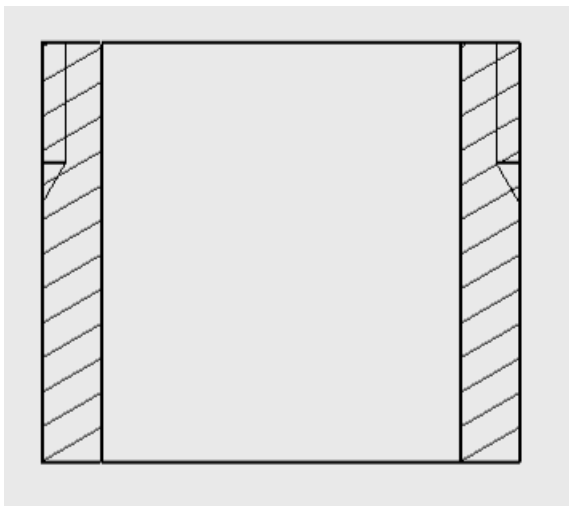
Saznanje iz prijašnjih iskustva je da prilikom zavarivanja priključka s vanjskim navojem dolazi do deformacije navoja te ne mogućnosti zavrtnja čepa. Deformacija navoja tijekom zavarivanja priključka za čep može se dogoditi iz više razloga, a neki od njih su:

- Toplinska ekspanzija: Tijekom zavarivanja dolazi do zagrijavanja materijala i širenja cijelog cilindra. Nakon hlađenja, materijal se skupi i dolazi do deformacija navoja.
- Zaostala naprezanja u materijalu: Zbog zagrijavanja dolazi do promjene unutarnjih naprezanja materijala koji mogu uzrokovati deformacije na navoj.
- Nepravilno podešen aparat za zavarivanje: Nepravilno podešen aparat za zavarivanje može uzrokovati preveliku količinu topline, što može dovesti do deformacija na navoj.

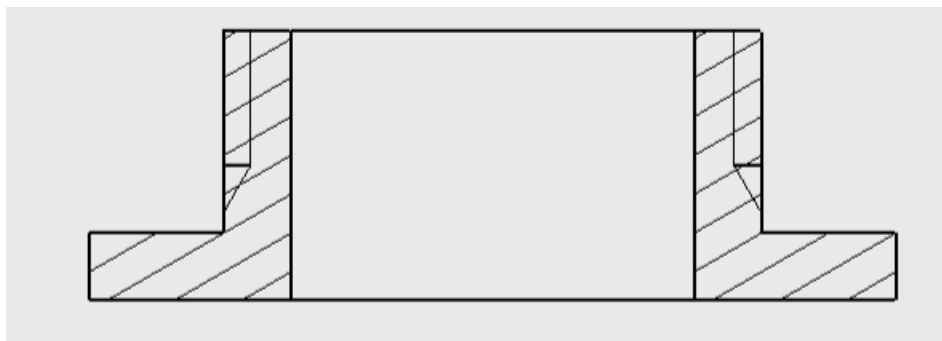
Jedan od najboljih načina za rješavanje ovog problema je korištenje materijala koji ima bolju toplinsku postojanost. No pošto su u ovom slučaju stranice lima aluminijske, potrebno je da cilindar bude od istog materijala. Drugi načini su riješiti problem drugačijim konstrukcijskim oblikovanjem u cilju da se maksimalno odvoji navoj od zavara. To se može ostvariti vertikalno većom visinom (Slika 3.11) u odnosu na početni slučaj (Slika 3.10) cilindra ili horizontalno većom koncentričnom kružnicom na donjoj strani zavara (Slika 3.12).



*Slika 3.10 Početni slučaj cilindra*



*Slika 3.11 Vertikalno rješenje*

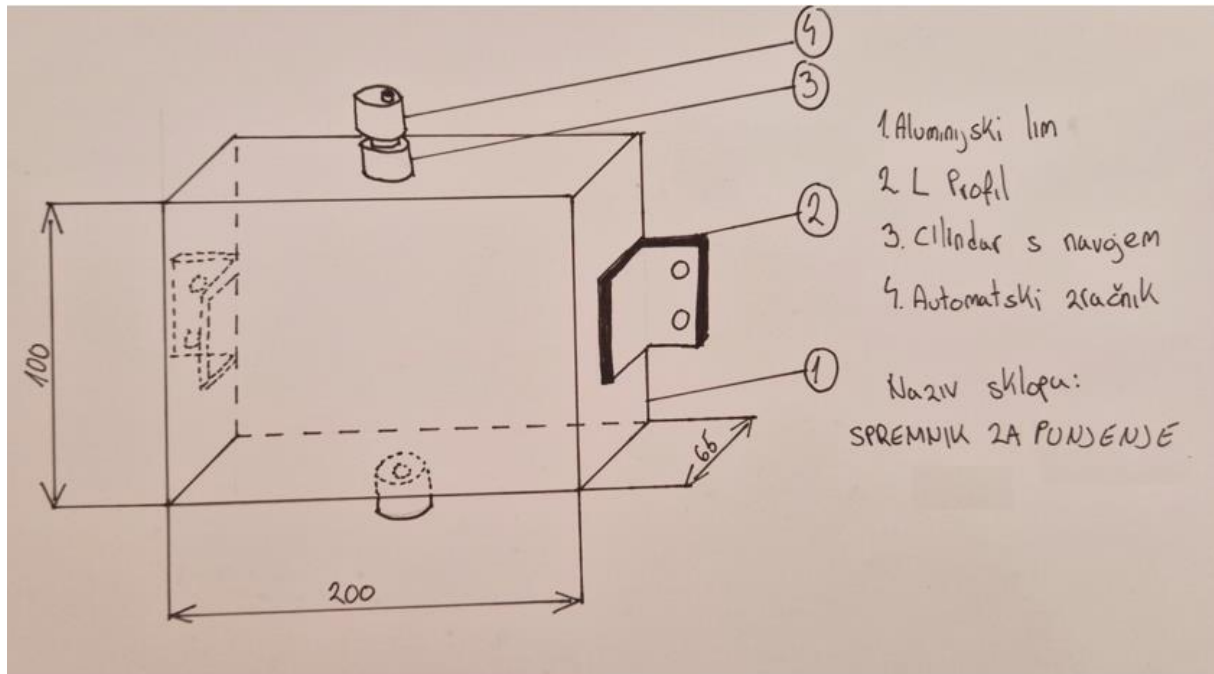


*Slika 3.12 Horizontalno rješenje*

Moguće je i ako je radiona opremljena odgovarajućim alatom (rezač navoja) urezati navoj nakon zavarivanja. Nogice za spremnik su L profili koji su zavareni za rubove lima. U cilju osiguranja prisutnosti tekućine u pumpi, koriste se nogice kako bi se postiglo potapanje pumpe u tekućini.

Spremnik se smješta na višu poziciju u odnosu na pumpu kako bi gravitacija poticala tekućinu da teče prema pumpi. Nogice omogućuju potrebnu visinsku razliku između spremnika i pumpe,.

Spremnik za punjenje ne posjeduje veliku volumensku zapreminu zato jer mu glavna uloga nije spremanje medija nego služi kao najviša točka u sustavu kroz koju je moguće ulijevati tekućinu. Spremnik se isto izradi od izrezanih aluminijskih limova koji se zavare u oblik kvadra.



Slika 3.13 Skica spremnika za punjenje

Na Slika 3.13 prikazana je skica spremnika koji on se nalazi na vertikalnoj ploči i vijčano se spaja s pločom preko dva L profila koja su zavarena na lim. Dimenzije zapremnine su 200x65x100

$$V_2 = 200 * 65 * 100 = 1300000 \text{ mm}^3 \quad (3.47)$$

$$1300000 \text{ mm}^3 = 1,3 \text{ dm}^3 = 1,3 \text{ l} \quad (3.48)$$

U spremniku će se nalaziti i zrak koji dolazi iz sustava, no njegova geometrija nije optimalna. Kako bi se osigurao optimalan protok zraka, idealan oblik spremnika bio bi cilindričnog oblika s izbočenim

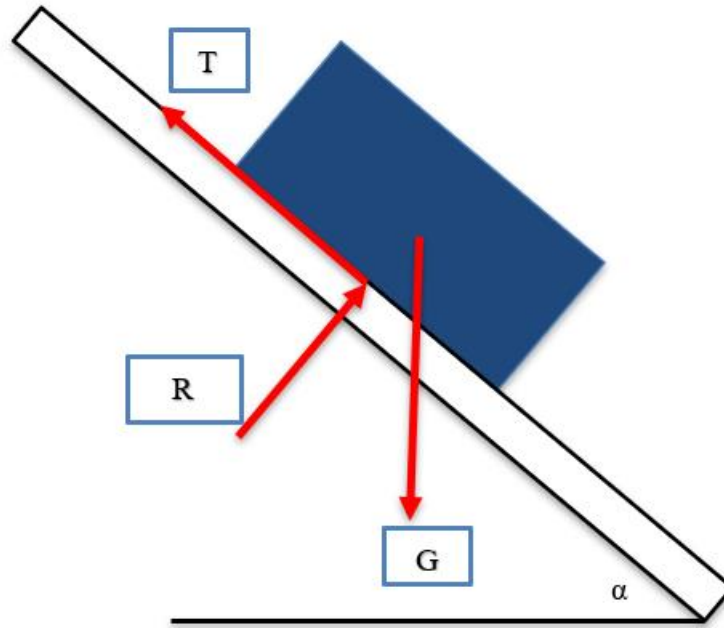
vrhom. Međutim, zbog ograničenja proizvodnje odabran je pravokutni oblik spremnika koji iako nije ideala omogućuje prihvatljivu raspodjelu zraka duž visine spremnika. Raspored zraka će biti približno jednolik, pri čemu će se veći dio zraka zadržati blizu vrha spremnika, umjesto da potpuno izađe kroz ventil. Iako pravokutni oblik spremnika nije povoljan, smatra se prihvatljivim za postizanje željenog protoka zraka. Razlog odabira ovog načina koji nije povoljni s funkcionalne strane ali su njegove prednosti s proizvodne strane. Lakše se oblikuje i zavari, cilindrični priključci se ne nalaze s unutarnje strane spremnika kao kod spremnika rashladne tekućine nego s vanjske. Razlog tome je što bi zrak još teže išao prema zračniku tj. više bi se zraka skupljalo po cijeloj površini vrha oko cilindra. Prilikom punjenja zbog male površine vrha spremnika, tekućina se ulijeva kroz cjevak koji se pozicionira u rupu gdje se nalazi automatski zračnik, navoj na cilindru iznosi  $G \frac{1}{2}$  što je promjer od skoro 20 mm te stoga neće biti problem uliti tekućinu. Kod spremnika rashladne tekućine to nije problem pa se zbog estetskih razloga cilindar nalazi s unutarnje strane, no tu je u sklopnom nacrtu potrebno naglasiti zavarivanje cilindra prije zavarivanja samog lima.

### **3.4. Fiksator modula**

Potrebno je osmisliti način fiksiranja modula, ovo je dodatno bitan dio konstrukcije ispitnog stola razlog tome je jer dolazi do rotacije, pa samim time i do opasnosti od pada i oštećenja modula.

#### **3.4.1. Proračun kuta nagiba**

Prije nego se odredi oblik konstrukcije provesti će se proračun pri kojem kutu dolazi do klizanja modula sa stola. Ako rezultat proračuna pokaže da neće doći do klizanja ni pri maksimalno konstrukcijski dozvoljenom kutu fiksator će se i dalje konstruirati iz sigurnosnih razloga.



*Slika 3.14 Prikaz sila na modulu*

$G$  – gravitacijska sila

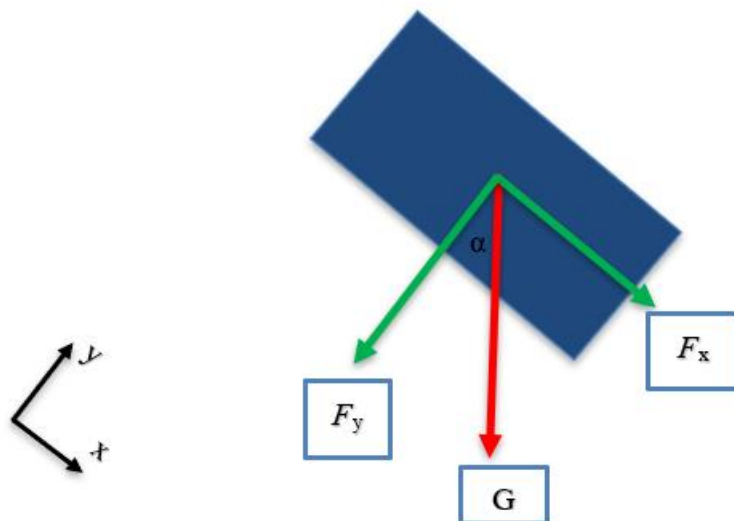
$N$  – reakcijska sila

$T$  – sila trenja

$\alpha$  – kut nagiba

Na Slika 3.14 je prikazan slučaj za koji je potrebno izračunati maksimalan kut nagiba baterijskog modula koji se može ostvariti, a da tom prilikom ne dođe do klizanja. Plavim pravokutnikom prikazan je modul dok je crnim stol. Sila trenja djeluje suprotno od gibanja modula u ovom slučaju prema gore, gravitacijska sila se javlja u težištu dok je reakcijska sila reakcija podloge. Traži se najveći kut za koji još uvijek vrijedi da je sila trenja veća od sile klizanja. Pošto nema vanjskih sila koje djeluju na modul, sila klizanja je dio gravitacijske sile koja djeluje paralelno s kosinom (Slika 3.15).





Slika 3.15 Gravitacijska sila podijeljena po osima

$F_x$  – gravitacijska sila koja djeluje u smjeru osi x

$F_y$  – gravitacijska sila koja djeluje u smjeru osi y

Za izračun  $F_x$  koristi se izraz:

$$F_x = \sin\alpha * G \quad (3.49)$$

$$F_y = \cos\alpha * G \quad (3.50)$$

Gravitacijska sila je umnožak gravitacijskog ubrzanja i mase modula

$$G = mg \quad (3.51)$$

m – masa modula

g – gravitacijskog ubrzanja

Sila trenja je umnožak koeficijenta trenja i sile na podlogu:

$$T = \mu N \quad (3.52)$$

$\mu$  - koeficijent trenja

Reakcija podloge je jednaka gravitacijska sila koja djeluje u smjeru osi y

$$N = F_y \quad (3.53)$$

Da bi se izračunao maksimalni dozvoljeni kut nagiba sila trenja mora biti veća od gravitacijske sile u smjeru osi x.

$$T > F_x \quad (3.54)$$

Uvrštavanjem prijašnjih izraza u formulu (3.54) dobiva se:

$$\mu N > \sin\alpha * G \quad (3.55)$$

$$\mu * \cos\alpha * mg > \sin\alpha * mg \quad (3.56)$$

$$\mu > \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} \quad (3.57)$$

$$\alpha < \arctg\mu \quad (3.581)$$

Koeficijent trenja između gumene podloge koja se nalazi na stolu i čelične podloge koja se nalazi na modulima iznosi između 0,6 - 0,8. Iz sigurnosnih razloga usvaja se vrijednost koja će dati manji

maksimalni kut. Materijal podloge za modul može biti i polimer ali koeficijent trenja između polimera i gume je veći nego između gume i čelika stoga se on u proračunu ne koristi. [7]

$$\mu = 0,6 \quad (3.59)$$

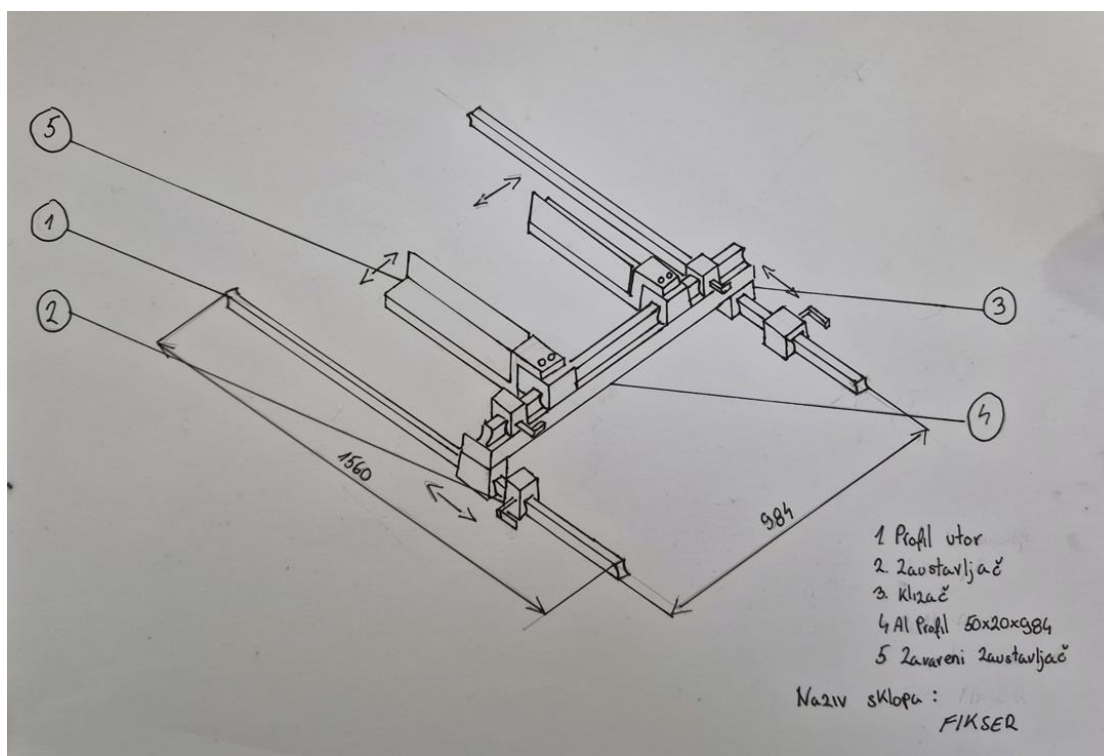
Konačni nagib kuta iznosi:

$$\alpha < 30,96^\circ \quad (3.60)$$

Modul će početi kliziti tek kada se ispitni stol nagne za kut veći od  $\alpha$ , stoga se rotacija može zaustaviti na kutu od  $\pm 30^\circ$ , kako bi osigurali da neće doći do proklizavanja. No i dalje je potrebno imati fiksator koji će iz sigurnosnih razloga pridržavati modul.

### 3.4.2. Projektiranje fiksatora modula

Pošto su profili ispitnog sustava proizvedeni od strane tvrtke Item24, fiksator će isto tako većim dijelom biti proizveden od dijelova iste tvrtke. U svrhu izbjegavanja većih troškova zbog zadavanja visokih tolerancija te kompliciranih oblika profila koje je potrebno proizvesti kako bi fiksator modula jednostavno ispunjavao svoju funkciju. Fiksator je zamišljen kao pomični profil koji se može prilagoditi po dimenziji modula te ga fiksirati. Drugim riječima može se kretati po cijelom stolu.



Slika 3.16 Gruba skica fiksatora

Na Slika 3.16 je prikazana gruba skica fiksatora. Ona se sastoji od klizača koji imaju utore u obliku linearne vodilice po kojima se giba (Slika 3.17). Na njima se nalazi dodatni aluminijski profil koji na sebi ima isti takav par klizača. Na Slika 3.17 je također prikazano kako je linearna vodilica vijčano vezana za profil utora. Takav spoj moguće je ostvariti zbog oblika aluminijskog profila. Na gornjem paru klizača nalaze se dva zavarena zaustavljača koji ograničavaju gibanje modula u oba smjera okomita na smjer osi rotacije. Strelicama je prikazan mogući smjer gibanja klizača. Zaustavljač također ima mogućnost gibanja kao i klizač jer isto posjeduje utor u linearne vodilice, no okretanjem ručice dolazi do povećavanja sile trenja ostvareno oblikom i fiksiranja zaustavljača u određenoj poziciji. Zavareni zaustavljač se sastoji od limenog profila koji se savija u oblik Z koji na sebi ima zavarenu pločicu. Ta dva dijela su plastificiranja kako bi se izolirala električna provodljivost između njih i ostatka fiksatora.

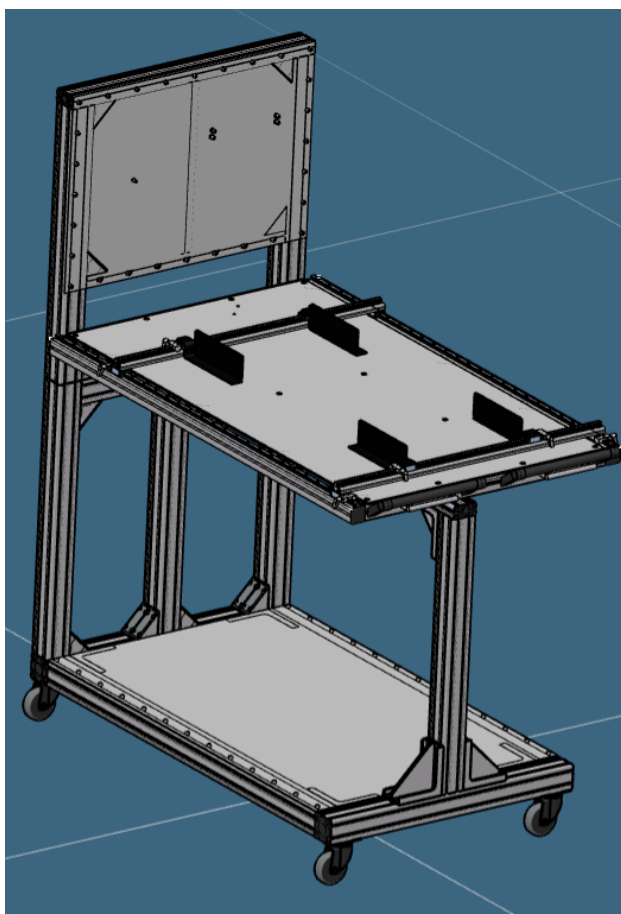


*Slika 3.17 Prikaz klizača i profila [8]*

### **3.5. Cijeli sklop**

Modeliranje dijelova će se odvijati u softverskom programu 3DEXPERIENCE. 3DEXPERIENCE je vodeća platforma za CAD dizajniranje koja pruža napredne alate i mogućnosti za razvoj inovativnih proizvoda. Ova platforma, razvijena od strane Dassault Systèmes, omogućuje stvaranje složenih 3D modela, simulira njihovu funkcionalnost i provodi detaljne analize kako bi optimizirali dizajn. Kroz intuitivno sučelje i integrirane CAD aplikacije, 3DEXPERIENCE omogućuje inženjerima da brzo i precizno stvaraju virtualne modele proizvoda. Alati za parametarsko modeliranje, površinsko modeliranje i montažu olakšavaju proces dizajna i omogućuju inženjerima da vizualiziraju i provjere funkcionalnost svojih ideja.

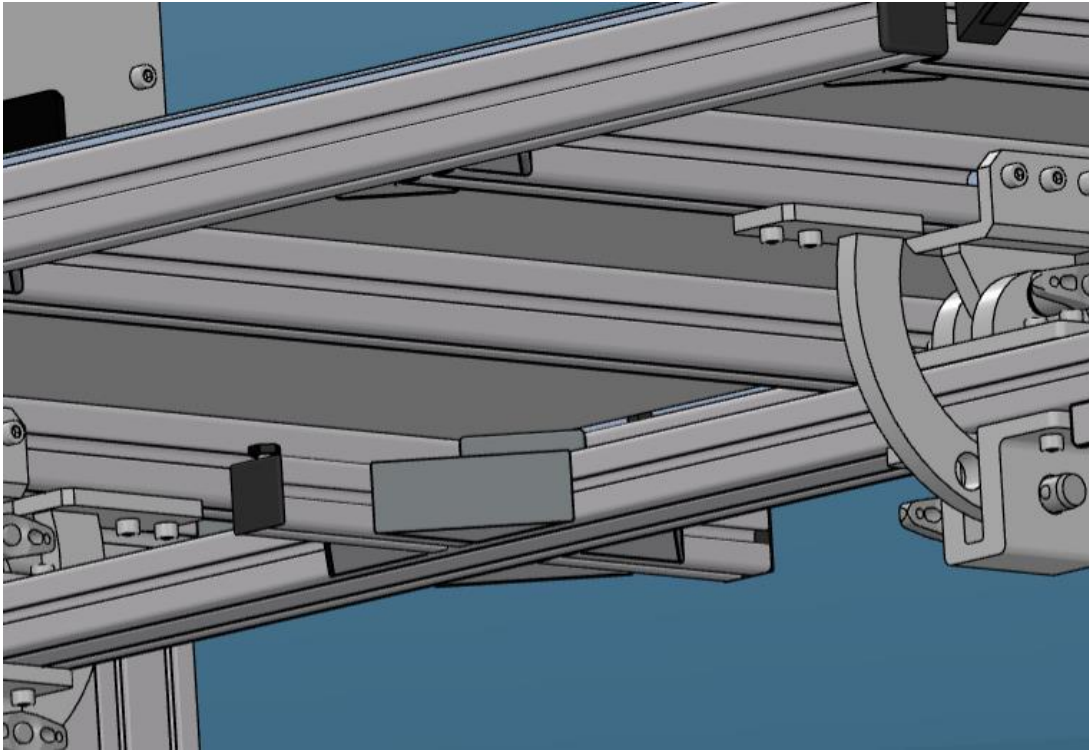
Ovaj sklop nije konačna verzija tj. on je prikaz sklopa bez detaljno razrađenih komponenti. Detaljna konstrukcijska razrada će se odvijati u poglavlju 5. gdje će se odrediti materijal, obrada površine i konačan oblik. Također ovo je prikaz bez komponenti koje su prikazane na Slika 2.3.



*Slika 3.18 Prikaz sklopa rotacijske platforme, okvira ispitnog stola i fiksatora*

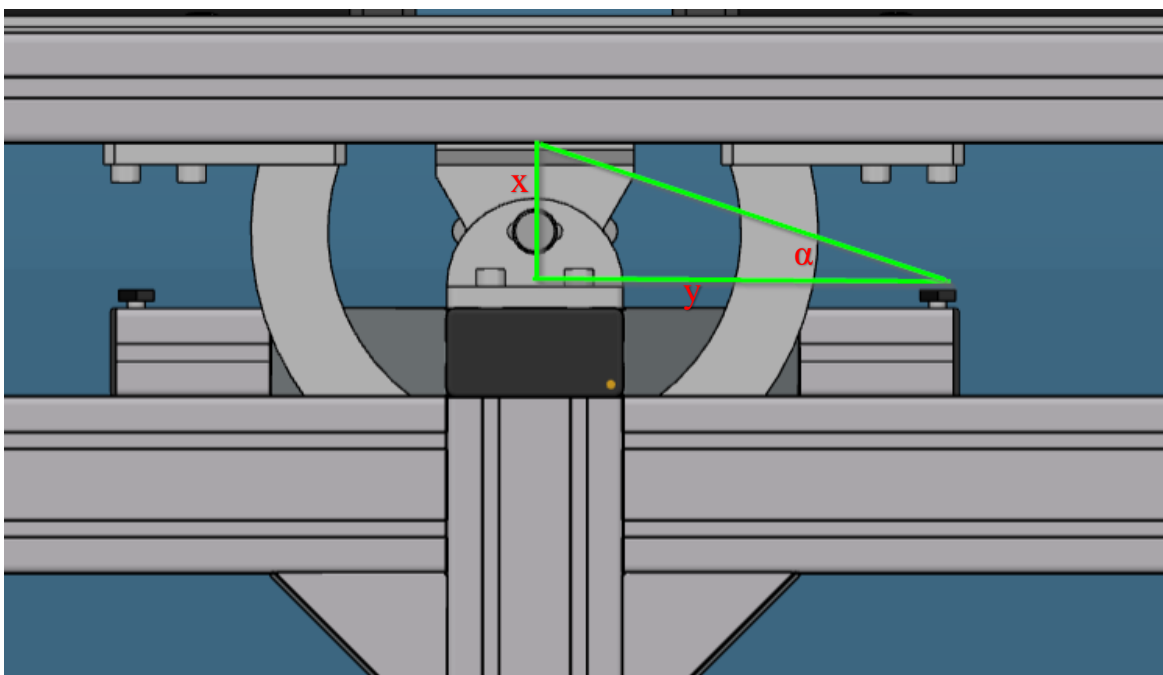
Na Slika 3.18 je prikazan sklop rotacijske platforme, okvira ispitnog stola i fiksatora. Aluminijski profil koji se nalazi na donjem dijelu rotacijskog postolja postavi se na okvir i vijčano se spoji pomoću kutnih spojnika. Fiksator se poveže s profilima rotacijske platforme na način koji je prikazan na Slika 3.17.

Neki dijelovi su dodani u odnosu na prijašnje grube skice. Jedan od tih dijelova je stoper koji ne dozvoljava rotaciju veću od  $\pm 30^\circ$ , na način da fizički oblikom onemogućí dodatno okretanje rotacijske platforme.



*Slika 3.19 Stoper*

Stoper je sklop koji se sastoji od dva profila, četiri kutna spojnika kojima se vijčano spaja za profil rotacijskog postolja te dva vijka na kojima se nalazi gumeni vrh koji i dolazi u kontakt sa stolom. Dužina profila na stoperu izračunala se preko pravokutnog trokuta, jer je bila poznata visina i kut te je bilo potrebno izračunati drugu katetu (Slika 3.20).



*Slika 3.20 Prikaz izračuna dužine stopera*

Poznavanjem visine profila i visine gumenog nastavka dobije se vrijednost  $x$ :

$$x = 67 \text{ mm} \quad (3.2)$$

Vrijednost  $\alpha$  izračunala se u izrazu (3.)

$$\alpha < 30,96^\circ \quad (3.3)$$

Usvaja se:

$$\alpha = 30^\circ \quad (3.4)$$



Stranica  $y$  izračuna se preko:

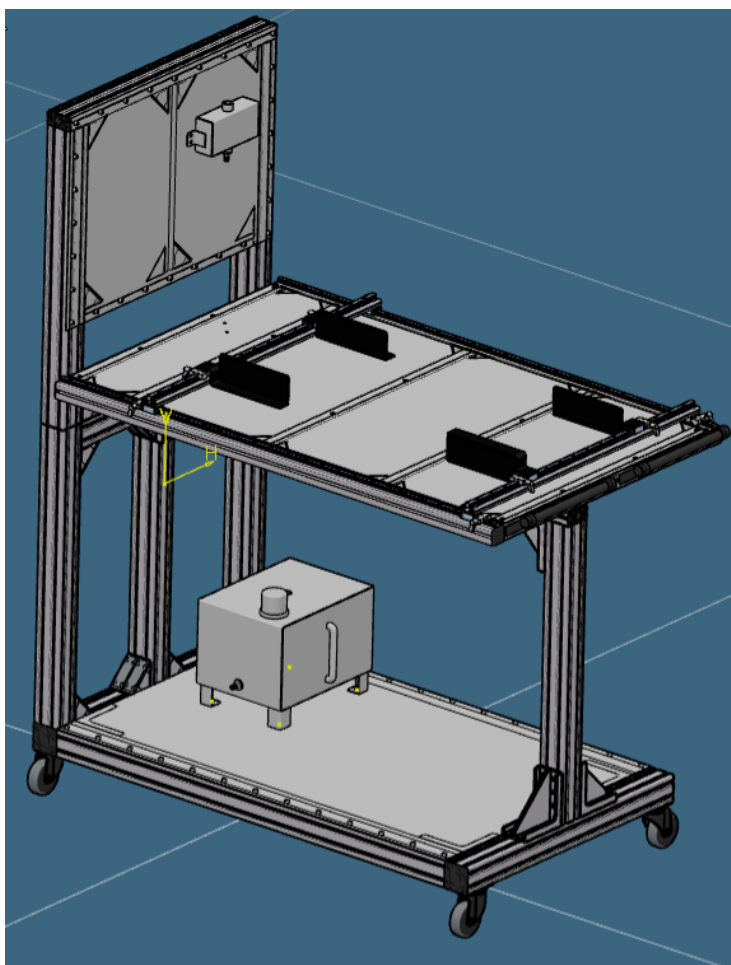
$$y = \frac{x}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{67}{\operatorname{tg} 30^\circ} = 116 \text{ mm} \quad (3.5)$$

Time se izračunala dužina jedne strane tj. jednog profila. Ukupna dužina stopera iznosi  $y +$  debljina profila (80 mm) +  $y$  :

$$l = 2 * y + 80 = 312 \text{ mm} \quad (3.6)$$

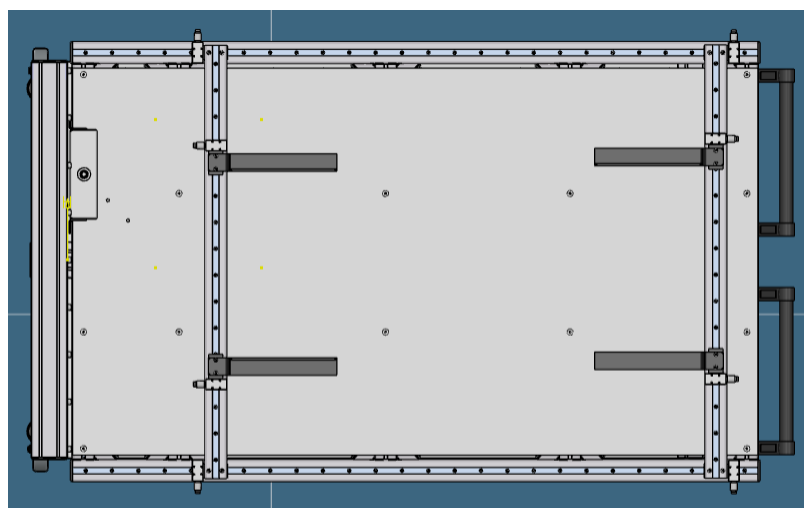
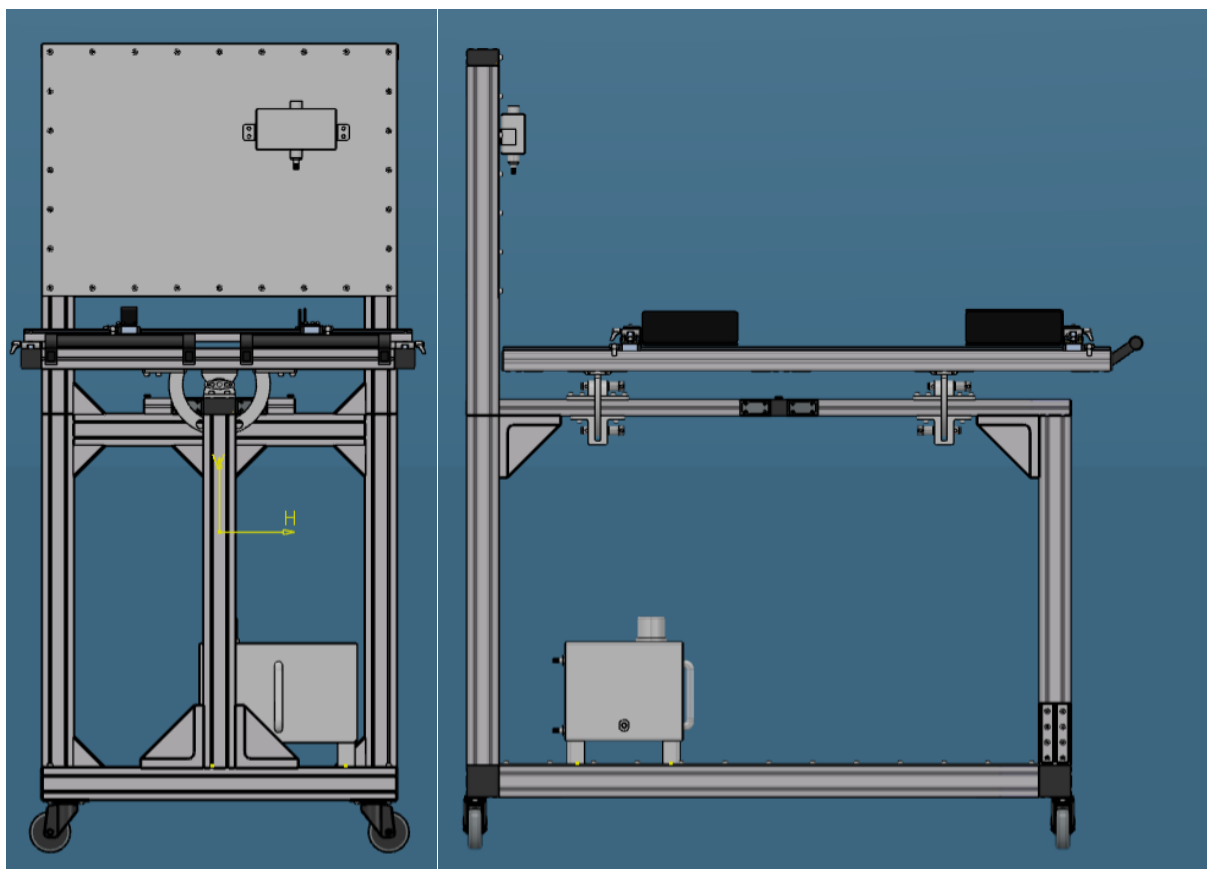
Od dodatnih elemenata koji se ne spominju u gruboj skici, a naknadno su dodana tijekom modeliranja sklopa su ručke koje služe za okretanje rotacijskog postolja i mogu se vidjeti na Slika 3.18, te kutni spojnici sa pripadnim vijcima i maticama.

Slika 3.21 prikazuje sklop sa svim komponentama koje se spominju u pod poglavljima u poglavlju 3. Vidljiva je lokacija spremnika rashladne tekućine i spremnika za punjenje zraka. Kako se ranije navelo, spremnik rashladne tekućine se nalazi ispod rotacijskog postolja jer tada rashladna tekućina ne mora savladavati gravitacijsku silu kada se prazni. Također ima nogice jer se očekuje da će se pumpa nalaziti na ploči, a kako se u njoj mora nalaziti tekućina da bi bila u mogućnosti ostvariti protok, izlazni otvor spremnika mora biti na većoj relativnoj visini kako bi se tekućina nalazila u cijevi kojom je povezana pumpa. Isto tako se spremnik za punjenje nalazi na najvišoj točki u sustavu kako bi se gravitacijski mogao napuniti te kako bi se zrak zbog svoje male gustoće gibao prema vrhu spremnika. Ostale komponente će se odrediti u poglavlju 4. odabir komponenata te će onda biti moguće napraviti konstrukcijsku razradu jer će se poznavati pozicija svih komponenata u sklopu zajedno s načinom pričvršćivanja te dimenzijama rupa.



*Slika 3.21 Prikaz sklopa sa svim komponentama iz poglavlja 3. PROJEKTIRANJE*

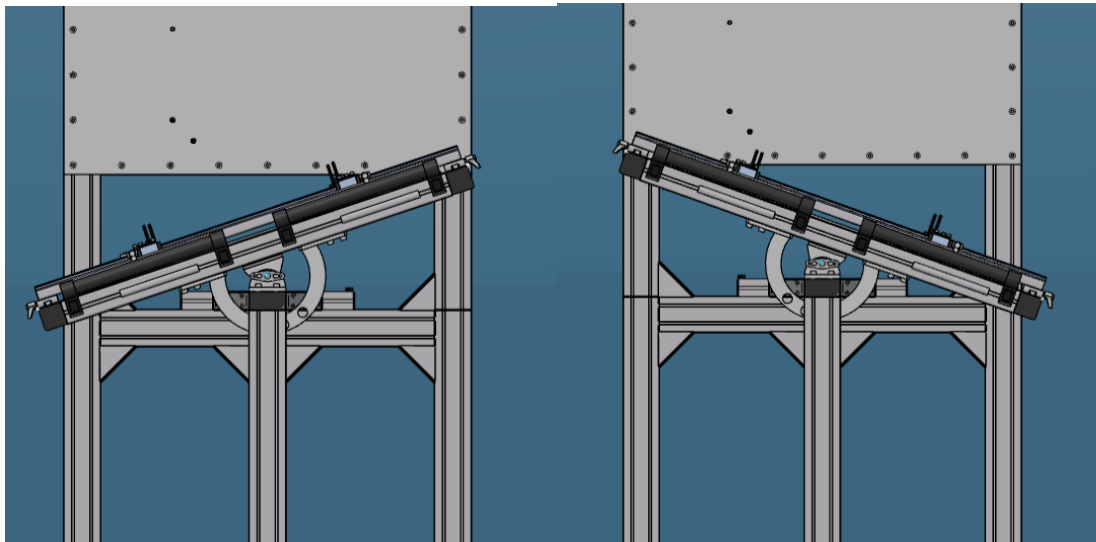
Na Slika 3.22 prikazan je nacrt, tlocrt i bokocrt ispitnog sustava. Tu se nalaze sve komponente koje je bilo potrebno dizajnirati dok se ostale komponente kupe gotove kao na primjer pumpa, priključci, ventili, itd.



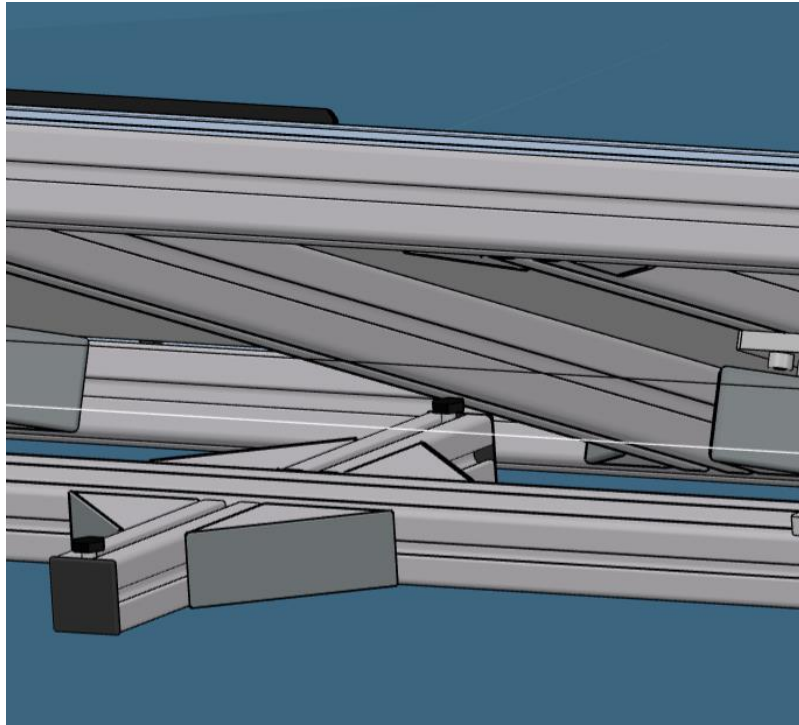
*Slika 3.22 Nacrt, tlocrt i bokocrt ispitnog stola*

Rotacija platforme u jednu i u drugu stranu je prikazana na Slika 3.23, rotacija se izvršava na način da operater izvadi pinove s kuglicom iz U držača te zatim uz pomoć ručka koje su vijčano spojene s profilom zaokreće platformu. Slika 3.24 prikazuje trenutak kada se dosegne maksimalan kut rotacije (nagiba) i dolazi do kontakta između stopera i rotacijske platforme. Ako se modul pozicionira na sredinu stola i masa je ravnomjerno raspoređena, tada moment inercije i sila potrebna za ostvarivanje rotacije biti će manja nego kada bi masa bila nejednako raspoređena. Kada je masa ravnomjerno raspoređena, nema dodatnog momenta koji bi trebao biti savladan. Stoga, ako operater primjeni malu silu na ručkama, stvaranje rotacije će biti lakše jer ne postoji nejednaka raspodjela mase koja bi stvarala veći moment inercije.

Ako je modul na stolu malo zamaknut njegov centar mase se ne nalazi točno u sredini stola. U takvom slučaju, moment inercije i sila potrebna za rotaciju će se povećati u usporedbi s situacijom kada je predmet precizno postavljen na sredinu stola. Kada je centar mase pomaknut izvan središnje osi, postoji nejednakost u raspodjeli mase, što rezultira većim momentom inercije. Veći moment inercije znači da će biti potrebna veća sila za pokretanje rotacije predmeta. Koliko će se sila povećati ovisi o konkretnim parametrima predmeta, njegovoj masi, udaljenosti centra mase od središnje osi stola te geometriji predmeta. Ukoliko se centar mase pomakne daleko od središnje osi, povećanje sile može biti značajno. Stoga se naglašava važnost na točnom pozicioniranju modula.



*Slika 3.23 Rotacije platforme*



*Slika 3.24 Stoper u kontaktu s rotacijskom platformom*

## 4. ODABIR KOMPONENATA

Odabir kupovnih komponenata u procesu projektiranja ili izgradnje sustava igra ključnu ulogu u postizanju željenih performansi, pouzdanosti i funkcionalnosti. Kupovni elementi često pružaju stručno dizajnirana rješenja koja su već testirana i optimizirana za određene svrhe. Ovaj poglavlje posvećeno je analizi i odabiru najprikladnijih kupovnih elemenata za ispitni sustav.

Prilikom odabira kupovnih elemenata, nekoliko važnih faktora treba uzeti u obzir. Prvo, potrebno je procijeniti specifične zahtjeve i performanse koje sustav zahtijeva. Pored toga, trošak elemenata, dostupnost na tržištu i mogućnost podrške i održavanja također su bitni faktori koje treba uzeti u obzir.

U ovom dijelu fokus je samo na kupovne elemente koji se odnose na ostvarivanje pojedinih funkcionalnosti (komponente sa Slika 2.3). Elementi koji se odnose na konstrukciju stola bit će detaljnije razrađeni u poglavlju 5 koje se bavi konstrukcijskom razradom. U Tablica 4-1 prikazan je naziv komponenti te koliko količinskih jedinica tog proizvoda je potrebno kupiti.

*Tablica 4-1 Popis kupovnih komponenata*

<b>Naziv</b>	<b>količina</b>
Hidroagregat	1
Regulator tlaka	1
Troputni ventil	1
Manometar	3
Razvodni ventil 3/2	2
Osjetnik protoka	1
Osjetnik tlaka	2
Sigurnosni ventil	1
Filter	1
Automatski zračnik	2
Nepovratni ventili	2

## 4.1. Hidroagregat

Prema preporukama kolega uslijed pouzdanog rada prijašnjih proizvoda, hidroagregat se naručuje od talijanske tvrtke imenom MACRO. Hidroagregat koji se odabrao je MARCO UP8 Heavy Duty s brončanim zupčanicama (Slika 4.1), protokom od 10 L/min i radnim naponom od 12 V.



*Slika 4.1 MARCO UP8 Heavy Duty Pumpa [9]*

Hidroagregat (Slika 4.1) pruža nekoliko prednosti i karakteristika koje su od vitalnog značaja za uspješno funkcioniranje sustava. Brončani zupčanci koje se koriste u ovoj pumpi pružaju izdržljivost i pouzdanost, otporni su na habanje i koroziju, čime osiguravaju dugotrajan rad pumpe s minimalnom potrebom za održavanjem. Ova pumpa ima sposobnost generiranja snažnog protoka, što je ključno za osiguravanje potrebnih brzina protoka tekućine za optimalno funkcioniranje. Također, pumpa je prijenosna i jednostavna za instalaciju zbog svoje kompaktne veličine i jednostavnog dizajna. To olakšava montažu u sustav i prilagodbu prema potrebama. Prije ulaska u pumpu nalazi se filter koji sprječava ulazak nečistoća koje bi mogle dovesti do oštećenja zupčanika.[9]

## 4.2. Regulator tlaka zraka

U tvrtki Rimac Technology, gdje se koriste razni alati, strojevi i pneumatska oprema zračni sustav osigurava optimalnost rada tih sustava. Regulator tlaka ovdje je od vitalne važnosti kako bi se osiguralo dosljedan i pouzdan performans pneumatske opreme, kao i zaštita osjetljivih komponenti od prevelikog tlaka.



*Slika 4.2 Regulator tlaka LR-1/4-D-7-I-MINI [10]*

Odabrani regulator tlaka je model LR-1/4-D-7-I-MINI tvrtke Festo. Neke od bitnih karakteristika za ovaj sustav su raspon regulacije tlaka koji iznosi od 0,5-7 bar, standardni nominalni protok 1600 l/min, temperatura medija između -10°C...60°C te pneumatski priključci navoja G ¼". [10]



### 4.3. Troputni ventil

Troputni ventil je vrsta ventila koja ima tri izlazna priključka. Uloga ovog ventila u sustavu je odzračivanje zaostalog tlaka u crijevima. Nakon završetka ispuhivanja sustava na troputnom ventilu usmjerava se protok prema izlaznom kanalu koji nije spojen na drugo crijevo nego ispušta zrak u atmosferu. Odabrani ventil 3 BKR TK VZ je od tvrtke Hansa Flex, 3 smjerni ventil u blok izvedbi. Iz specifikacija za pumpu vidljiva je potreba za korištenjem crijeva promjera 13 mm. Kako ne bi došlo do velikih promjena promjera, a samim time i padova tlakova, ventil mora imati slične dimenzije provrtate se stoga odabrao ventil 3 BKR TK VZ s navojnim rupama imperijskog navoja vanjskog promjera  $G \frac{1}{4}$  preračunatog u milimetre iznosi 13,157 mm. (Slika 4.3) [11]



*Slika 4.3 Ventil 3 BKR TK VZ [11]*

#### 4.4. Manometar

Manometar je instrument koji se koristi za mjerenje tlaka u sustavima s tekućina i plinova. On pruža vizualni prikaz tlaka u jedinicama koje su prikladne za određeni radni raspon. Kada je riječ o odabiru manometra za određeni sustav, bitno je razmotriti nekoliko faktora. Prvo, treba uzeti u obzir radni raspon tlaka koji se očekuje u sustavu. Važno je izabrati manometar koji ima dovoljno široku skalu za prikazivanje raspona tlaka, ali istovremeno ne preveliku skalu za područja tlaka koja se ne očekuju. Drugi važan aspekt je kompatibilnost manometra s tekućinom ili plinom koji će se mjeriti. Nepravilan odabir manometra za određenu tekućinu ili plin može dovesti do netočnih rezultata i oštećenja instrumenta.



*Slika 4.4 Manometar s Bourdonovom cijevi, Modeli 111.10 [12]*

Odabrani manometar je manometar s Bourdonovom cijevi, legura bakra standardna verzija modeli 111.10 tvrtke Wika [Slika 4.5 1/2" BSP razvodni ventil 12VDC [13]. Postoji široki odabir manometra tog modela s različitim specifikacijama. Za ovaj sustav odabran je prije spomenuti model sa šifrom proizvoda 9013709. njegove specifikacije nalaze se u Tablica 4-2 Specifikacije manometra model 111.10 Najbitniji parametar je bio raspon skale te da promjer navoja bude jednak kao i kod ostalih komponenata.

*Tablica 4-2 Specifikacije manometra model 111.10 [12]*

Model	111.10
Promjer	80 mm
Raspon skale	0-4 bar
Navoj	G 1/4 B
Kućište	crna plastika
Pokazivač	Crni, plastični
Pozadina	Bijela
Oznaka norme na brojčaniku	EN 837-1
Šifra proizvoda	9013709

#### **4.5. Razvodni ventil**

Razvodni ventil nije potrebno kupovati jer tvrtka ima na stanju 3/2 razvodni ventil 1/2" 12VDC tvrtke Hydraulic Megastor (Slika 4.5)



*Slika 4.5 1/2" BSP razvodni ventil 12VDC [13]*

Ovaj razvodni ventil omogućuje prebacivanje protoka između različitih izlaza na jednostavan i pouzdan način. Radi na principu elektromagnetskog djelovanja, gdje se električna energija koristi za

aktiviranje unutarnjeg mehanizma ventila. Kada je ventil u isključenom stanju, unutarnji mehanizam zatvara prolaz između ulaza i izlaza 2. Kada se ventil aktivira primjenom 12VDC napajanja, elektromagnetsko polje pokreće mehanizam ventila, otvarajući prolaz između ulaza i izlaza 2.

Važno je napomenuti da su se u prostorima tvrtke provela testiranja ovog razvodnog ventila kako bismo potvrdili njegovu sposobnost brtvljenja i preusmjeravanja kako tekućine tako i zraka. Ispitivanja su pokazala da ovaj ventil pouzdano brtvi protiv curenja zraka i tekućine.

#### 4.6. Osjetnik protoka

Osjetnik protoka je instrument koji se koristi za mjerenje protoka tekućine ili plina kroz sustav. Radi na principu mjerenja brzine protoka tekućine ili plina kroz otvor ili cijev. Kada fluid protječe kroz otvor, stvara se određeni tlak ili promjena tlaka koja se koristi za izračunavanje protoka. Ovisno o vrsti osjetnika protoka, mogu se koristiti različiti principi mjerenja, kao što su termalni, elektromagnetski, ultrazvučni ili mehanički principi.

Također ga nije potrebno kupovati jer u tvrtki postoje osjetnici modela V01 tvrtke Sika [Slika 4.6] koji se trenutno ne koriste. Glavne karakteristike tog uređaja su raspon mjerenja od 0..10 l/min, raspon temperature medija od -10°C...70°C te raspon viskoznosti 0.3...350 mPa/s [13]



*Slika 4.6 Osjetnik protoka Sika V01 [13]*

## 4.7. Osjetnik tlaka

Osjetnik tlaka je instrument koji se koristi za mjerenje tlaka u tekućinama, plinovima ili vakuumu. On je ključni element u mnogim industrijskim i tehničkim sustavima gdje je praćenje i kontrola tlaka od vitalne važnosti. Osjetnik tlaka radi na principu pretvaranja fizičkog tlaka u odgovarajući električni signal koji se može mjeriti i interpretirati. Postoje različite vrste osjetnika tlaka, kao što su membranski, piezoelektrični, rezistivni ili optički osjetnici, koji koriste različite metode za mjerenje tlaka. U ovom sustavu će se koristiti osjetnik tlaka model A-10 tvrtke Wika [Slika 4.7].



*Slika 4.7 Osjetnik tlaka model A-10 [15]*

Ovaj model dolazi u različitim podvarijantama stoga je mogući detaljniji odabir prema karakteristikama koje se nude. Odabran je osjetnik tlaka s rasponom mjerenja između 0...4 bara isto kao i manometar, sa navojem priključka G 1/4' te sa rasponom temperature medija -30°C...100°C [15]

## 4.8. Sigurnosni ventil

Svrha sigurnosnog ventila je osigurati sigurno i pouzdano funkcioniranje sustava reguliranjem i otpuštanjem viška tlaka. Sigurnosni ventil djeluje kao sustav zaštite od preopterećenja. Kada tlak unutar sustava premaši zadane sigurnosne granice, ventil se aktivira i otvara kako bi omogućio brzo i kontrolirano smanjenje tlaka. To sprječava akumulaciju tlaka iznad sigurnih granica i potencijalne štete koja bi mogla nastati uslijed pritiska. U ovom sustavu sigurnosni ventil ima funkciju vraćanja tekućine ili zraka u spremnik u situacijama kada tlak postane prevelik.

Bitan faktor u ovom slučaju je da ventil mora obavljati svoju funkciju s dva različita agregatna stanja. Na temelju savjeta kolega kojima je već bio potreban takav sigurnosni ventil koristit će se sigurnosni ventil H900 tvrtke UCT Fluid Solutions.

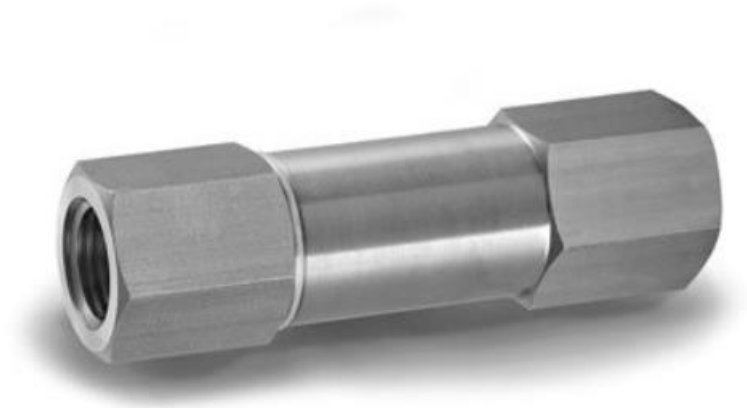


*Slika 4.8 Sigurnosni ventil H900 [16]*

Sigurnosni ventil H900 ima radni raspon 0,69...15,5 bar, navoj priključka G ¼', a materijal brtve je Politetrafluoretilen. [16]

## 4.9. Filter

Filter se ugrađuje na automatski zračnik te ima važnu ulogu uklanjanja čestica rashladne tekućine iz zraka. U sustavima gdje se koristi rashladna tekućina za hlađenje, moguće je da se mali dijelovi tekućine neželjeno izdvajaju iz sustava i prelaze u zrak. Upravo zbog toga se koristi filter na automatskom zračniku. Njegova svrha je uhvatiti i zadržati čestice rashladne tekućine prije nego što one mogu izaći u okolinu zajedno sa zrakom. Filter djeluje kao barijera koja sprječava prolazak tekućine, ali omogućuje prolazak čistog zraka. To poboljšava kvalitetu zraka koji se ispušta iz sustava, smanjuje kontaminaciju zraka s česticama rashladne tekućine te sprječava eventualne negativne posljedice koje bi čestice mogle imati na okoliš ili ljude u njemu.



*Slika 4.9 Filter H600 [16]*

Odabrani Filter H600 tvrtke Ham-let Advanced Control Technology [Slika 4.9] ima dva ženjska navoja dimenzija G ½'. [16]

#### 4.10. Automatski zračnik

Automatski zračnik dizajniran je na način da omogući ispuštanje zraka, ali istovremeno zadržava tekućinu unutar sustava. Dok se neke čestice tekućine mogu naći u zraku koji se ispušta u okolinu, prije zračnika ugrađuje se filter iz pod poglavlja 4.9. Odabrani zračnik mora imati muški navoj koji se može vijčano spojiti s ženskim navojem filtera G 1/2". Odabran je automatski odzračni lončić 1/2" SOLAR – ITAP [Slika 4.10] tvrtke Termo Metal.



*Slika 4.10 Automatski odzračni lončić 1/2" SOLAR – ITAP [18]*



#### 4.11. Nepovratni ventili

Nepovratni ventil, također poznat kao ventil za jednosmjerni protok je vrsta ventila koji omogućuje protok tekućine ili plina u jednom smjeru, dok u suprotnom smjeru blokira protok. Njegova glavna svrha je spriječiti povratni protok tvari i održavati jednosmjerni tok u sustavu. Za ovaj sustav potrebno je odabrati nepovratni ventil sličnog promjera fleksibilnih crijeva. Odabran je nepovratni ventil G ¼' tvrtke Rosi Teh (Slika 4.11)



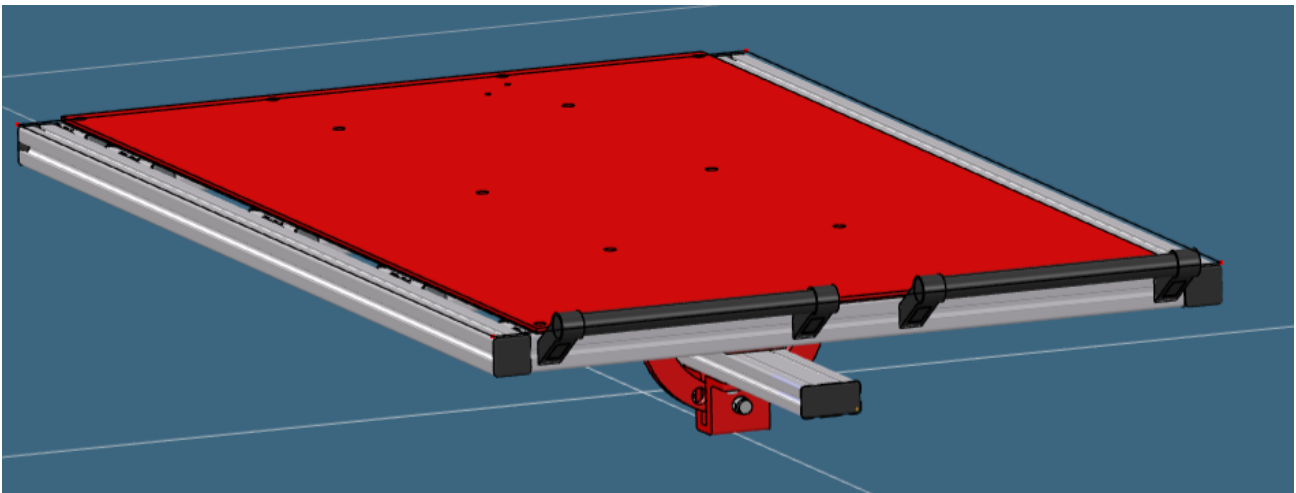
*Slika 4.11 Nepovratni ventil cijevni G ¼'*

## 5. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA

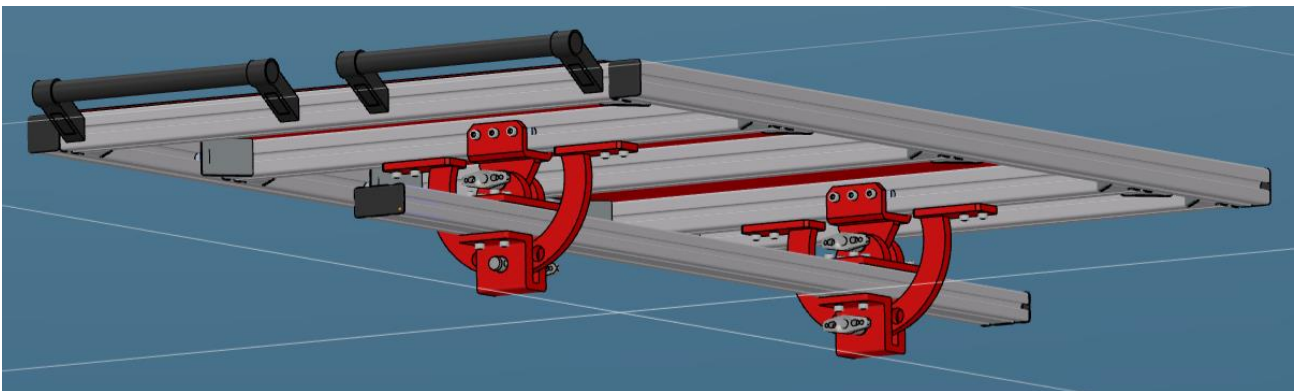
U poglavlju konstrukcijska razrada detaljno će se odrediti dimenzije, materijal, tretiranje površine i način proizvodnje dijelova koje je potrebno konstruirati kako bi se osigurala njihova optimalna funkcionalnost u sustavu. Uz ovo poglavlje izrađeni su i tehnički nacrti svih izradaka koji će se spominjati zajedno sa pojedinačnim sklopnim nacrtima te cjelokupnim sklopnim nacrtom koji su priloženi uz diplomski rad.

### 5.1. Rotacijska platforma

Dijelovi rotacijske platforme koje je potrebno proizvesti označeni su crvenom bojom na slici 5.1 i Slika 5.2.



*Slika 5.1 Dijelovi rotacijske platforme koje je potrebno izraditi prvi dio*

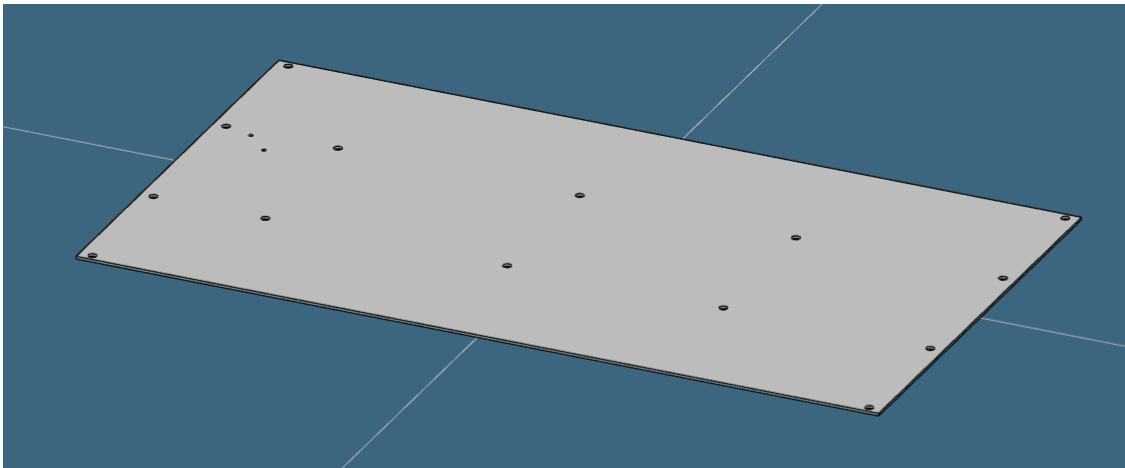


*Slika 5.2 Dijelovi rotacijske platforme koje je potrebno izraditi drugi dio*

### 5.1.1. Gumena podloga

Gumena podloga (Slika 5.3) koja ima funkciju izoliranja modula od ostatka stola te povećati koeficijent trenja podloge i modula kako bi se izbjeglo proklizavanje uslijed rotacije napravljena je od materijala EMPD M65 C. EPDM gumu (ethylene propylene diene monomers) odlikuje dobra otpornost na ozon, starenje, kemijske otopine, kiseline, lužine i paru. Otporna je na UV zračenje i ekstremne temperature do 130 °C [20].

Gumena podloga je na metalnu ploču pričvršćena vijčanim spojem te zalijepljena pomoću 3M VBH trake. Rupe za vijke napravljene su od dva promjera različitih debljina kako glava vijka ne bi bila izbočena na prednjoj površini. Na gumenoj podlozi se nalaze rupe za pričvršćivanje te rupe za montiranje razvodnog ventila. Pozicije rupa za razvodni ventil definirane su u podatkovni list ventila.

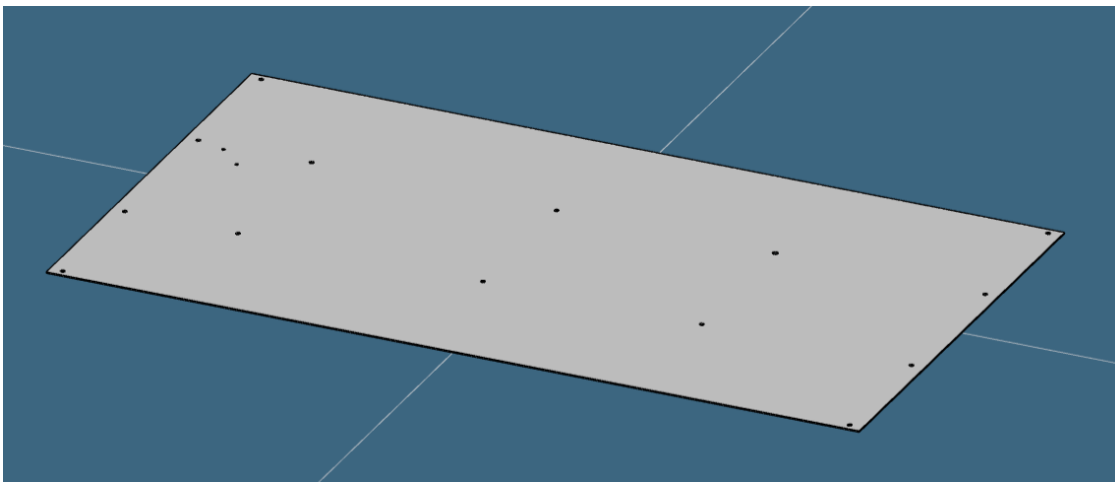


*Slika 5.3 Gumena podloga*

### 5.1.2. Metalna ploča

Metalna ploča (Slika 5.4) ima iste dimenzije kao i gumena podloga, razlika je jedino u debljini i prolaznim rupama koje imaju jednak promjer po cijeloj debljini ploče. Materijal od kojeg se izrađuje je konstrukcijski čelik S235JR. Način izrade je rezanje čeličnog lima na potrebne dimenzije te bušenje rupa, zajedno s uklanjanjem svih oštih rubova. Primjenjuje se antikorozivni premaz koji služi za produljenje životnog vijeka metala, očuvanje estetskog izgleda i osiguranje sigurnosti i pouzdanosti konstrukcija. Pravilna primjena i održavanje premaznih boja također su važni kako bi se osigurala

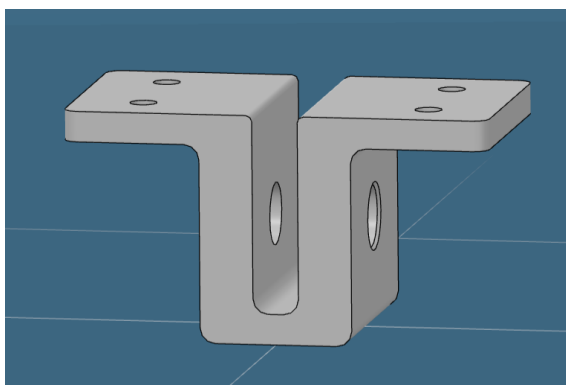
njihova učinkovitost i trajnost. Odabrana boja premaza je RAL 7035 (siva). Ona će se koristiti i kod ostalih komponenata pa se neće dodatno spominjat.



*Slika 5.4 Metalna ploča*

### 5.1.3. U držač

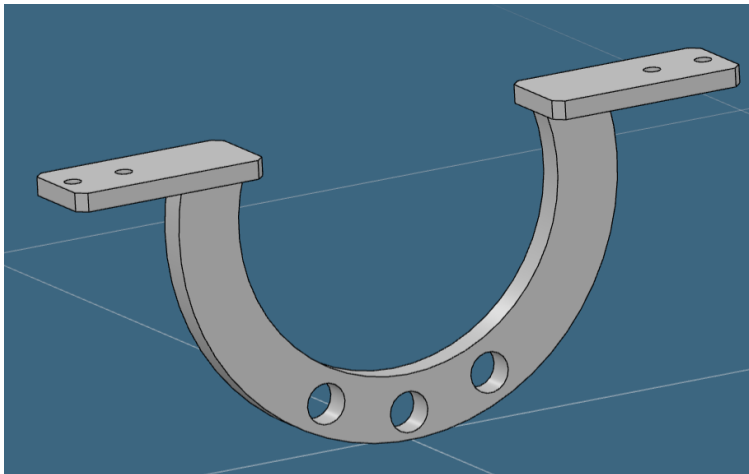
Kroz U držač (Slika 5.5) prolazi kružna potpora koja također ima rupu kroz koju prolazi pin s kuglicom. Svrha stavljanja pina je fiksiranje rotacijske platforme u nekoj od pozicija. Uklanjanjem tog pina omogućuje se rotacija. Rupe na vrhu U držača služe za vijčano spajanje držača sa profilom. Materijal je konstrukcijski čelik S235JR. Također se primjenjuje antikorozivni premaz. Ovaj izradak dobiva se tehnološkim procesom glodanjem.



*Slika 5.5 U držač*

#### 5.1.4. Kružna potpora

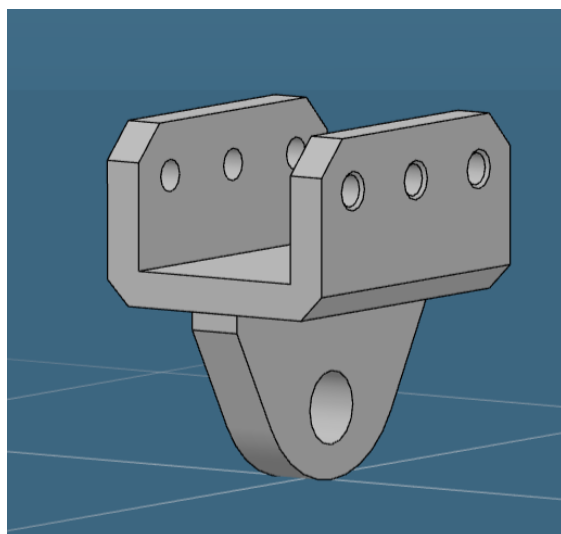
Kružna potpora (Slika 5.6) koja se spominje u pod poglavlju 5.1.3 napravljena je također od konstrukcijskog čelika S235JR te se primjenjuje antikorozivni premaz. No kružna potpora je u stvari sklop od 3 pojedinačno proizvedena dijela i to od dvije pločice koje se nalaze na vrhu te kružnog dijela. Pločice služe za vijčano pričvršćivanje potpore za profil dok kroz kružni dio prolazi pin s kuglicom. Pločice se zavaruju za kružni dio po njegovom obodu. Zaštitni premaz dolazi nakon zavarivanja i estetskog brušenja zavara. Tehnološki proces ova tri dijela je lasersko rezanje iz čeličnog lima te uklanjanje oštih rubova.



*Slika 5.6 Kružna potpora*

#### 5.1.5. Gornji držač

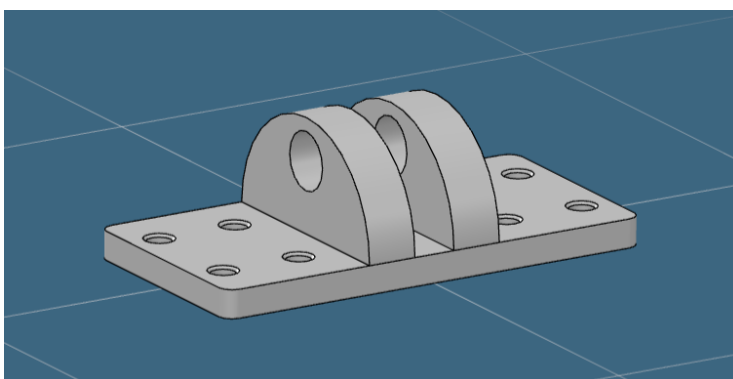
Gornji držač (Slika 5.7) je kao i prethodni izradci napravljen od konstrukcijskog čelika S235JR te se također primjenjuje antikorozivni premaz. Gornji držač je također sklop koji je sastavljen od dva pojedinačna izradka koja su s dva linijski zavara. Izradak u obliku U se spaja vijčano za bočnu stranicu profila, dok drugi dio služi za prijenos opterećena rotacijske platforme na pin s kuglicom. Dijelovi su izrađeni glodanjem i laserskim rezanjem, potrebno je ukloniti oštre rubove.



*Slika 5.7 Gornji držač*

#### 5.1.6. Potpora za pin

Izrađena je od konstrukcijskog čelika S235JR te se također primjenjuje antikorozivni premaz koji se nanosi nakon zavara. Izrađena je kao sklop od tri pojedinačna izratka i to dva polukruga koja su linijski zavarena za ploču koja je pričvršćena vijčanim spojem za profil (Slika 5.8). Obje pozicije su izrađene laserskim rezanjem iz čelične limene ploče te su im uklonjeni oštri rubovi.

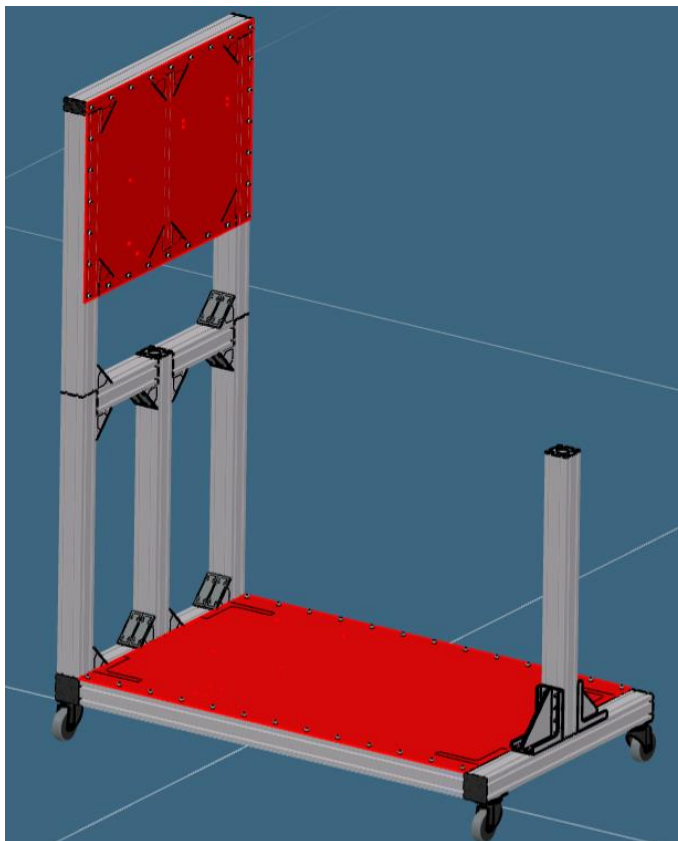


*Slika 5.8 Potpora za pin*

## 5.2. Okvir ispitnog stola

Kod okvira ispitnog stola crvenom bojom su označene dvije pozicije (Slika 5.9), vertikalna i horizontalna ploča. Obje ploče su od konstrukcijskog čelika S235JR premazane antikorozivnim premazom. Izrezane su od čeličnog lima te su im probušene rupe kako bi se mogle vijčano spojiti za

profile. Također imaju rupe za fiksiranje hidroagregata, spremnika rashladne tekućine, spremnika za punjenje, regulatora tlaka te razvodnog ventil.

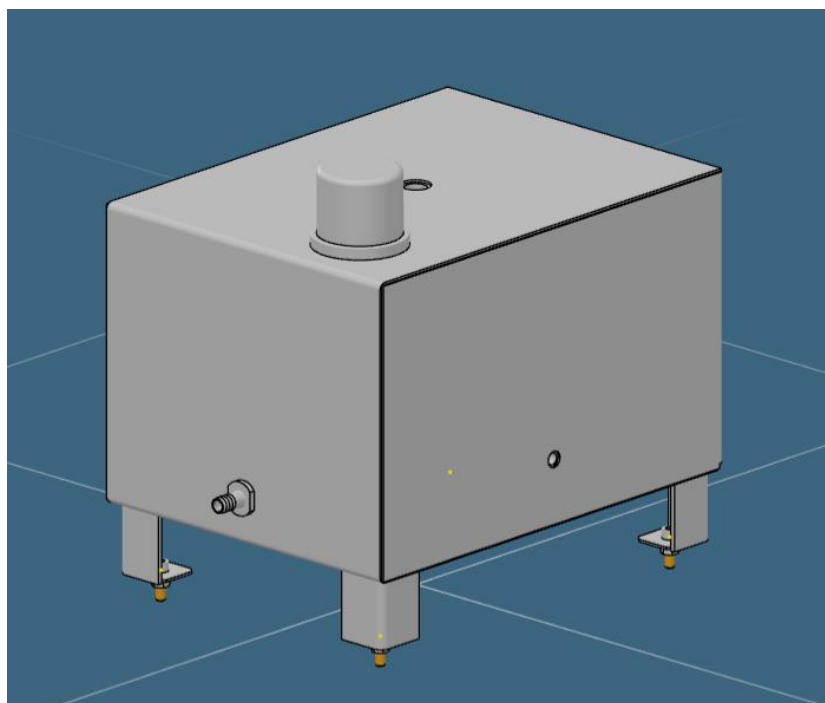


*Slika 5.9 Dijelovi okvira ispitnog stola koje je potrebno izraditi*

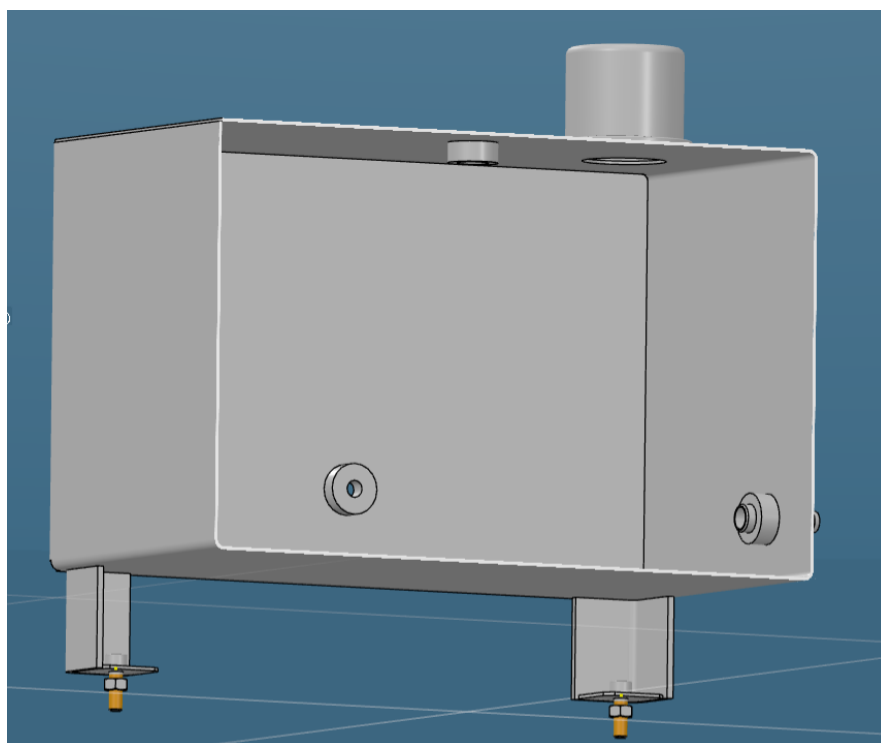
### **5.3. Spremnik rashladne tekućine**

U kontekstu ovog spremnika sve komponente su proizvedene interno, osim vijaka, matica te optičkog indikatora razine tekućine koji su kupljeni od vanjskih izvora. Interna proizvodnja komponenti omogućuje potpunu kontrolu nad kvalitetom i tehničkim specifikacijama uz najnižu cijenu.

Spremnik rashladne tekućine (Slika 5.100) sklopljen je od aluminijskog lima, nogica, čepa, cilindara s različitim navojnim rupama te spojnicama za fleksibilno crijevo. U presjeku (Slika 5.11) se vidi način zavarivanja cilindra za aluminijski spremnik u svrhu mogućnosti spoja priključaka i spojnicama preko navoja. Kako bi zavar svih komponenti bio moguć materijal mora biti isti.



*Slika 5.10 Spremnik rashladne tekućine*

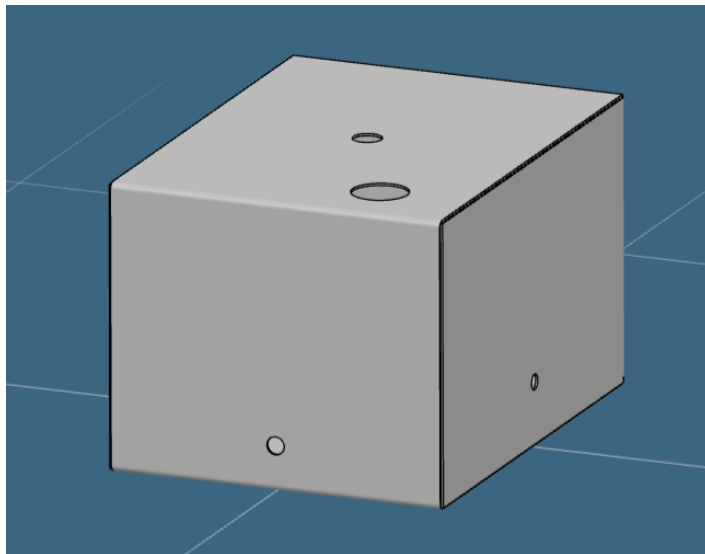


*Slika 5.11 Presjek spremnika rashladne tekućine*



### 5.3.1. Oplošje spremnika

Oplošje (Slika 5.12) je izrađeno od aluminijskog materijala kako bi se smanjila težina te potreba za dodatnom zaštitom protiv korozije jer je aluminij relativno otporan na koroziju zbog svoje prirodne oksidacijske zaštite. Aluminijska legura koja će se koristiti je EN AW-5754-H22. Ona pripada seriji 5000 aluminijskih legura s dodatkom magnezija. To je legura srednje čvrstoće koja se odlikuje izvrsnom otpornošću na koroziju, dobrim oblikovnim svojstvima i visokom zavarljivošću. Oznaka "EN AW" označava europski standard za valjane aluminijske legure, dok broj "5754" predstavlja specifičan sastav legure.

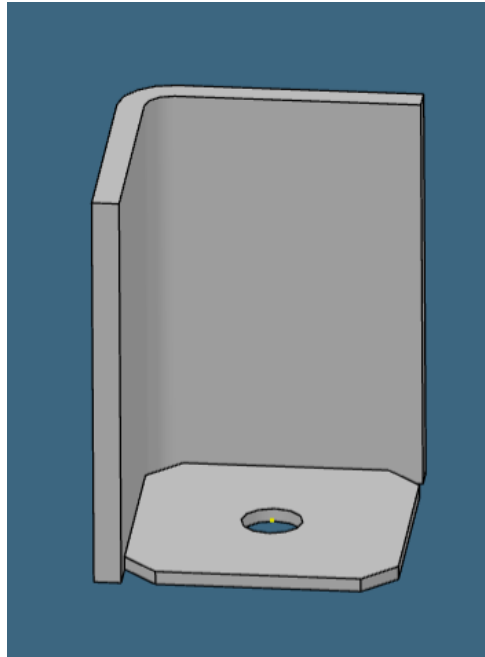


*Slika 5.12 Oplošje spremnika*

Prije nego se lim zavari u oblik spremnika potrebno je zavariti cilindre s unutarnje strane spremnika. Također se prije zavara izrezuju rupe pomoću lasera. Zavara mora biti vodonepropusna da ne bi došlo do neželjenog curenja tekućine. Promjer rupe mora biti veći od unutarnjeg navoja na zavaranom cilindru. Nogice i cilindar za čep se zavaruju nakon dobivanja osnovnog oblika spremnika. Nogice se zavaruju linijskih zavarom dok se cilindar za čep zavaruje po obdu.

### 5.3.2. Nogica

Nogica (Slika 5.13) je sklop izrađen od dvije pozicije. Jedna pozicija je L profil koji se dobije savijanjem dok je druga pločica s rupom koja se laserski izreže te joj se naprave skošenja na rubovima kako bi se ostvario kontakt s L profilom bez obzira na polumjer savijanja. Pločica se zavaruje za L profil s dva linijska zavora. Materijal obje pozicije je također EN AW-5754-H22.

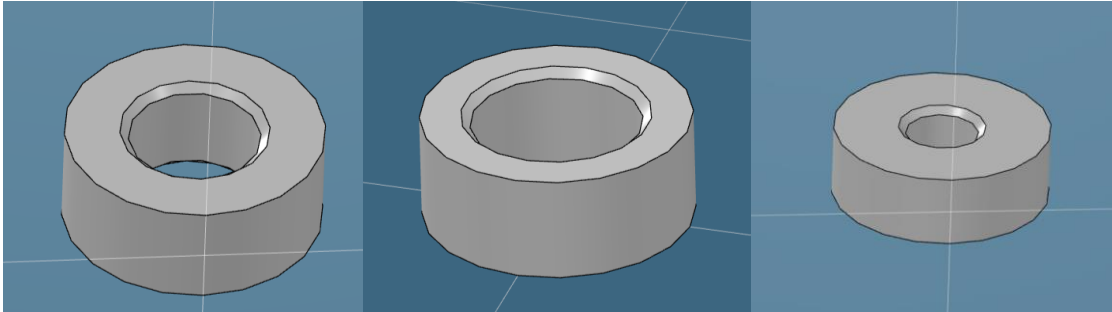


*Slika 5.13 Nogica*

### 5.3.3. Cilindrični priključci

Postoje cilindri s 3 različita navoja. Jedan navoj je M12x2 koji služi za vijčani spoj indikatora, drugi ima navoj G 1/2" te se na njega priključuje automatski zračnik dok treći ima navoj G 3/8" na koji se spaja spojnica za fleksibilno crijevo. Tehnički proces izrade za sve cilindre je tokarenje. Materijal EN AW-5754-H22 je isti kao i kod ostalih komponenti. Zavar mora također biti vodonepropusan tj. mora biti po cijelom obodu. Kako ne bi došlo do curenja tekućine kroz navoj potrebno je prije vijčanog spoja namotati PTFE traku na muški navoj. PTFE traka je tanka traka od politetrafluoretilena (PTFE) koja se koristi za brtvljenje navoja i spojeva kako bi se spriječilo curenje tekućina ili plinova. Ova

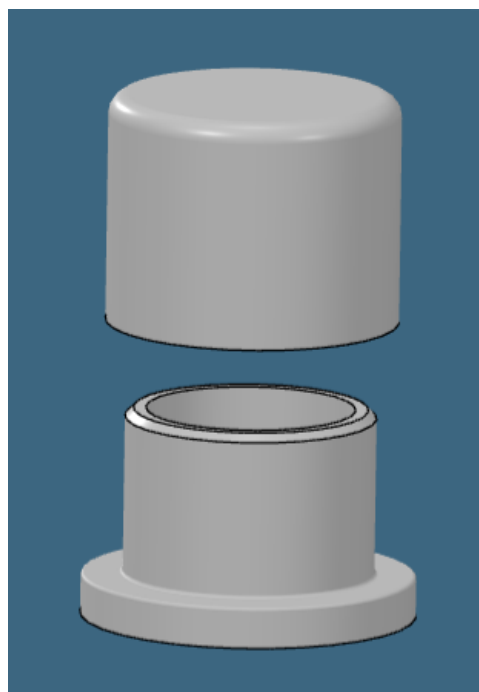
vrsta trake je obično bijele boje i ima svojstva neprianjanja, izdržljivosti i kemijske inertnosti koje su karakteristične za ovaj materijal. Na Slika 5.14 prikazane su sve tri pozicije. Navoj nije vidljiv jer ga softver nije generirao kako bi smanjio potrebnu količinu radne memorije za generiranje sklopa.



*Slika 5.14 Prikaz sva tri cilindra s različitim unutarnjim navojima*

#### 5.3.4. Čep

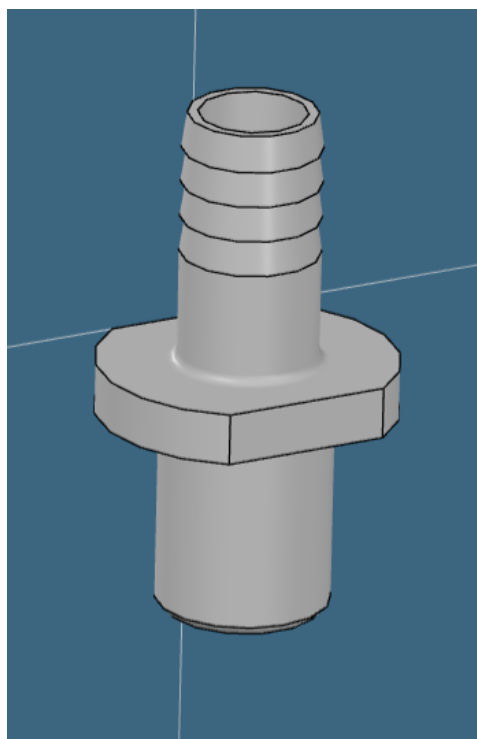
Čep (Slika 5.1515) je također sklop od dvije pozicije, od koje se jedna zavaruje po obodu za oplošje spremnika, a druga se vijčano spaja za zavarenu poziciju preko navoja. Druga pozicija nije zavarena jer se mora omogućiti punjenje ili pražnjenje spremnika u bilo kojem trenutku. U svrhu smanjenja troškova izrade, obje pozicije su konstruirane tako da se proizvedu tehničkim procesom tokarenja. Materijal je također EN AW-5754-H22 te se na pozicije stavljaju skošenja i polumjeri kako bi stroj mogao lakše obraditi komad te kako bi se uklonili oštri rubovi.



*Slika 5.15 Čep*

### 5.3.5. Spojnik

Spojn timer (Slika 5.16) je komponenta koja se vijčano spaja preko navoja s cilindričnim priključkom navoja G 3/8', dok se sa druge strane fiksira crijevo pomoću klinaste spojnice. Ova komponenta je drugačija od drugih iz ovog pod poglavlja jer nije od aluminijske legure. Materijal spojnika je nehrđajući čelik X5CrNi18-10. Ovaj materijal je poznat po visokoj otpornosti na koroziju u širokom rasponu okruženja, dobroj obradivosti i visokoj čvrstoći. Koristi se čelik zbog relativno tanke stijenke spojnika. Stijenka je tanka kako bi se unutarnji promjer kroz koji se giba tekućina čim manje mijenjao te kako bi se ujedno uspjelo crijevo navući na spojnik. Tehnološki proces izrade je tokarenje te rezanje jednog kružnog dijela kako bi se omogućilo alatu stezanje spojnika. Također su svi oštri rubovi odstranjeni.

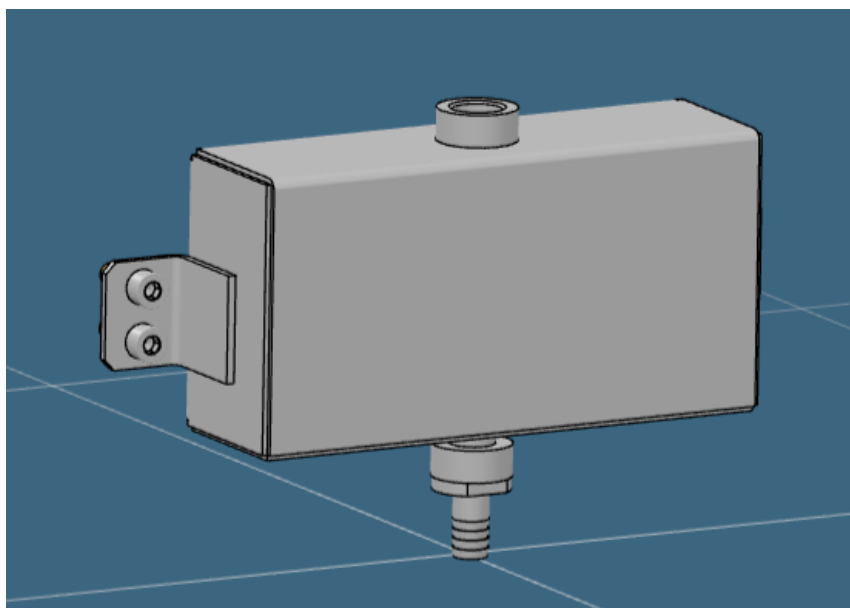


*Slika 5.16 Spojnik*

#### **5.4. Spremnik za punjenje**

Kod ovog spremnika (Slika 5.17) također se sve komponente proizvode interno, osim vijka i matice koje se kupuju od vanjskog izvora. Spremnik za punjenje ima neke komponente iste kao i spremnik rashladne tekućine, a to su cilindrični priključci te spojnik koji su obrađeni u pod poglavljima 5.3.3 i 5.3.5.

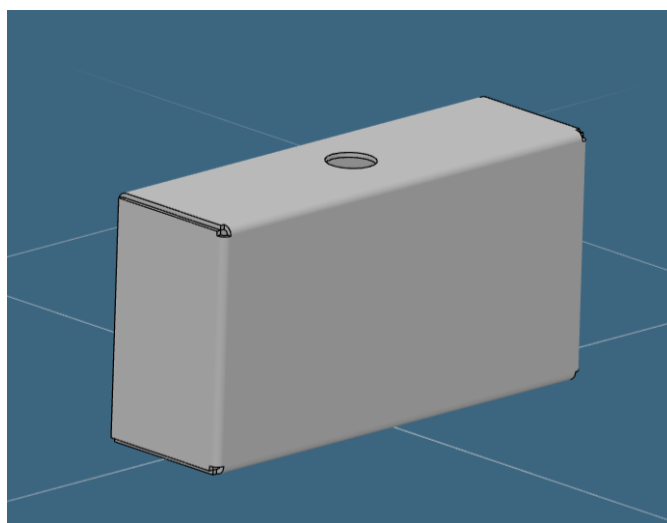
On se fiksira za vertikalnu ploču te stoga ima L profile zavarene za bočne stranice spremnika, a vijčano se spaja preko vijka i matice. Cilindri su zavareni po obodu vanjske strane kako bi zrak lakše došao do automatskog zračnika.



*Slika 5.17 Spremnik za punjenje*

#### 5.4.1. Oplošje spremnika za punjenje

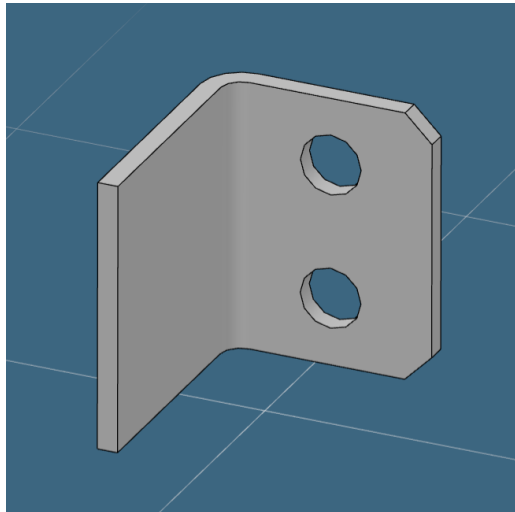
Oplošje spremnika (Slika 5.18) proizvedeno je od aluminijske legure EN AW-5754-H22. Razlozi korištenja tog materijala su izvrsna otpornost na koroziju, dobra oblikovna svojstva i visoka zavarljivost te niska gustoća. Spremnik mora biti vodonepropustan stoga se mora na svim dijelovima zavariti. Prije zavarivanja laserski se lim reže na potrebne dimenzije i izrezuju se rupe.



*Slika 5.18 Oplošje spremnika za punjenje*

### 5.4.2. L profil

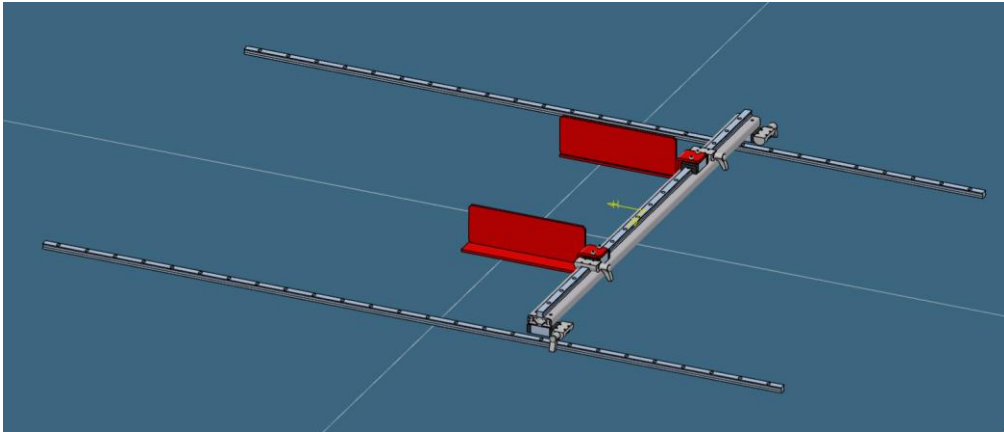
L profil (Slika 5.19) je savijeni lim koji na sebi ima rupe koje služe za fiksiranje. Materijal je isti kao i kod spremnika za punjenje radi mogućnosti zavarivanja. Lim se izreže na potrebne dimenzije te se izrežu rupe pomoći lasera, odstrane se svi oštri rubovi. Nakon toga se L profil zavari za bočnu stranicu spremnika.



*Slika 5.19 L profil*

### 5.5. Fiksator

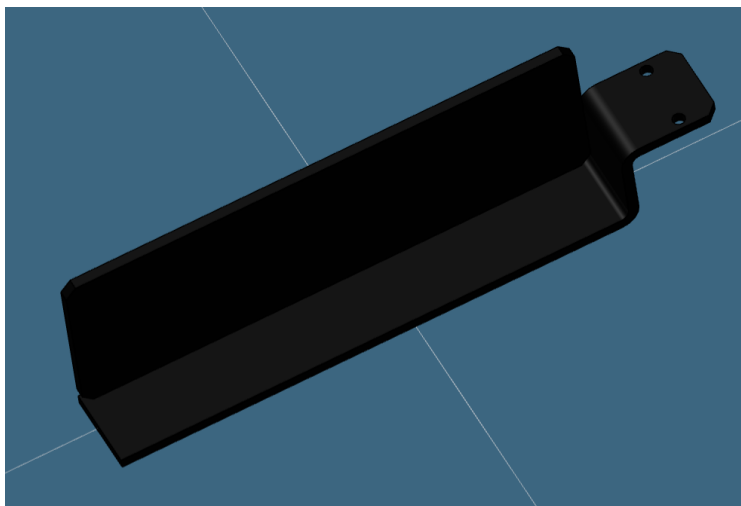
Kod cijelog sklopa fiksatora samo su dvije pozicije napravljene interno dok su sve ostalo kupovni elementi. Dijelovi fiksatora koje je potrebno izraditi prikazani su crvenom bojom na Slika 5.20.



*Slika 5.20 Dijelovi fiksatora koje je potrebno izradit*

### 5.5.1. Zavareni zaustavljači

Sklop sastavljen od dvije pozicije (Slika 5.21), obje izrezane iz lima materijala EN AW-5754-H22 zajedno s potrebnim rupama. Materijal se koristi kao i kod ostalih komponenata u svrhu lakše dobave. Komponenta izgled S se dobije savijanjem izrezanog lima. Potom se pločica linijski zavaruje za S komponentu. Prije zavara se uklone oštri rubovi, cijeli sklop se praškasto premazuje kako ne bi bio električno vodljiv, odabrana boja premaza je RAL 9005 (crna).



*Slika 5.21 Zavareni zaustavljač*



## 6. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu cilj je bio koncipirati i validirati konceptualna rješenja za ispitni stol u svrhu testiranja curenja rashladne tekućine iz rashladnih ploča koje se nalaze u električnom baterijskom modulu. Testiranje se ostvaruje mjerenjem tlaka na ulazu i izlazu iz modula pomoću osjetnika tlaka. Ako je tlak na izlazu manji nego onaj na ulazu znači da postoji curenje, pritom uzevši u obzir da su osjetnici tlaka ispravni i ispravno kalibrirani. Sekundarna uloga ispitnog stola je punjenje i pražnjenje modula rashladnom tekućinom prije testiranja, pri čemu je poželjno izbacivanje svog zraka iz modula. Sustav će puniti tekućinu prije testova i prazniti nakon. Neki od testova za koje će biti potrebno punjenje su: ispitivanje modula u promjenjivim uvjetima okoline u određenim ciklusima vremena, simuliranje uvjeta vožnje i promatranje ponašanje modula i testiranje hlađenja kod simuliranja maksimalnih uvjeta u kakvima se modul smije naći prilikom vožnje.

U fazi projektiranja analizirani su različiti parametri modula, kao što su dimenzije, težina, oblik i specifičnosti rashladne tekućine. S obzirom na raznolikost modula i rashladnih tekućina koje se koriste, ispitni stol treba biti prilagodljiv i siguran za korištenje. Detaljno su se analizirani problemi, primijenjena su inovativna rješenja koja su omogućila rješavanje konstrukcijskih izazova. Jedan od tih izazova bio je prisutnost zraka u mrtvim kutovima, što je riješeno implementiranjem rotacije baterijskog modula tokom protoka rashladne tekućine. Međutim, kao rezultat rotacije, javili su se novi problemi poput klizanja modula s ispitnog stola. Kako bi se riješio taj problem, izvršen je proračun kojim je određen maksimalni kut rotacije, a zatim su u sustav ugrađeni fiksator i stoper kako bi se osigurala stabilnost modula.

Pažljivo je odabrana svaka kupovna komponenta koja je potrebna za ostvarivanje protoka rashladne tekućine i zraka. Ovaj odabir uključivao je detaljnu analizu karakteristika i performansi svake komponente kako bi se osigurala njihova kompatibilnost i optimalna funkcionalnost unutar sustava.

Nakon osmišljanja konstrukcijskih dijelova i njihovog sastavljanja u sklop, provedena je detaljna razrada komponenti koje je potrebno proizvesti. Ova razrada obuhvaćala je definiranje točnih dimenzija dijelova, odabir materijala te izradu tehničke dokumentacije pomoću koje je moguće proizvesti i sklopiti sustav u cjelinu.

Inovativnim rješenjima, osmišljeni su pojedini sklopovi koji su se kasnije detaljno razradili. Te pažljivim odabirom komponenata ostvarena je integracija sustava ispitnog stola za testiranje curenja rashladne tekućine u električnim baterijskim modulima. Ova tehnička dokumentacija osigurava jasan i detaljan prikaz svih koraka i odluka koje su provedene tijekom razvojnog procesa.

## 7. LITERATURA

- [1] S interneta, <https://ams.hr/rimac-nevera-sluzbeno-predstavljena/> , 02/05/2023
- [2] Gu X.; Chan W.; Fung Y.; Song S.; Wang C.; Wang Y. „Applied Thermal Engineering“ , Elsevier, Ujedinjeno Kraljevstvo, Kolovoz 2020
- [3] S interneta, <https://www.item24.com/en-pl/profile-8-80x40-natural-2604/>, 16/04/2023
- [4] Turkalj G., Čvrstoća Konstrukcija II, predavanje - Energijske metode
- [5] Plazibat B., Matoković A., Vetma V., Nauka o Čvrstoći skripta, Sveučilište u Splitu, 2019
- [6] S interneta, <https://www.item24.com/en-it/mb-building-kit-system/t-slot-nuts/t-slot-nuts/t-slot-nuts-st/t-slot-nuts-st/> , 08/05/2023
- [7] S interneta, [https://www.engineersedge.com/coeffients\\_of\\_friction.htm](https://www.engineersedge.com/coeffients_of_friction.htm) , 23/05/2023
- [8] S interneta, <https://www.item24.com/en-pl/mb-building-kit-system/linear-guides/recirculating-ball-guides/guide-rails/> , 23/05/2023
- [9] S interneta, <https://marco-pumps.shop/marco-up8-heavy-duty-pump-with-bronze-gears-10-l-min-12-volt-16409012/> , 13/06/2023
- [10] S interneta, <https://www.festo.com/gb/en/a/192301/?q=~:sortByCoreRangeAndSp2020> , 15/05/2023
- [11] S interneta, [https://shop.hansa-flex.hr/hr\\_HR/kugli%C4%8Dni-ventili/kugli%C4%8Dni-ventili-%28visoki-tlak%29/3-smjerni-%28t-provrt%29/bsp-unutarnji-navoji/3-bkr-tk-vz/p/MAS\\_3\\_BKR\\_TK\\_VZ](https://shop.hansa-flex.hr/hr_HR/kugli%C4%8Dni-ventili/kugli%C4%8Dni-ventili-%28visoki-tlak%29/3-smjerni-%28t-provrt%29/bsp-unutarnji-navoji/3-bkr-tk-vz/p/MAS_3_BKR_TK_VZ) , 13/06/2023
- [12] S interneta, [https://shop.wika.com/en-en/111\\_10\\_111\\_12.WIKA](https://shop.wika.com/en-en/111_10_111_12.WIKA) , 15/06/2023
- [13] S interneta, <https://www.hydraulicmegastore.com/product/s3v1212cc/> , 13/06/2023
- [14] S interneta, [http://sika-usa.com/sturteverant/wp-content/uploads/Flow\\_2017.pdf](http://sika-usa.com/sturteverant/wp-content/uploads/Flow_2017.pdf) , 15/06/2023
- [15] S interneta, [https://www.wika.hr/a\\_10\\_en\\_co.WIKA](https://www.wika.hr/a_10_en_co.WIKA) , 15/06/2023
- [16] S interneta, <https://fs.uct.com/catalogue/product/29396> , 15/06/2023
- [17] S interneta, <https://buy.ham-let.com/catalog/product/view/id/6879/s/h610ssn1-2le/category/76/> , 15/06/2023
- [18] S interneta, <https://termometal.hr/automatski-odzracni-loncic-12-solar-itap-proizvod-2030/> , 15/06/2023
- [19] S interneta, <https://www.rositeh.hr/nepovratni-ventil-cijevni-1/4> , 18/06/2023
- [20] S interneta, <https://tehnoguma-zg.hr/guma-u-rolji-2/tehnicka-guma-glatka/> , 20/06/2023

## 8. POPIS SLIKA

Slika 1.1 Baterijski paket Rimac Nevere [1] .....	3
Slika 2.1 Gruba skica ispitnog stola.....	9
Slika 2.2 Shematski prikaz protoka Koncepta 1 .....	12
Slika 2.3 Shematski prikaz protoka Koncepta 2.....	14
Slika 2.4 Prikaz načina rotiranja ispitnog stola .....	16
Slika 3.1 Skica rotacijskog postolja .....	20
Slika 3.2 prikaz profila koji se proračunava .....	21
Slika 3.3 Poprečni presjek Aluminijskog profila [3] .....	22
Slika 3.4 Graf poprečne sile i momenta napreznja .....	24
Slika 3.5 Raspodjela profila na 4 segmenta .....	26
Slika 3.6 Prvi dio skice okvira ispitnog stola .....	30
Slika 3.7 Drugi dio skice okvira ispitnog stola.....	30
Slika 3.8 Prikaz postavljanja matice u profil [6] .....	31
Slika 3.9 Gruba skica spremnika rashladne tekućine.....	32
Slika 3.10 Početni slučaj cilindra.....	34
Slika 3.11 Vertikalno rješenje .....	34
Slika 3.12 Horizontalno rješenje.....	34
Slika 3.13 Skica spremnika za punjenje.....	35
Slika 3.14 Prikaz slija na modulu .....	37
Slika 3.15 Gravitacijska sila podijeljena po osima .....	38
Slika 3.16 gruba skica fiksatora.....	41
Slika 3.17 Prikaz klizača i profila [8] .....	42
Slika 3.18 Prikaz sklopa rotacijske platforme, okvira ispitnog stola i fiksatora .....	43
Slika 3.19 Stoper.....	44
Slika 3.20 Prikaz izračuna dužine stopera.....	45
Slika 3.21 Prikaz sklopa sa svim komponentama iz poglavlja 3. PROJEKTIRANJE .....	47
Slika 3.22 Nacrt, tlocrt i bokocrt ispitnog stola .....	48
Slika 3.23 Rotacije platforme .....	49
Slika 3.24 Stoper u kontaktu s rotacijskom platformom.....	50
Slika 4.1 MARCO UP8 Heavy Duty Pumpa [9] .....	52
Slika 4.2 Regulator tlaka LR-1/4-D-7-I-MINI [10].....	53
Slika 4.3 Ventil 3 BKR TK VZ [11].....	54
Slika 4.4 Manometar s Bourdonovom cijevi, Modeli 111.10 [12] .....	55
Slika 4.5 1/2" BSP razvodni ventil 12VDC [13] .....	56
Slika 4.6 Osjetnik protoka Sika V01 [13] .....	57
Slika 4.7 Osjetnik tlaka model A-10 [15] .....	58
Slika 4.8 Sigurnosni ventil H900 [16] .....	59
Slika 4.9 Filter H600 [16].....	60
Slika 4.10 Automatski odzračni lončić 1/2" SOLAR – ITAP [18].....	61
Slika 4.11 Nepovratni ventil cijevni G 1/4' .....	62
Slika 5.1 Dijelovi rotacijske platforme koje je potrebno izraditi prvi dio .....	63

Slika 5.2 Dijelovi rotacijske platforme koje je potrebno izraditi drugi dio.....	63
Slika 5.3 Gumena podloga .....	64
Slika 5.4 Metalna ploča .....	65
Slika 5.5 U držač.....	65
Slika 5.6 Kružna potpora.....	66
Slika 5.7 Gornji držač .....	67
Slika 5.8 Potpora za pin.....	67
Slika 5.9 Dijelovi okvira ispitnog stola koje je potrebno izraditi .....	68
Slika 5.10 Spremnik rashladne tekućine .....	69
Slika 5.11 Presjek spremnika rashladne tekućine .....	69
Slika 5.12 Oplošje spremnika .....	70
Slika 5.13 Nogica.....	71
Slika 5.14 Prikaz sva tri cilindra s različitim unutarnjim navojima.....	72
Slika 5.15 Čep.....	73
Slika 5.16 Spojnik.....	74
Slika 5.17 Spremnik za punjenje .....	75
Slika 5.18 Oplošje spremnika za punjenje .....	75
Slika 5.19 L profil.....	76
Slika 5.20 Dijelovi fiksatora koje je potrebno izraditi .....	77
Slika 5.21 Zavareni zaustavljač .....	77

## 9. POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Parametri električnih baterijskih modula .....	7
Tablica 3-1 Specifikacije aluminijskog profila [3] .....	22
Tablica 4-1 Popis kupovnih komponenata .....	51
Tablica 4-2 Specifikacije manometra model 111.10 [12] .....	56

## 10. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

U svrhu testiranja curenja rashladne tekućine iz rashladnih ploča električnih baterijskih modula koji se koriste u baterijskim paketima automobila, bilo je potrebno razviti konstrukciju ispitnog stola. Pristupilo se koncipiranju različitih koncepata, koji su potom podvrgnuti procesu validacije kako bi se odabralo optimalno rješenje. Nakon odabira, provedeno je projektiranje sklopova i podsklopova, a potom su ti sklopovi detaljno konstrukcijski razrađeni. Posebna pažnja je posvećena odabiru i integraciji kupovnih komponenti koje omogućuju protok rashladne tekućine ili, u slučaju pražnjenja, zraka. Cilj je bio osigurati kompatibilnost i funkcionalnost svih komponenata unutar sustava ispitnog stola. Ovaj stručni pristup uključuje različite faze razvoja, uključujući konceptualizaciju, validaciju, projektiranje i detaljnu konstrukcijsku razradu sklopova. Sve odluke i koraci u procesu temeljito su dokumentirani kako bi se osigurala jasnoća i preciznost u svim fazama razvoja ispitnog stola

Ključne riječi: električni baterijski moduli, curenje tekućine, konstrukcija, ispitni stol

## **11. SUMMERY AND KEY WORDS**

In order to test the leakage of coolant from the cooling plates of electric battery modules used in automotive battery packs, it was necessary to develop a test bench design. Various concepts were conceived and subsequently subjected to a validation process to select the optimal solution. After the selection, assembly and subassembly designs were carried out, followed by detailed design elaboration of these components. Special attention was given to the selection and integration of purchased components that enable the flow of coolant or, in the case of the drain, air. The goal was to ensure the compatibility and functionality of all components within the test bench system. This professional approach encompasses different stages of development, including conceptualization, validation, design, and detailed construction elaboration of the components. All decisions and steps in the process were thoroughly documented to ensure clarity and precision in all phases of the test bench development.

Key words: electrical battery modules, fluid leakage, construction, test bench