

# Projektiranje i izrada pneumatskog robotskog manipulatora

---

**Budija, Branimir**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:764110>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-15**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Branimir Budija**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum, dipl. ing.

Student:

Branimir Budija

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se svom mentoru prof.dr.sc. Željku Šitumu što mi je omogućio da napišem ovaj rad, za potporu i savjete prilikom izrade te što mi je omogućio sve potrebne komponente i sredstva.

Zahvaljujem g. Matešiću što mi je omogućio korištenje njegove radionice te objasnio rad svih strojeva, također zahvaljujem svojim roditeljima te sestri na podršci tijekom studiranja, također zahvaljujem svojoj djevojci na podršci te cijeloj ekipi na svemu!

Branimir Budija



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: <b>602 – 04 / 22 – 6 / 1</b>	
Ur.broj: <b>15 - 1703 - 22 -</b>	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Branimir Budija** JMBAG: **0035220059**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projektiranje i izrada pneumatskog robotskog manipulatora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design and fabrication of a pneumatic robotic manipulator**

Opis zadatka:

Razvoj elektropneumatike i senzoričke rezultirao je novom klasom elektronički upravljanih pneumatskih sustava, čime se omogućuje ostvarenje zadataka fleksibilnog, brzog i preciznog gibanja pneumatskih pogona. Pri tome se pneumatski aktuatori koriste u sprezi s jednostavnim ventilima za promjenu smjera gibanja, kojima se najčešće ostvaruju jednostavne operacije premještanja predmeta (engl. *pick and place*). Primjena razmjerno pristupačnih pneumatskih elemenata u automatizaciji različitih procesa omogućila je razvoj koncepta tzv. male ili jeftine automatizacije (engl. *low cost automation – LCA*), s kojim se danas pneumatika često poistovjećuje. Za učinkovit rad pneumatskih sustava potrebno je funkcionalno riješiti problem njihovog pravilnog projektiranja i upravljanja.

U radu je potrebno:

- projektirati robotski manipulator koji koristi pneumatske pogonske elemente za obavljanje zadatka rukovanja radnim predmetima,
- opisati korištene komponente pogonskog, upravljačkog, izvršnog i mjernog dijela sustava,
- razmotriti načine upravljanja pneumatskog manipulatora,
- izraditi pneumatski manipulator i ispitati rad sustava.

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

Zadatak zadan:	Datum predaje rada:	Predviđeni datumi obrane:
30. 11. 2021.	<b>1. rok:</b> 24. 2. 2022. <b>2. rok (izvanredni):</b> 6. 7. 2022. <b>3. rok:</b> 22. 9. 2022.	<b>1. rok:</b> 28. 2. – 4. 3. 2022. <b>2. rok (izvanredni):</b> 8. 7. 2022. <b>3. rok:</b> 26. 9. – 30. 9. 2022.
Zadatak zadao:		Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Željko Šitum		Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	VI
POPIS OZNAKA .....	VII
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY .....	IX
1. UVOD.....	1
1.1. Inspiracija.....	1
1.2. Mehatronički sustav .....	1
2. MEDICINSKA ROBOTIKA .....	4
2.1. Servisna robotika.....	4
2.2. Invalidska kolica .....	5
2.3. Ideja.....	6
3. PROJEKTIRANJE I KONSTRUKCIJA .....	7
3.1. Početni koncept.....	7
3.2. Proračun nosivosti.....	8
3.2.1. Materijal .....	8
3.2.2. Nosivost konstrukcije.....	9
3.3. Projektiranje i izrada sjedala .....	11
3.3.1. Donji dio .....	11
3.3.2. Sjedište.....	15
3.4. Projektiranje i izrada podizača nogu .....	18
3.4.1. Naslon za noge .....	18
3.4.2. Montaža cilindra .....	20
3.4.3. Klizač .....	21
3.5. Projektiranje i izrada naslona .....	22
3.5.1. Naslon .....	22
3.5.2. Teleskopska šipka za podešavanje visine rada .....	23
3.6. Tapeciranje.....	24
3.7. Konačni izgled kolica.....	26
4. PNEUMATSKI SUSTAV .....	27
4.1. Pneumatski cilindar kao aktuator .....	28
4.2. Komponente pneumatskog sustava.....	30
4.2.1. Pneumatski cilindar MGPM50 - 250 .....	30
4.2.2. Pneumatski cilindar CP96SDB32 – 200C .....	31
4.2.3. Filter regulator AW20-F02H-B .....	32
4.2.4. Ručni razvodnik VHS20-F02B .....	34
4.2.5. Manometar K8-10-40.....	35

---

4.2.6.	Elektromagnetski ventil SY5320-5DZ-C6F-Q .....	36
4.2.7.	Kompresor HBM 1 PK professional .....	37
4.2.8.	Prigušno nepovratni ventil AS2201F-02-06SA .....	38
4.3.	Pneumatska shema sustava .....	40
5.	UPRAVLJAČKI SUSTAV .....	42
5.1.	Elektroničke komponente .....	43
5.1.1.	Upravljački uređaj Controllino Mini .....	43
5.1.2.	Napajanje RS PRO .....	44
5.1.3.	SCHRACK automatski prekidač .....	45
5.1.4.	Električni davač signala .....	46
5.1.5.	Mikroprekidač R1710R .....	47
6.	OPIS RADA SUSTAVA .....	49
7.	ZAKLJUČAK .....	52
	LITERATURA .....	53
	PRILOZI .....	54

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Autonomni pneumatski robot [3] .....	3
Slika 2.	Četveronožni hodajući robot [4].....	3
Slika 3.	Lokomat.....	4
Slika 4.	Egzoskelet .....	5
Slika 5.	Invalidska kolica s elektromotornim pogonom .....	5
Slika 6.	Transfer pacijenta iz kreveta u kolica [7] .....	6
Slika 7.	Početni koncept modeliranih kolica .....	7
Slika 8.	MDF ili Mediapan ploče .....	8
Slika 9.	Osnovne dimenzije konstrukcije .....	10
Slika 10.	Model donje ploče .....	12
Slika 11.	Kružna pila za drvo .....	12
Slika 12.	Donja ploča.....	13
Slika 13.	Donja ploča s ugrađenim cilindrom za podizanje .....	13
Slika 14.	Svrđlo Ø32 korišteno za bušenje rupa.....	14
Slika 15.	Komponente spojene na donjoj ploči .....	14
Slika 16.	Model spojne ploče sjedišta .....	15
Slika 17.	Model gornje ploče sjedišta.....	15
Slika 18.	Spojna ploča sjedišta .....	16
Slika 19.	Šarka.....	16
Slika 20.	Gornja ploča sjedišta .....	17
Slika 21.	Ručna glodalica .....	18
Slika 22.	Model naslona za noge .....	19
Slika 23.	Ploča naslona za noge.....	19
Slika 24.	Spoj ploče naslona za noge i spojne ploče .....	20
Slika 25.	Kutni profil za pričvršćivanje cilindra.....	20
Slika 26.	Uređaj za zavarivanje .....	21
Slika 27.	Klizač.....	21
Slika 28.	Model naslona .....	22
Slika 29.	Ploča naslona .....	23
Slika 30.	Teleskopska šipka za podešavanje visine.....	23
Slika 31.	Postavljanje spužve .....	24
Slika 32.	Postavljanje platna.....	25
Slika 33.	Ljepilo u spreju VR 5000 .....	25
Slika 34.	Konačni izgled kolica.....	26
Slika 35.	Opći pneumatski sustav .....	27
Slika 36.	Jednoradni cilindar .....	28
Slika 37.	Dvoradni cilindar.....	29
Slika 38.	Pneumatski cilindri za posebne izvedbe.....	29
Slika 39.	Pneumatski cilindar MGPM50-250.....	30
Slika 40.	Pneumatski cilindar CP96SDB32-200C .....	31
Slika 41.	Filter regulator AW20-F02H-B .....	33
Slika 42.	Ručni razvodnik VHS20-F02B .....	34
Slika 43.	Manometar K8-10-40 .....	35
Slika 44.	Elektromagnetski ventil SY5320-5DZ-C6F-Q .....	36
Slika 45.	Kompresor HBM 1PK Professional .....	38
Slika 46.	Prigušno nepovratni ventil AS2201F-02-06SA .....	39
Slika 47.	Pneumatska shema za jedan aktuator sustava .....	41



---

Slika 48.	Upravljački sustav .....	42
Slika 49.	Upravljački uređaj Controllino Mini .....	43
Slika 50.	Napajanje RS PRO .....	45
Slika 51.	SCHRACK automatski prekidač .....	46
Slika 52.	Električni davač signala D-Y7PL .....	47
Slika 53.	Mikroprekidač R1710R .....	48
Slika 54.	Žica i prekidač spojeni lemom .....	48
Slika 55.	Početna pozicija invalidskih kolica .....	50
Slika 56.	Krajnja pozicija invalidskih kolica .....	51

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Tehničke specifikacije pneumatskog cilindra MGPM50-250.....	31
Tablica 2. Tehničke specifikacije pneumatskog cilindra CP96DB32-200C .....	32
Tablica 3. Tehničke specifikacije filter regulatora AW20-F02H-B.....	33
Tablica 4. Tehničke specifikacije ručnog razvodnica VHS20-F02B .....	35
Tablica 5. Tehničke specifikacije elektromagnetskog ventila SY5320-5DZ-C6F-Q .....	37
Tablica 6. Tehničke specifikacije kompresora HBM 1 PK Professional .....	38
Tablica 7. Tehničke specifikacije prigušno nepovratnog ventila AS2201F-02-06SA.....	40
Tablica 8. Tehničke specifikacije Controllino Mini.....	44
Tablica 9. Tehničke specifikacije RS PRO napajanja.....	45
Tablica 10. Tehničke specifikacije SCHRACK automatskog prekidača .....	46
Tablica 11. Tehničke specifikacije električnog davača signala D-Y7PL.....	47

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

BROJ CRTEŽA	FSB – BB – 01
	FSB – BB – 02
	FSB – BB – 03
	FSB – BB – 04
	FSB – BB – 05

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$p$	[Pa]	Tlak u cilindru s kojim se podiže pacijent
$A$	[m <sup>2</sup> ]	Površina cilindra s kojom se podiže pacijent
$F_{podizanja}$	[N]	Sila podizanja pacijenta
$G_{gornja}$	[N]	Težina gornjeg dijela sustava
$m_{pacijenta}$	[kg]	Masa pacijenta
$l$	[m]	Krak udaljenosti težišta tijela od centra podizanja

## **SAŽETAK**

Ovaj rad bavi se projektiranjem i izradom pneumatski pogonjenih invalidskih kolica. Tako projektirana invalidska kolica imala bi mogućnost podizanja pacijenata u ležećem položaju do visine bolničkog kreveta te jednostavnim transferom premjestiti ih na krevet. Na početku će biti objašnjeni osnovni pojmovi mehatronike i mehatroničkih sustava te pojam medicinske robotike. Nadalje, bit će prikazani CAD modeli konstruirani u programskom paketu Solidworks te njihova izrada, spajanje u jedinstvenu cjelinu te međusobno funkcioniranje dijelova. Objasnit će se rad i primjena pneumatskih sustava, izazovi te prednosti koje se javljaju pri njihovom korištenju. Opisat će se sastavni dijelovi korištenog pneumatskog sustava te njihova funkcija, upravljački elektronički sustav te njegova funkcija i zajednička funkcionalnost ta dva sustava. Na kraju će se opisati ukupan rad sustava i konačan izgled projektiranih invalidskih kolica.

Ključne riječi: invalidska kolica, transfer pacijenata, mehatronički sustav, pneumatski sustav, medicinska robotika

## **SUMMARY**

In this paper we examine the design and manufacture of pneumatically powered wheelchair. A wheelchair designed in this way would have the ability to lift patients, in a lying position, to the height of a hospital bed and move them onto the bed with a simple transfer. At the beginning the basic concepts of mechatronics, mechatronics systems and concept of medical robotics will be explained. Furthermore, CAD models designed in Solidworks software package will be shown, as well as their production, connecting into one single unit and the joint action of those parts. The operation and application of pneumatic systems will be explained, also pros and cons of using pneumatic systems. Used parts of the pneumatic system and their function, controlling electronic system and its function and common functionality of those two systems will be described. At the end the overall operation of the system will be explained and final look of designed invalid wheelchair will be presented.

Key words: invalid wheelchair, transfer of patients, mechatronic system, pneumatic system, medical robotics

## 1. UVOD

Robotizirana invalidska kolica, koja su predmet ovog rada mogu se smatrati dijelom servisne robotike u sklopu medicinske robotike. Upravo zbog toga ćemo kratko objasniti pojmove medicinske robotike i servisne robotike te probleme s kojima se medicinsko osoblje suočava pri transportu pacijenata. Prikazati će se projektiranje te konstrukcija robotiziranih invalidskih kolica s ključnim dijelovima pokretanim stlačenim zrakom i upravljačkim elektroničkim sustavom te njihova interakcija u procesu konstruiranja jednog cjelovitog mehatroničkog sustava. U ovom radu opisati će se dijelovi pneumatskog sustava tvrtke SMC te upravljački elektronički sustav, koji međusobno u kombinaciji omogućuju ostvarivanje konačnog cilja. Projektiranje ima još niz ideja te unaprijeđenja koja bi mogla biti ostvarena u budućnosti.

### 1.1. Inspiracija

Kao inspiracija za izradu ovog projekta poslužili su radovi i projekti već izrađeni u Laboratoriju za automatiku i robotiku na Fakultetu strojarstva i brodogradnje pod mentorstvom prof.dr.sc. Željka Šituma. Iznimno su mi zanimljivi radovi gdje je korištena pneumatika u kombinaciji s ostalim dijelovima strojarstva, gdje se dobije funkcionalni mehatronički sustav. Medicinska robotika me oduvijek zanimala, sustavi koji se izrađuju te sama pomisao na pomaganje drugim ljudima. Prijatelj Marko koji je fizioterapeut u poliklinici Glavić me uputio i detaljno objasnio kako robotski sustavi funkcioniraju za rehabilitaciju pacijenata. Samim time i meni se stvorila velika želja za izradom sustava koji bi bio koristan pacijentima te bi bio povezan uz medicinsku robotiku.

### 1.2. Mehatronički sustav

Za pogon izrađenog mehatroničkog sustava koristi se pneumatika. Pneumatika je tehnička grana koja se bavi iskorištavanjem energije stlačenog (komprimiranog) zraka uz pomoć mehaničkih uređaja. Danas je pneumatika prisutna u svim tehničkim granama te je često korištena, prvenstveno zbog svoje jednostavnosti i mogućnosti raznolike primjene, robusnosti i neosjetljivosti na elektromagnetske smetnje. Pneumatski pogon jednostavno se može uklopiti u mehatronički sustav. Radni medij je zrak, a najveći nedostatci pneumatskog sustava su [1] [2]:

- Nedostaje precizna kontrola

- Osjetljiv na vibracije
- Glasan i bučan
- Potreban konstantan dotok stlačenog zraka do aktuatora

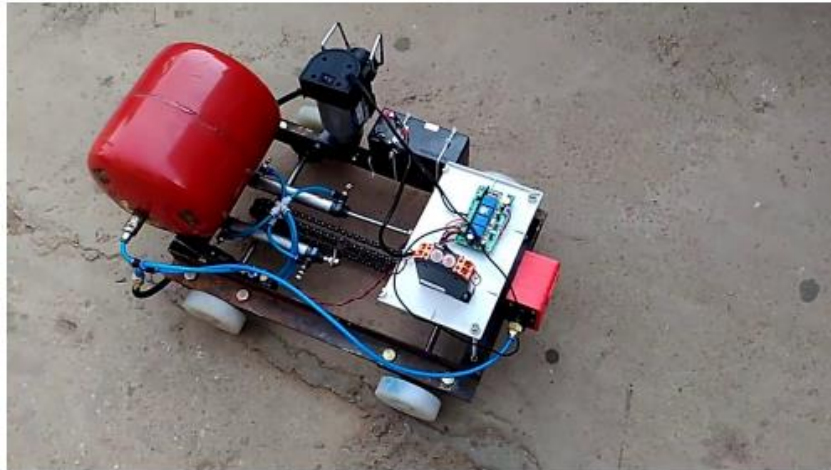
Iako postoje nedostaci, razlozi zašto se upuštati u izradu pneumatskog sustava su sljedeći:

- Zrak je lako dobavljiv
- Zrak štiti mehaničke komponente uređaja
- Amortizira udarce i lomove kod promjene tlaka zbog stišljivosti fluida
- Sigurnost od zagađenja okoliša u slučaju curenja fluida
- Zrak je ekološki prihvatljiv
- Visoka brzina rada
- Sigurnost u radu
- Laki prijenos stlačenog zraka koristeći fleksibilna crijeva
- Nema potrebe za povratnim vodovima, jer smo okruženi zrakom pa se ispušta u okoliš
- Lako je postići željenu i/ili visoku brzinu kretanja elemenata
- Promjenom tlaka lako se ostvaruje željena sila
- Visoki omjer snage i mase elemenata
- Relativno jednostavno se transportira kroz cijevi

Jednostavno upravljanje je omogućeno uporabom dvopoložajnih (on/off) ili proporcionalnih ventila. Korištenjem elektromagnetskih ventila, elektromehanički upravljanih, možemo upravljati pneumatskim sustavom pomoću elektroničkog sustava, samim time dobivamo mehatronički sustav. Mehatronika je interdisciplinarna znanost koja se fokusira na integraciju mehaničkih, elektroničkih i električnih sustava, također uključuje robotiku i računalne znanosti. Upotrebom alata ovog područja inženjeri mehatronike stvaraju sustave koji su prilagođeni modernom svijetu. Današnji svijet nezamisliv je bez mehatroničkih sustava, primjeri tih sustava su: roboti, CNC alatni strojevi, automatizacija u proizvodnji u tvornicama, autonomna vozila i svi drugi uređaji koji povezuju mehaniku, elektrotehniku i elektroniku. Upotrebom senzora možemo unaprijediti ovakve sustave što nam omogućuje unaprijeđenje sigurnost i preciznosti.



U nastavku će biti prikazani mehatronički sustavi koji povezuju pneumatiku i elektroniku.



**Slika 1. Autonomni pneumatski robot [3]**



**Slika 2. Četveronožni hodajući robot [4]**

## 2. MEDICINSKA ROBOTIKA

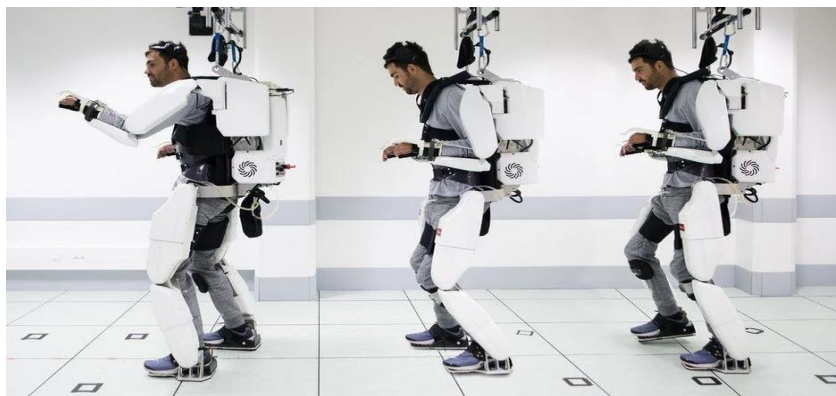
Povijest primjene robota u medicini je relativno novog datuma, tek zadnjih godina se aktivno primjenjuje te ima sve značajniji utjecaj. Roboti su morali dostići odgovarajući razvoj i visoku sigurnost rada kako bi se mogli koristiti u medicini. Medicinski roboti odličan su primjer sinergije medicine i tehnike. Prednosti primjene robotike u medicini su: veća kvaliteta rada i produktivnost, povećana sigurnost, izbjegavanje rizika i povećana operativnost. Opća podjela robota je na industrijske i servisne robote.

### 2.1. Servisna robotika

[5] Jedan od ključnih faktora razvoja servisne robotike su identificirani trendovi stanovništva treće dobi. U svijetu postoji trend porasta radnika koji odlaze u mirovinu i stanje populacije stanovništva. Servisna robotika pred sobom ima izazov i priliku da nađe rješenja koja će zadovoljiti tu populaciju sa stajališta njihove zdravstvene i socijalne pomoći te im pružiti pomoć. Cilj robotske tehnologije razviti je servisne robote koji će imati interaktivnu komunikaciju s bolesnikom, pružiti pomoć u obavljanju svakodnevnih poslova te njegov život učiniti kvalitetnijim i sadržajnijim.



Slika 3. Lokomat



**Slika 4. Egzoskelet**

## **2.2. Invalidska kolica**

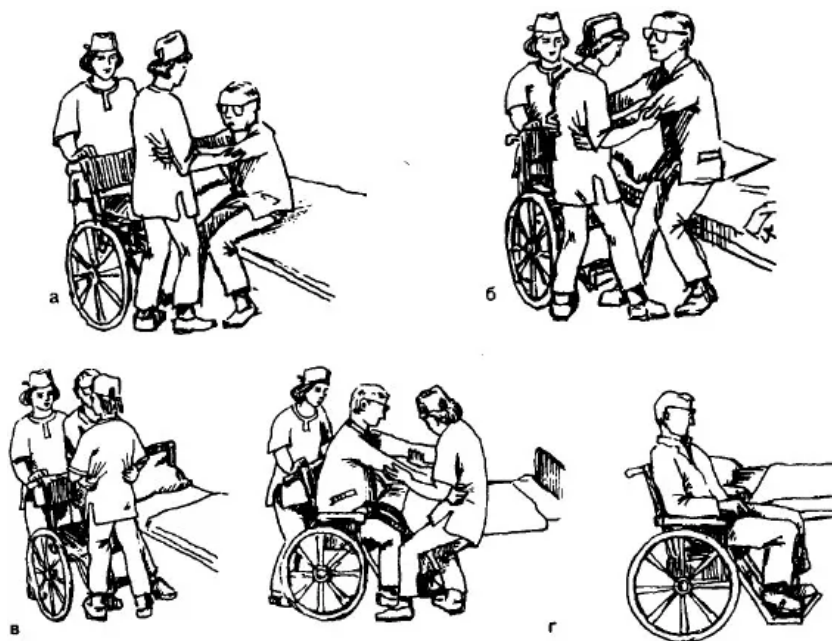
Invalidska kolica pomoćno su sredstvo za kretanje osoba s invaliditetom ili osoba kojima je kretanje zbog nekog razloga otežano. Sastoji se od stolice sa drškama koja služe za pokretanje, također postoje i posebno dizajnirana kolica za različite namjene. Kretanje invalidskih kolica mogu kontrolirati sami ljudi koji ih koriste ili je potrebna druga osoba za pokretanje. Danas se sve više koriste i kolica s mogućnošću upravljanja pomoću elektromotornog pogona, također i kolica za različite druge namjene kako bi se osobama olakšalo što lakše kretanje i svladavanje različitih prepreka. To im otvara vrata za razne mogućnosti, povećava fleksibilnost i olakšava život.



**Slika 5. Invalidska kolica s elektromotornim pogonom**

### 2.3. Ideja

[6] U bolnicama se invalidska kolica koriste za transfer pacijenata. Pri premještanju pacijenata iz kolica na krevet, sjedalicu ili bilo koje drugo mjesto te nazad u kolica izaziva visoke napore kod medicinskog osoblja. Već dovoljno opterećeni stvarima koje trebaju raditi, bilo koja pomoć im je dobrodošla. Premještanje pacijenta s kreveta na kolica nije jednostavan postupak, kolica treba staviti usporedno s krevetom na malu udaljenost, stati ispred pacijenta i osigurati da je kralježnica pacijenta stabilizirana. Pomoću koljena medicinsko osoblje pridrži pacijenta, dok staje na svoje noge, potrebno je rotirati ga te polagano smjestiti u stabilan sjedeći položaj. Najveći problem i napor predstavlja podizanje i rotacija pacijenta te smještanje u sjedeći položaj.



Slika 6. Transfer pacijenta iz kreveta u kolica [7]

Idejno rješenje bi minimiziralo navedene probleme i olakšalo rad medicinskog osoblja. Koristeći pneumatiku osiguralo bi se podizanje pacijenta na traženu visinu bolničkog kreveta te rotacija i podizanje pacijentovih nogu kako bi se omogućio čim lakši njegov transfer. Kao što je uvijek poželjno, sigurnost mora biti na prvom mjestu. Kako bi osigurali pacijenta od neželjenih pokreta trupa i gornjih ekstremiteta, koristeći pneumatski pogonjeni krak bio bi osiguran stabilan položaj tijela.

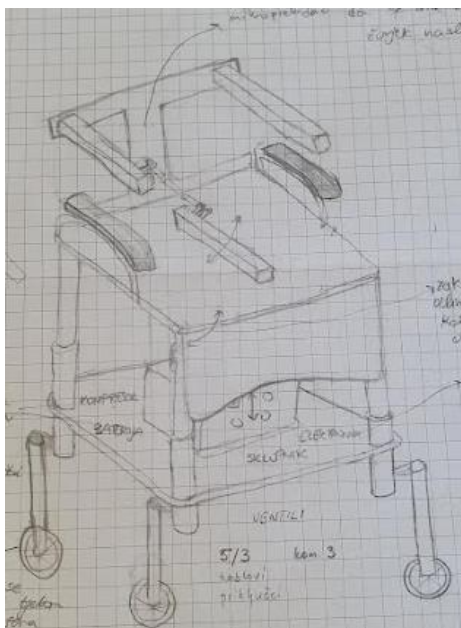
### 3. PROJEKTIRANJE I KONSTRUKCIJA

Mehanički sustav invalidskih kolica, odnosno konstrukcija i izrada najvažniji je dio koji omogućuje pravilno te stabilno izvršavanje zadatka podizanja pacijenta. Za početak konstruiranja potrebno je proučiti sve komponente koje će se koristiti te smisliti njihov razmještaj i primjenu. Kolica je potrebno napraviti što je moguće stabilnija, sigurnija i ergonomičnija.

Za odabir materijala i izradu konstrukcije potrebno je uzeti materijal što veće čvrstoće uz aspekt ekonomičnosti. Potrebno je da izrađena konstrukcija može izdržati težinu svih komponenata koje su korištene, težinu pacijenta koji upotrebljava kolica te da zadovolji dinamička opterećenja tijekom podizanja, spuštanja te premještanja pacijenta.

#### 3.1. Početni koncept

Početni koncept konstrukcije invalidskih kolica, prikazan na [Slika 7], sastojao se od zamisli da korištenjem pneumatskog cilindra bude omogućeno podizanje do bolničkog kreveta u poziciji okomito s obzirom na položaj kreveta te transfer pacijenta preko "slidera" (klizača) na kojem su smještene noge. Stabilizacija trupa bila bi ostvarena zglobnim pomakom koji bi onemogućio njegovo gibanje te osigurao položaj čovjeka prilikom podizanja. Završni model bit će prikazan poslije, usporedbom početnog koncepta i završnog modela vidjet će se velika razlika te konstantna nadogradnja idejama prilikom izrade. Sve mehaničke, pneumatske i elektroničke komponente trebalo je povezati u jedan funkcionalni sustav.



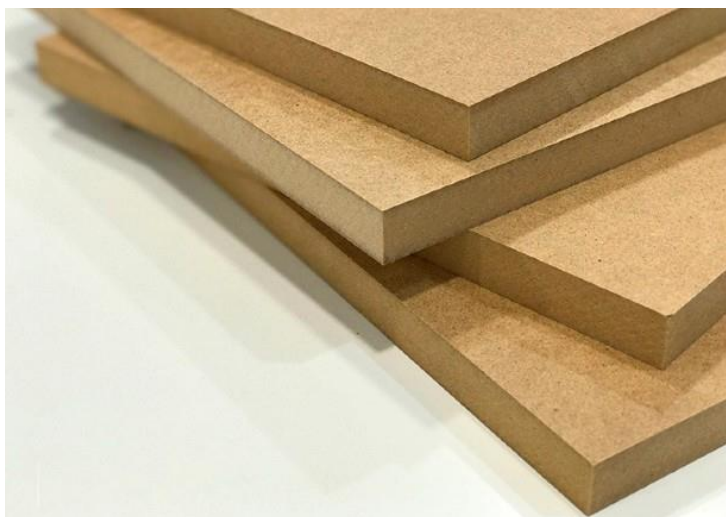
Slika 7. Početni koncept modeliranih kolica

### 3.2. Proračun nosivosti

Za proračun nosivosti invalidskih kolica, izračun maksimalne težine koja se smije podići s određenim faktorom sigurnosti, najveću ulogu je imao odabir materijala. Za materijal iz ekonomskih aspekata odabrano je drvo. U proračunu nosivosti kojim se osiguravamo od loma cjelokupnog sustava uzete su u obzir težine svih dijelova koje se naslanjaju na lift kojim obavljamo najbitniji i najzahtjevniji pokret, podizanje pacijenta.

#### 3.2.1. Materijal

Odabrano drvo je MDF (Medium Density Fiberboard) ili Mediapan naziv je za ploče vlaknarice srednje gustoće. Kompozitna ploča proizvedena od drvenih vlakana vezanih smolom pod visokim pritiskom te prešana pod temperaturom na određenu debljinu koja je zahtijevana. Gustoća je po cijeloj debljini ujednačena što omogućuje visoku čvrstoću. U ovom projektu debljina Mediapana je 18 [mm] što se pokazalo dovoljnom debljinom, jer je zadovoljila tražene uvjete rada. Debljina ploča od 18 [mm] je omogućena prešanjem pri visokim temperaturama. Pravo drvo ima tendenciju širenja i skupljanja kada vlažnost i temperatura rastu i padaju, dok MDF u tim uvjetima zadržava svoje dimenzije.



Slika 8. MDF ili Mediapan ploče

### 3.2.2. Nosivost konstrukcije

Proračun sile odnosi se na računanje sile podizanja koju postiže veliki cilindar koji služi kao lift pacijenta te proračunom vezanim uz pacijenta.

Kada je radni tlak od 0,3 [MPa] odnosno 3 bar postignut, uz korištenje prigušno nepovratnog ventila postizemo željenu brzinu podizanja pacijenta na radnu visinu bolničkog kreveta. Težina koja je dobivena proračunom uz radni tlak je izračunata kako bi stali na stranu sigurnosti te prikazali težinu koja se smije podići. Ukoliko ograničimo sustav i korištenje invalidskih kolica na težinu koja je dobivena dobit ćemo potrebnu sigurnost sustava te se zaštititi od loma komponenti i pacijentove nesigurnosti.

$$p = 0,3 \text{ [MPa]} = 300\,000 \text{ [Pa]}$$

$$A = 8401,57 \text{ [mm}^2\text{]} = 0.00840157 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F = p * A \quad (1)$$

$$F = m * g \quad (2)$$

$$F_{\text{podizanja}} = p * A = 300\,000 \text{ [Pa]} * 0.00840157 \text{ [m}^2\text{]} = 2520,471 \text{ [N]} \quad (3)$$

Težina gornjeg dijela sustava kojeg pneumatski cilindar, koji služi kao lift pacijenta, podiže je:

$$G_{\text{gornja}} = (m_{\text{sustava}} + m_{\text{pacijenta}}) * g = (8,7 + m_{\text{pacijenta}}) * g \quad (4)$$

$$G_{\text{gornja}} = 85,347 + 9,81 * m_{\text{pacijenta}}$$

Postizanjem ravnoteže sila dobijemo masu pacijenta  $\rightarrow m_{\text{pacijenta}}$  :

$$F_{\text{podizanja}} = G_{\text{gornja}} \quad (5)$$

$$2520,471 = 85,347 + 9,81 * m_{\text{pacijenta}}$$

$$m_{\text{pacijenta}} = 248,229 \text{ [kg]}$$

Ukoliko se uzme u obzir faktor sigurnosti iznosa 2, dobije se masa pacijenta koja se smije podizati :

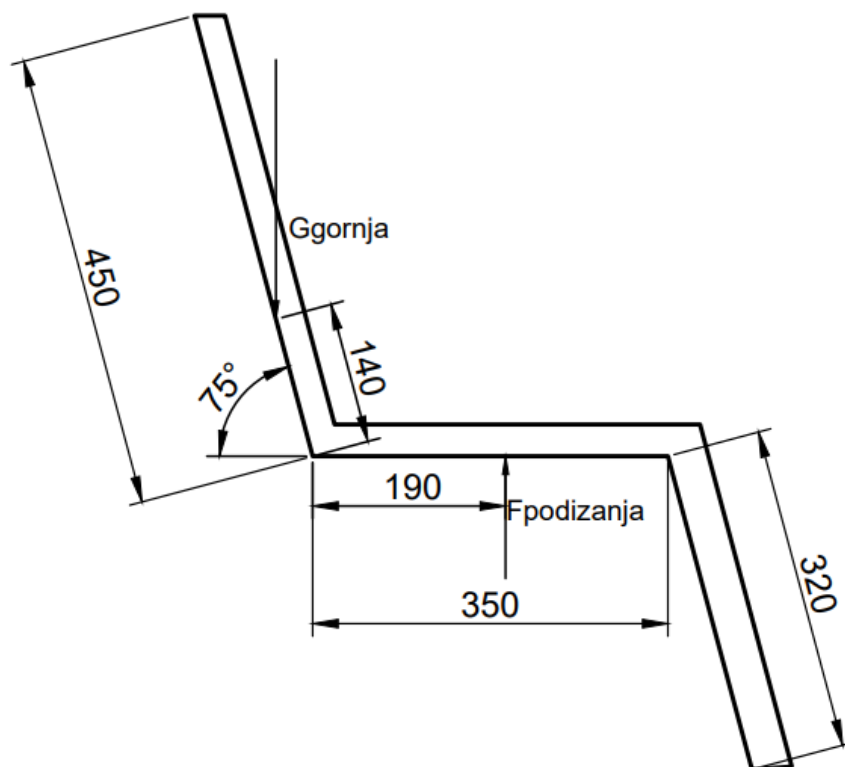
$$\frac{m_{\text{pacijenta}}}{\text{sigurnost}} = 121.115 \text{ [kg]} \quad (6)$$

Proračun momenta bavi se računanjem momenta koji opterećuje pneumatski cilindar prilikom podizanja pacijenata. Sljedeći podatci potrebni su za određivanje prosječne visine težišta ljudskog tijela.

[8] Prosječna visina muškaraca i žena u Hrvatskoj = 173,44 [cm]

Prosječna visina djece u dobi od 10 godina u Hrvatskoj = 138,31 [cm]

Težište čovjeka nalazi se ispred lumbalnog dijela kralježnice, ukoliko se u obzir uzme prosječna visina muškaraca i žena, prosječna visina lumbalnog dijela kralježnice nalazi se na relativnoj visini od 103 [cm], a kod djece na visini od 81 [cm]. Ukupna dužina ležaja konstruiranih invalidskih kolica je 112 [cm] što znači da bi se praktično ova invalidska kolica koristila za podizanje pacijenata mlađih uzrasta. Također, apsolutnu visinu težišta teško je odrediti zbog toga što visina ovisi o debljini lumbalnog dijela kralježnice, a debljina ovisi o intervertebralnim diskovima. U mlađoj dobi je veća debljina zbog toga što su diskovi puniji vodom i elastičniji nego u starijoj dobi.



Slika 9. Osnovne dimenzije konstrukcije



Ukupan krak koji prikazuje udaljenost težišta tijela od centra pneumatskog cilindra koji služi kao lift pacijenta iznosi:

$$l = 0,14 * \cos(75^\circ) + 0,19 = 0.226 [m] \quad (7)$$

Ukupan moment, uzimajući u obzir težinu izračunatu u [5], iznosi:

$$M = G_{gornja} * l = 2520,471 * 0.2262 = 570,131 [Nm] \quad (8)$$

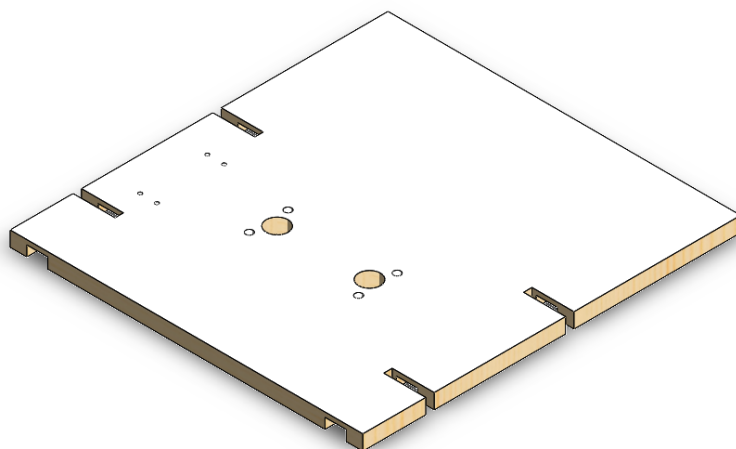
### 3.3. Projektiranje i izrada sjedala

Sjedalo je najopterećeniji dio sustava koji se sastoji od dva dijela: donji dio (gdje su smještene komponente) koji mora imati dovoljnu čvrstoću kako bi izdržao težinu koja ga opterećuje te sjedište gdje pacijent sjedi. Oba dijela su izrađena od MDF materijala koji omogućuje postizanje traženih zahtjeva za čvrstoćom. Donji dio i sjedište čine jednu cjelinu tako što su povezani, koristeći vijke, s cilindrom koji omogućuje lift pacijenta. Time je dobivena prva jedinstvena cjelina koja je ukomponirana da funkcionira zajedno. U programskom paketu Solidworks projektirani su modeli od kojih su kasnije izrađeni svi dijelovi u mjerama.

#### 3.3.1. Donji dio

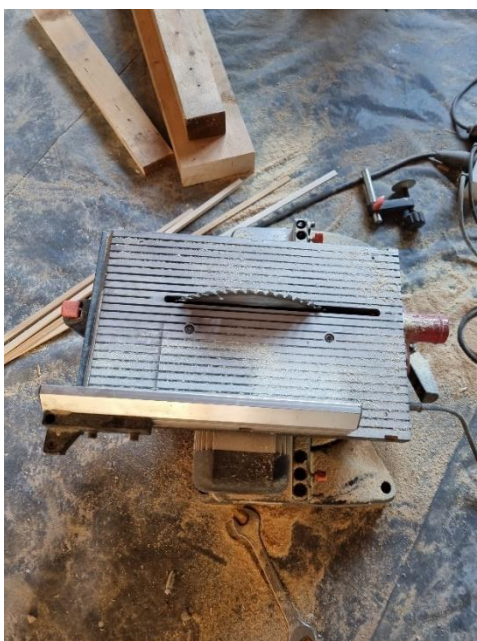
Donji dio konstruiran je prema mjerama uzetima s kolica kako bi se pravilno montirao na kolica s dovoljnom razinom stabilnosti. Bilo je potrebno uzeti u obzir micanje tvornički ugrađenih dijagonalnih cijevi koje su služile kao stabilizatori te ostvarivali odstojanje i stabilnost cijelih invalidskih kolica. Micanje je bilo potrebno kako bi se mogle postaviti pneumatske i elektroničke komponente na ploču. Gubitkom stabilnosti bilo je potrebno ponovno osposobljavanje stabilnosti invalidskih kolica, u dosjed je ugrađena ploča donjeg dijela kako bi se ponovno uspostavilo i potrebno odstojanje. Uzimanjem mjera s kolica su se određivale širine i dužine ploča, a centriranje cilindra koji omogućuje lift pacijenta određeno je proračunom nosivosti.

Modeli iz Solidworks-a će u nastavku biti prikazani kako su izrađeni.



**Slika 10. Model donje ploče**

Korištenjem kružne pile s mogućnošću ručnog namještanja širine, samim time i dužine, BDF ploče su izrezane na zahtijevane dimenzije. Dimenzije ploče koja se koristi kao donji dio na kojem se nalaze komponente su 450x420 [mm]. Urezi na ploči su također napravljeni kružnom pilom.



**Slika 11. Kružna pila za drvo**



**Slika 12. Donja ploča**

Korištenjem svrdla s  $\text{Ø}32$  provrtom napravljene su dvije prolazne rupe, šire od klipnjače cilindra, kako bi se omogućilo nesmetano gibanje cilindra koji ostvaruje lift pacijenta, a sa svrdlom 10 napravljene su 4 rupe za prolazak M10 vijaka s kojima je cilindar za ostvarivanje lifta pacijenta pričvršćen za donju ploču, kao što je prikazano na [Slika 13].

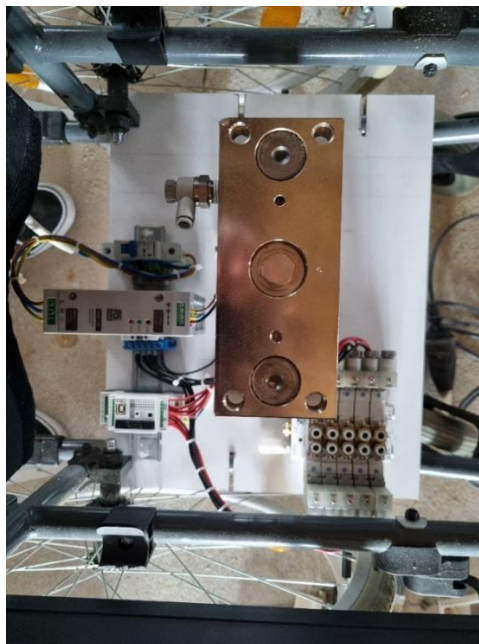


**Slika 13. Donja ploča s ugrađenim cilindrom za podizanje**



**Slika 14. Svrđlo Ø32 korišteno za bušenje rupa**

Elektromagnetski ventil je s 4 x M4 vijka spojen za donju ploču, a za pričvršćivanje ostalih komponenti na donju ploču korišteni su iver vijci s kojima su pričvršćeni svi dijelovi za donju ploču. Na [Slika 15.] vidi se razmjštaj pneumatskih i elektroničkih komponenti na donjoj ploči.

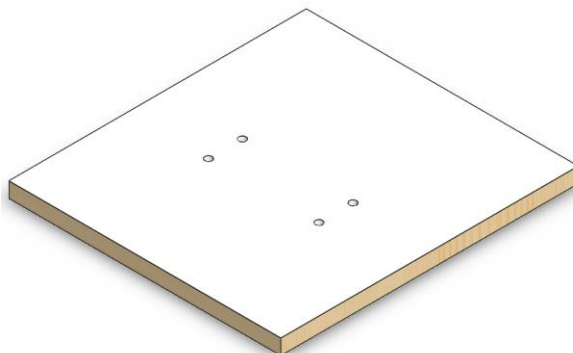


**Slika 15. Komponente spojene na donjoj ploči**

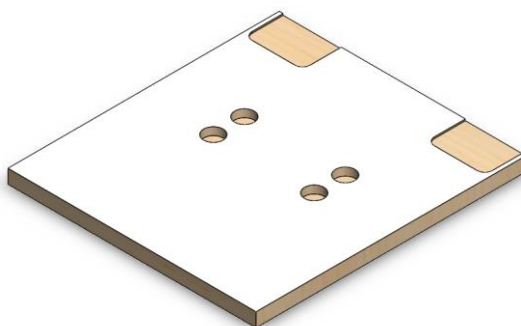
### 3.3.2. Sjedište

Sjedište je konstruirano prema izmjerama uzetima s kolica kako bi se omogućilo nesmetano podizanje pacijenta s obzirom na širinu rukohvata. Sjedište je napravljeno od dvije ploče kako bi se postigla dovoljna čvrstoća, omogućio ugodan smještaj pacijenta i postigla stabilnost sjedišta. Ploče su međusobno mehanički povezane korištenjem iver vijaka. Problem je bio kako centrirati ploču, a njeno centriranje je izvedeno na način da težište cijelih kolica, zajedno s težištem pacijenta, bude smješteno na sjedištu. Model za izradu napravljen je u programskom paketu Solidworks.

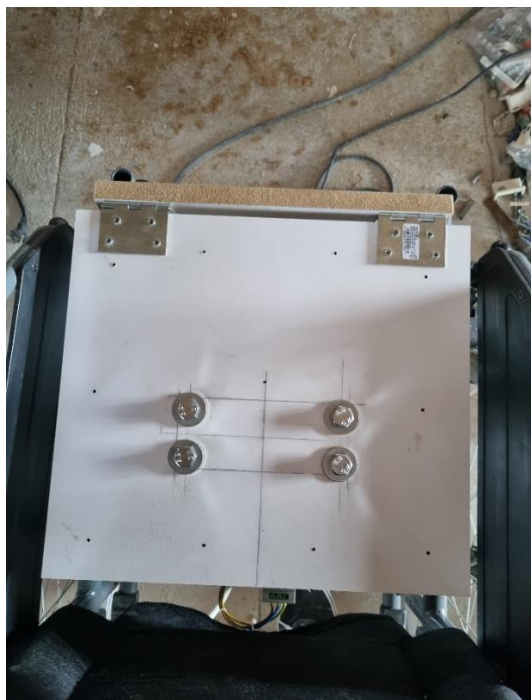
Spojna ploča je korištenjem kružne pile izrezana na tražene dimenzije 350x320[mm]. Povezana je s pneumatskim cilindrom (liftom) za podizanje pacijenata s M10 vijcima, ugrađeni su s podložnim pločicama kako bi se osigurali od odvrtanja. Zajedno s naslonom za noge čini jedinstvenu cjelinu što će biti prikazano kasnije.



**Slika 16. Model spojne ploče sjedišta**



**Slika 17. Model gornje ploče sjedišta**



**Slika 18. Spojna ploča sjedišta**

Naslon za noge povezan je sa spojnom pločom koristeći šarke koje nam omogućuju potrebnu rotaciju podizača nogu, šarke su pričvršćene s iver vijcima za spojnu ploču i za naslon za noge.



**Slika 19. Šarka**

Gornja ploča, koja dolazi na spojnu ploču, korištenjem ručne pile izrezana je na tražene dimenzije 350x320[mm], tj. iste dimenzije koje ima spojna ploča. Zbog vijaka s kojima je spojna ploča pričvršćena za pneumatski cilindar bilo je potrebno napraviti rupe na sjedištu s donje strane kako bi dvije ploče sjele jedna na drugu bez prevelike zračnosti. Rupe su napravljene korištenjem svrdla koje je prikazano prethodno, te su proširene i pravilno napravljene korištenjem ručne glodalice za drvo. Nakon postavljanja bilo je zračnosti zbog toga što su ugrađene šarke, koje su spajale spojnu ploču i naslon za noge, onemogućavale pravilno smještanje jedne ploče na drugu. Ponovno, uzimanjem dimenzija šarke te korištenjem ručne glodalice omogućeno je pravilno smještanje ploča te njihovo konačno povezivanje vijcima.



**Slika 20. Gornja ploča sjedišta**



Slika 21. Ručna glodalica

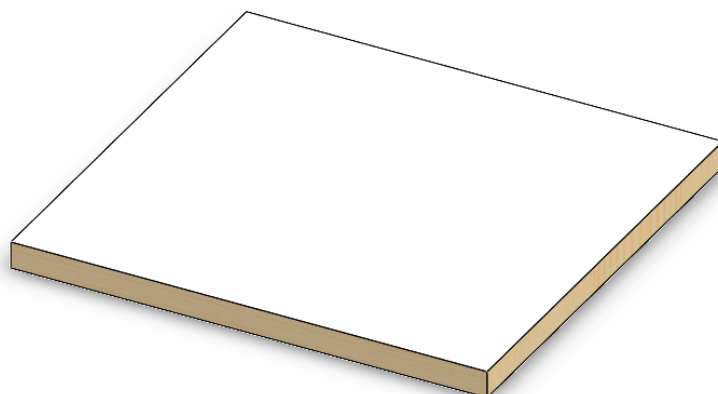
### 3.4. Projektiranje i izrada podizača nogu

Podizač nogu je konstruiran u mjerama uzetima s kolica kako bi se omogućila nesmetana rotacija naslona za noge pokretanog cilindrom s klizačem. Naslon za noge služi kako bi se omogućilo podizanje nogu te ostvarivanje položaja pacijenta, zajedno s naslonom, koji bi bio jednostavniji i stabilniji za transfer s invalidskih kolica na bolnički krevet. Bilo je potrebno ostvariti rotacijsko gibanje ploče naslona za noge od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ . Rotacijsko gibanje ostvareno je korištenjem dva pneumatska cilindra postavljena na jednaku udaljenost od centra ploče naslona za noge. Rotacija je omogućena šarkama, koje povezuju spojnu ploču i ploču naslona za noge.

#### 3.4.1. Naslon za noge

Ploča naslona za noge korištenjem ručne pile izrezana je na tražene dimenzije  $320 \times 300$  [mm]. Sa šarkama je ploča naslona za noge povezana sa spojnom pločom.





**Slika 22. Model naslona za noge**



**Slika 23. Ploča naslona za noge**



Slika 24. Spoj ploče naslona za noge i spojne ploče

### 3.4.2. Montaža cilindra

Montiranjem dva pneumatska cilindra ostvareno je traženo rotacijsko gibanje. Montaža je omogućena korištenjem dva kutna profila dimenzija 80x80 [mm] po jednom cilindru, odnosno sveukupno četiri kutna profila za dva cilindra. Za učvršćenje te montažu kutni profili su prilagođeni dimenzijama cilindra. Korištenjem brusilice prilagođene su dimenzije za lakšu montažu te su pričvršćeni iver vijcima za donju stranu spojne ploče. Pozicionirani su tako da ploča naslona za noge bude u početnoj poziciji od 0°.



Slika 25. Kutni profil za pričvršćivanje cilindra

### 3.4.3. Klizač

Korištenjem BDF materijala za izradu ploča, akcijom dva pneumatska cilindra dolazi do klizanja klipnjače po ploči te stvaranja velikog trenja i oštećenja na ploči naslona za noge. Samim time veće je i opterećenje na pneumatske cilindre. Kako bi se riješili tog problema, smanjili trenje i poništili mogućnost stvaranja oštećenja, na kraju klipnjače se nalazi navoj, na koji je ugrađena matica M10 s kotačićem. Korištenjem kotačića dolazi do stvaranja trenja klizanja, koje je manje od suhog trenja. Spoj matice i kotačića ostvaren je zavarivanjem.



Slika 26. Uređaj za zavarivanje



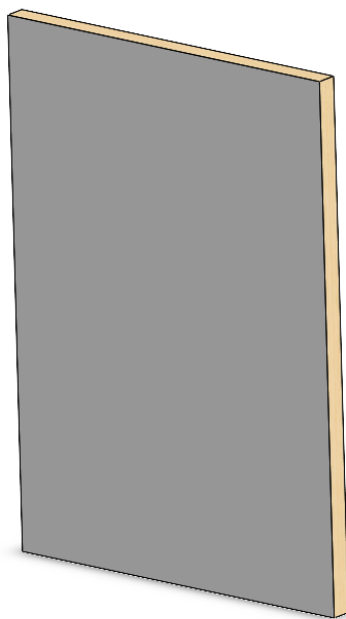
Slika 27. Klizač

### 3.5. Projektiranje i izrada naslona

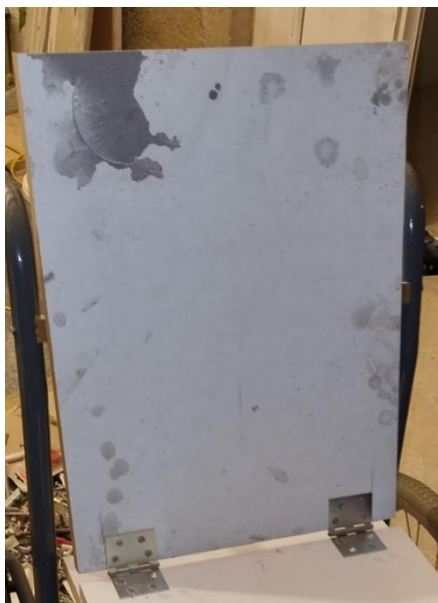
Naslon je konstruiran u mjerama uzetima s kolica kako bi se montirao između dvije ručke za pokretanje invalidskih kolica. Kako bi osigurali ostvarivanje pravilnog položaja pacijenta za transfer s invalidskih kolica na bolnički krevet potrebna je rotacija naslona. Rotacija je omogućena ugradnjom šarki, njihovim pričvršćivanjem za ploču naslona i gornju ploču sjedišta. Za ostvarivanje željenog položaja, nagiba istog kao kod bolničkog kreveta na kojeg ostvarujemo transfer pacijenta, koristi se šipka s dva kola. Kola nam omogućuju nesmetanu rotaciju, a pozicioniranjem, odnosno podešavanjem visine šipke postizemo potreban kut.

#### 3.5.1. Naslon

Ploča naslona korištenjem ručne pile izrezana je na tražene dimenzije 450 x 320 [mm]. Sa šarkama je ploča naslona za noge pričvršćena za gornju ploču sjedišta.



Slika 28. Model naslona



**Slika 29.** Ploča naslona

### **3.5.2. Teleskopska šipka za podešavanje visine**

Pri maksimalnoj visini sustava, kada je cilindar koji služi kao lift za pacijenta u krajnjoj poziciji, za slučaj potpuno izvučene klipnjače, onemogućen je bio transfer pacijenta na krevet, jer je visina ručke onemogućavala gibanje. Ručke smo skinuli te ih zavarili za šipku. Teleskopska šipka ima mogućnost podešavanja visine koje je ostvareno stavljanjem šire fleksibilne cijevi u manju čime je ostvarena mogućnost uvlačenja i izvlačenja.



**Slika 30.** Teleskopska šipka za podešavanje visine

### 3.6. Tapećiranje

Nakon što su svi dijelovi izrađeni i montirani potrebno je bilo ispuniti par estetskih i ergonomskih zahtjeva. Sve dijelove bilo je potrebno rastaviti i ponovno sastaviti. Tapećiranjem se svi dijelovi, na kojima se nalazi pacijent, oblože spužvom debljine 2 [cm]. Nakon stavljanja spužve, obložimo spužvu platnom kako bi estetski što bolje izgledala. Spužvu smo spojili s dijelovima, platno sa spužvom koristeći postupak lijepljenja s VR5000 ljepilom u spreju. Na samom dnu naslona za noge postavljena su dodatna 4 [cm] spužve kako bi smještaj nogu bio čim ugodniji te ergonomske prihvatljiviji.



**Slika 31. Postavljanje spužve**



Slika 32. Postavljanje platna



Slika 33. Ljepilo u spreju VR 5000

### 3.7. Konačni izgled kolica

Nakon tapeciranja odlučeno je još nekoliko estetskih i konstrukcijskih zahtjeva. Postavljene su inox ploče, debljine 1,2 [mm], za ljepši izgled invalidskih kolica, koje ujedno služe i kao zaštita mediapana. S njima se prekrio stražnji dio naslona, donji dio naslona za noge, rubovi sjedišta te su se zamaskirali pneumatski cilindri koji se koriste za podizanje nogu. Nadalje, problem stabilnosti koja se izgubila micanjem stabilizacijskih dijagonalnih cijevi, riješen je zavarivanjem dvije cijevi u horizontalni položaj, jedna cijev na prednji dio, druga na stražnji, čime je također ostvareno traženo odstojanje između ručki. Kada se pacijent podigne u ležeći položaj, stvori se veliko opterećenje na šarke naslona te je zbog straha od loma napravljen potporanj za naslon. Za osiguranje naslona od loma dok čovjek leži, zavarivanjem dvije cijevi između ručki koje bi služile kao potporanj naslonu, riješen je problem.



Slika 34. Konačni izgled kolica

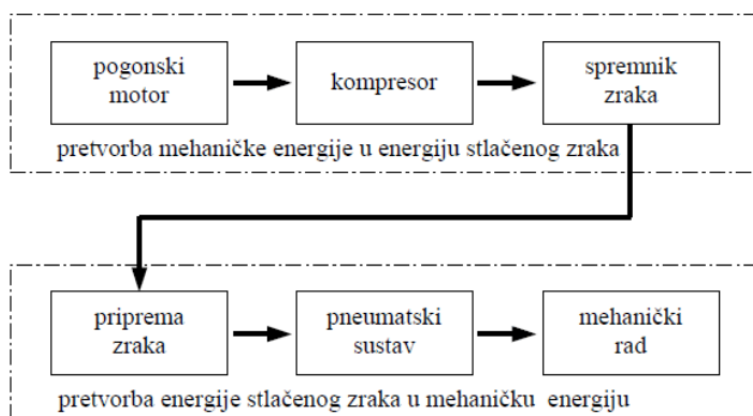


## 4. PNEUMATSKI SUSTAV

Za pogon dijelova koji obavljaju ključna gibanja koristi se pneumatski pogon. Pneumatski sustav odabran je zbog jednostavne izvedbe te kako bi se prikazao njegov široki spektar rada i mogućnosti. Pneumatski elementi prisutni su danas u velikom broju pogona, a najviše se koriste unutar "male automatizacije". Elementi pneumatskog sustava mogu se prema njihovoj funkciji podijeliti na [9] :

- Elementi za proizvodnju i razvod zraka
- Elementi za pripremu zraka
- Izvršni elementi
- Upravljački elementi
- Upravljačko-signalni elementi
- Pomoćni elementi

Zadaci pneumatskog sustava mogu uključivati pretvorbu, prijenos i upravljanje energijom. [Slika 33] shematski prikazuje opći princip rada pneumatskog sustava. U gornjem bloku prikazana je pretvorba mehaničke energije u energiju stlačenog zraka koji se pohranjuje u spremnik zraka. Kroz pneumatsku razvodnu mrežu (tlakovod) taj zrak se dovodi u donji blok, u kojem se vrši obrnuta pretvorba energije. Nakon jedinice za pripremu zraka u pneumatskom sustavu energija zraka pretvara se u koristan mehanički rad. Taj sustav obuhvaća komponente koje upravljaju smjerom strujanja, protokom i tlakom zraka, kao i komponente koje vrše pretvorbu energije. Osim pretvorbe u mehanički rad, pneumatski sustav često obavlja ulogu i upravljanja odnosno regulacije.



Slika 35. Opći pneumatski sustav

#### 4.1. Pneumatski cilindar kao aktuator

Pneumatski cilindri spadaju u skupinu izvršnih elemenata. Oni su aktuatori u pneumatskom sustavu te izvršioци naredbi razvodnika. U principu primarna zadaća pneumatskog cilindra pretvorba je energije stlačenog zraka u linearno ili rotacijsko gibanje. Linearno gibanje je puno zastupljenije od rotacijskog gibanja pneumatskog cilindra, za rotacijsko gibanje koristi se pneumatski zakretni cilindar, ali je njegova primjena rijetka. Prema načinu djelovanja mogu se podijeliti na:

- Jednoradne
- Dvoradne
- Posebne izvedbe (tandem, višepoložajni, teleskopski, bez klipnjače, udarni)

Na tržištu postoji veliki broj različitih izvedbi pneumatskih cilindara koji ovise o:

- Primjeni
- Dimenzijama
- Teretu koji moraju prenijeti
- Brzini gibanja
- Uvjetima u kojima moraju raditi
- Radnom tlaku

Jednoradni pneumatski cilindri vrše koristan rad samo u jednom smjeru, priključak zraka nalazi se samo na prednjoj strani, a povratno kretanje najčešće se ostvaruje oprugom. Za upravljanje jednoradnim cilindrom koriste se 3/2 cilindri, 3-smjerni ventil s 2 položaja.



Slika 36. Jednoradni cilindar

Dvoradni pneumatski cilindar vrši koristan rad u oba smjera, a priključci za zrak nalaze se s obje strane klipa. Za pokretanje klipa stlačeni zrak dovodi se u komoru s jedne strane klipa, a istovremeno se komora na suprotnoj strani mora odzračivati. Mogućnosti ugradnje cilindra su univerzalne te sila koju klipnjača prenosi je nešto veća u hodu unaprijed nego u povratnom hodu. Upravljanje dvoradnim cilindrom omogućeno je upotrebom 4/2, 5/2 ili 5/3 razvodnika.



**Slika 37. Dvoradni cilindar**



**Slika 38. Pneumatski cilindri za posebne izvedbe**

## 4.2. Komponente pneumatskog sustava

Za ovaj završni rad koristit će se dvoradni cilindri zbog svojih prednosti te sila koje postižu, različitih su izvedbi i dimenzija. Kasnije će biti prikazani korišteni cilindri. Bit će upravljani pomoću elektromagnetskih 5/3 ventila, 5-smjerni ventil s 3 položaja. [10]

### 4.2.1. Pneumatski cilindar MGPM50 – 250

Pneumatski cilindar MGPM50-250 koristi se kao aktuator u ovom radu. Cilindar MGPM50-250 je standardni kompaktni cilindar robusne izrade, s vođenjem, velike nosivosti i radnog hoda klipa cilindra od 250 [mm]. Ovaj cilindar odabran je upravo zbog velike nosivosti. Njegova uloga u ovom radu bit će podizanje pacijenata na traženu visinu, također treba uzeti pri proračunu koliku težinu može podići i preostale dijelove konstrukcije koji će ga tlačno opterećivati. Njegova uloga je ključna, regulacija visine i postizanje tražene brzine s kojom bi osigurali stabilno podizanje pacijenta bez naglih pokreta i postigli traženu sigurnost.



**Slika 39. Pneumatski cilindar MGPM50-250**

Osnovne karakteristike pneumatskog cilindra MGPM50-250 su:

- MGP – vrsta serijske proizvodnje cilindra
- M – vrsta ležaja, označava klizni ležaj
- 50 – veličina provrta [mm]
- 250 – hod cilindra [mm]

Tehničke specifikacije pneumatskog cilindra MGPM50-250 prikazane su u [Tablica 1].

**Tablica 1. Tehničke specifikacije pneumatskog cilindra MGPM50-250**

Radni medij	Zrak
Dopušteni unutarnji tlak	1.5 [MPa]
Maksimalni radni tlak	1.0 [MPa]
Minimalni radni tlak	0.15 [MPa]
Temperaturno radno područje	-10 do 60 °C (bez zamrzavanja)
Brzina klipa	50 do 500 mm/s
Podložak	Gumeni odbojnik na oba kraja cilindra
Podmazivanje	Nije potrebno
Dopuštena tolerancija provrta [mm]	+1,5 +0
Dozvoljena nosivost	9 kg pri brzini od 200 mm/s

#### 4.2.2. *Pneumatski cilindar CP96SDB32-200C*

Pneumatski cilindar CP96SDB32 – 200C je standardni dvoradni cilindar bez vođenja, relativno velike nosivosti i radnog hoda klipa od 200 [mm]. Manje je robustan od cilindra MGPM50-250 i ima manju nosivost, ali to nije veliki problem, jer ne služi za akciju gibanja komponenti velike težine.



**Slika 40. Pneumatski cilindar CP96SDB32-200C**

Osnovne karakteristike pneumatskog cilindra CP96SDB32-200C su:

- CP96S – vrsta serijske proizvodnje cilindra
- D – s automatskim prekidačem (s ugrađenim magnetom)
- B – osnovno (basic) montiranje
- 32 – veličina provrta [mm]
- 200 – hod cilindra [mm]
- C – zračni jastuk na oba kraja + gumeni odbojnik

Tehničke specifikacije pneumatskog cilindra CP96SDB32-200C prikazane su u [Tablica 2].

**Tablica 2. Tehničke specifikacije pneumatskog cilindra CP96DB32-200C**

Radni medij	Zrak
Dopušteni unutarnji tlak	1.5 [MPa]
Maksimalni radni tlak	1.0 [MPa]
Minimalni radni tlak	0.05 [MPa]
Temperaturno radno područje	Bez automatskog prekidača: -20 do 70°C (bez zamrzavanja) S automatskim prekidačem: -10 do 60°C (bez zamrzavanja)
Brzina klipa	50 do 1000 mm/s
Podmazivanje	Nije potrebno
Dopuštena tolerancija provrta	+3,2 +0
Veličina priključka	G1/4

#### **4.2.3. Filter regulator AW20-F02H-B**

Filter regulator je kombinacija filtera zraka i regulatora tlaka u jednu cjelinu tj. Jedinicu za pripremu zraka. Prednost koju donosi jedna cjelina je zauzimanje manje prostora, smanjuje mogućnost curenja zbog manje zračnih priključaka i u određenim slučajevima poboljšava izvođenje. Regulator tlaka je ventil koji regulira tlak zraka na željenu veličinu, s regulacijom

omogućujemo kontrolu brzine i preciznost protoka. Filter zraka služi za čišćenje zraka koji se dovodi iz kompresora. Filter zraka prikupi te zadrži čvrste tvari (prašina, prljavština, hrđa) te odvoji tekućine, koje kapaju u zdjelu, unutar komprimiranog zraka.



**Slika 41. Filter regulator AW20-F02H-B**

Osnovne karakteristike filter regulatora AW20-F02H-B su:

- AW – vrsta serijske proizvodnje
- 20 – veličina tijela
- F – vrsta navoja cijevi
- 02 – veličina priključka
- H – montaža s maticom za podešavanje
- B – montaža s nosačem

Tehničke specifikacije filter regulatora AW20-F02H-B prikazane su u [Tablica 3].

**Tablica 3. Tehničke specifikacije filter regulatora AW20-F02H-B**

Radni medij	Zrak
Veličina priključka	1/8 1/4
Temperaturno radno područje	-5 do 60 °C (bez zamrzavanja)
Dopušteni unutarnji tlak	1.5 [MPa]

Maksimalni radni tlak	1.0 [MPa]
Podesivi raspon tlaka	0.05 do 0.85 [MPa]
Nominalni stupanj filtracije	5 [ $\mu\text{m}$ ]
Kapacitet odvoda	8 [ $\text{cm}^3$ ]
Materijal zdjele	Polikarbonat
Masa	0.2 [kg]

#### 4.2.4. Ručni razvodnik VHS20-F02B

Ručni razvodnik VHS20-F02B je sigurnosni ventil koji služi za prekid dotoka zraka sustavu ukoliko tlak poraste iznad željene vrijednosti ili se dogodi nekakav problem u sustavu. VHS20-F02B je ventil za ograničavanje tlaka s 3 priključka i jednostrukim djelovanjem. Manualnim zakretom ručke sprječavamo daljni protok zraka. Serija VHS pruža prikladan način za izolaciju stlačenog zraka u pneumatskom sustavu i ispuštanje nizvodnog tlaka zbog mjera održavanja. Smjer protoka zraka lako se prepoznaje pomoću ručke i oznake.



**Slika 42. Ručni razvodnik VHS20-F02B**

Osnovne karakteristike ručnog razvodnika VHS20-F02B su:

- VHS – vrsta serijske proizvodnje
- F – vrsta navoja
- 02 – veličina priključka
- B – materijal ručke/poklopca

Tehničke specifikacije ručnog razvodnika VHS20-F02B prikazane su u [Tablica 4].



**Tablica 4. Tehničke specifikacije ručnog razvodnica VHS20-F02B**

Radni medij	Zrak
Radno temperaturno područje	-5 do 60 °C (bez zamrzavanja)
Dopušteni unutarnji tlak	1.5 [MPa]
Dopušteni radni tlak	0.1 do 1 [MPa]
Kut zakretanja ručke	90°
Težina ručke/poklopca od aluminijske	92 [g]
Veličina priključka	1/4 do 1/8
Protok	8270 [l/min]

#### 4.2.5. Manometar K8-10-40

Manometar K8-10-40 je mjerni instrument za mjerenje tlaka plinova, para ili tekućina. U ovom radu koristit će se za mjerenje tlaka zraka u pneumatskom sustavu. Ugrađen je na filter regulator kako bi se mogao regulirati tlak zraka u sustavu doveden komponentama za ostvarenje željenih gibanja. Tako bi se omogućili sigurni pokreti koji neće naštetiti pacijentu.



**Slika 43. Manometar K8-10-40**

Osnovne karakteristike manometra K8-10-40 su:

- K – vrsta serijske proizvodnje
- 8 – vrsta priključka (G1/8)
- 10 – raspon tlaka kojeg je moguće mjeriti 0 – 1.0 [MPa]

- 40 –promjer prikaza Ø40 [mm]

#### 4.2.6. Elektromagnetski ventil SY5320-5DZ-C6F-Q

Ventil je zaporni uređaj koji otvara i zatvara protok kapljevine, plina ili pare. U ovom radu kao upravljačka jedinica za pogon pneumatskog sustava korišten je 5/3 elektromagnetski ventil, 5-smjerni ventil s 3 položaja. Elektromagnetski ventil je elektromehaničko – upravljani ventil, može se razlikovati po karakteristikama električne struje koju koriste, jačini magnetskog polja koje generiraju, mehanizmu koji koriste za regulaciju fluida te karakteristikama fluida koji kontroliraju. Elektromagnetski ventili su upravljačke jedinice koje u trenutku kad im se dovede napon propuštaju protok fluida, a kad napona nema isključuju protok fluida. Aktuator je u obliku elektromagneta. Kada je pod naponom, kada primi električni signal, kroz njega proteče struja te se na zavojnici stvori magnetsko polje koje povlači klip ili zakretnu armaturu protiv djelovanja opruge te mijenja položaj na ventilu.



**Slika 44. Elektromagnetski ventil SY5320-5DZ-C6F-Q**

Osnovne karakteristike elektromagnetskog ventila SY5320-5DZ-C6F-Q su:

- SY – vrsta serijske proizvodnje
- 5 – SY5000 serija
- 3 – vrsta aktivacije (3 pozicije; zatvoreni centar)

- 20 – vrsta priključka (integrirani priključak za tijelo)
- 5 – napon (24VDC)
- D – DIN terminal (s konektorom)
- Z – prigušivač udarnog napona
- C6 – veličina priključka (Ø6 priključak za tijelo)
- F – vrsta navoja
- Q – označeno CE

Tehničke specifikacije elektromagnetskog ventila SY5320-5DZ-C6F-Q prikazane su u [Tablica 5].

**Tablica 5. Tehničke specifikacije elektromagnetskog ventila SY5320-5DZ-C6F-Q**

Radni medij	Zrak
Raspon unutarnjeg upravljačkog radnog tlaka	0.2 – 0.7 [MPa]
Raspon vanjskog upravljačkog radnog tlaka	0.25 – 0.7 [MPa]
Radno temperaturno područje	-10 do 50°C (bez zamrzavanja)
Maksimalna radna frekvencija	3 [Hz]
Podmazivanje	Nije potrebno
Otpornost na udarce/vibracije	150/30 [m/s <sup>2</sup> ]
Kućište	Otporno na prašinu

#### **4.2.7. Kompresor HBM 1 PK Professional**

Kompresor je stroj ili uređaj za stlačivanje plina ili pare. To je pneumatski stroj koji služi za pretvorbu mehaničke energije u energiju stlačenog zraka koji se koristi za pogon cijelog sustava.



**Slika 45. Kompresor HBM 1PK Professional**

Tehničke specifikacije kompresora HBM 1 PK Professional su prikazane u [Tablica 6].

**Tablica 6. Tehničke specifikacije kompresora HBM 1 PK Professional**

Jačina zvuka	60 [dB]
Spremnik	1 – 6 [ l ]
Brzina	1400 [ o/min]
Protok zraka	120 [ l/min]
Snaga	1 [KS]
Maksimalni tlak u sustavu	8 [bar]
Težina	22 [kg]

#### **4.2.8. Prigušno nepovratni ventil AS2201F-02-06SA**

Prigušno nepovratni ventil se sastoji od dva dijela, prigušni dio prigušivanjem utječe na protok zraka u sustavu, a nepovratni dio dozvoljava protok fluida samo u jednom smjeru uz minimalno mogući pad tlaka u sustavu. Korištenjem SMC-ovog prigušno nepovratnog ventila, s blokirajućim zakretnim gumbom, omogućuje se za podešavanje brzine gibanja cilindra uz minimalan pad tlaka.

Pogodnosti koje pružaju SMC-ovi prigušno nepovratni ventili su:

- Kotačić sa zaključavanjem kojim se podešava protok zraka te samim time brzina gibanja cilindra
- Jednostavna montaža
- Brzorastavni priključak



**Slika 46. Prigušno nepovratni ventil AS2201F-02-06SA**

Osnovne karakteristike prigušno nepovratnog ventila AS2201F-02-06SA su:

- AS – serijska proizvodnja
- 2 – 1/4 veličina tijela
- 2 – vrsta priključka, kutna
- 0 – kontrolni dio, "meter out"
- 1F – dio serijske proizvodnje
- 02 – 1/4 veličina priključka
- 06 – primjenjivo spajanje cijevi, Ø6
- S – mogućnost pričvršćivanja, s brtvilom
- A – vrsta zaključavanja na pritisak

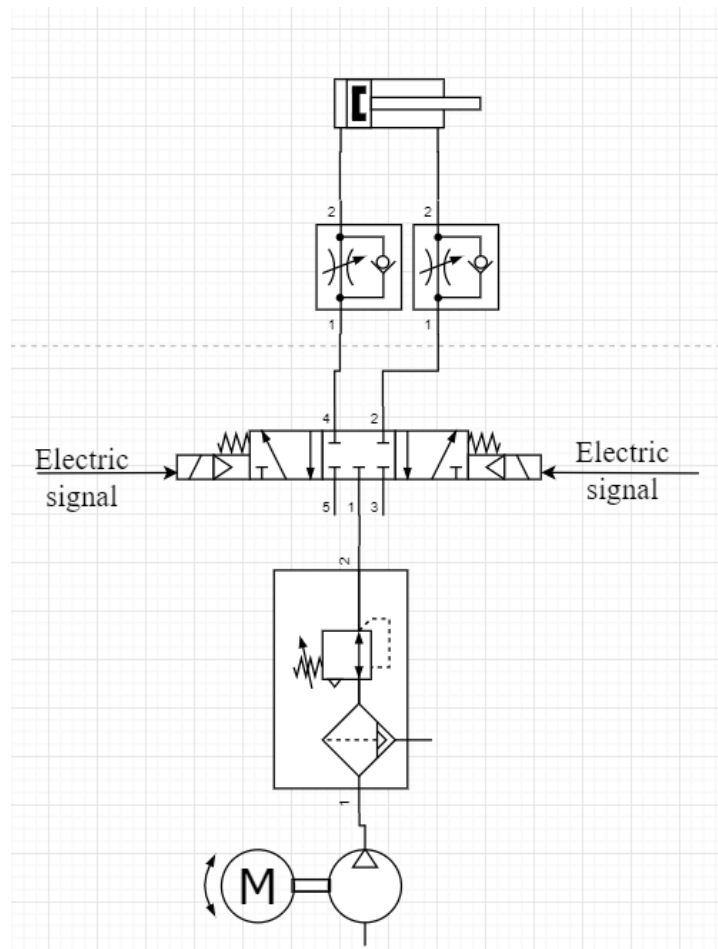
Tehničke specifikacije prigušno nepovratnog ventila AS2201F-02-06SA su prikazane u [Tablica 7].

**Tablica 7. Tehničke specifikacije prigušno nepovratnog ventila AS2201F-02-06SA**

Radni medij	Zrak
Dopušteni unutarnji tlak	1.5 [MPa]
Maksimalno dopušteni radni tlak	1 [MPa]
Minimalno dopušteni radni tlak	0.1 [MPa]
Radno temperaturno područje	-5 do 60 °C (bez zamrzavanja)
Veličina priključka	1/4

### 4.3. Pneumatska shema sustava

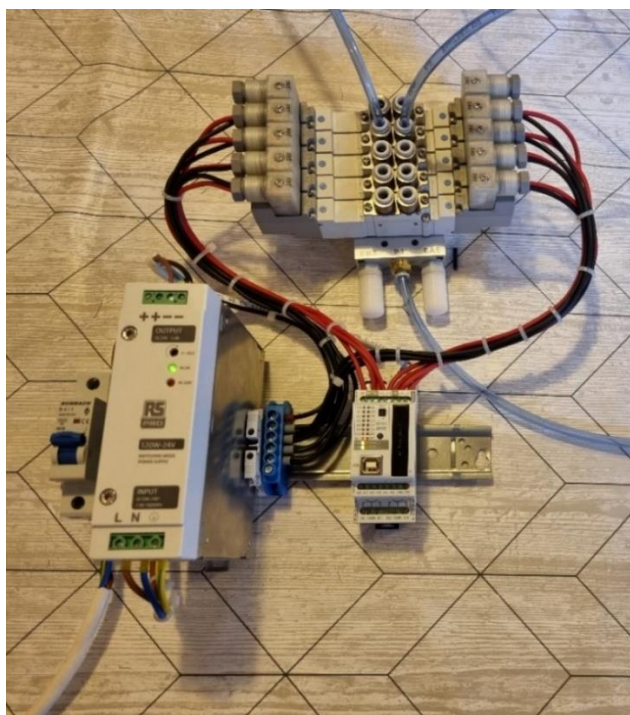
Projektirani pneumatski sustav puni se zrakom do tlaka 10 bara iz kompresora. Vodovima je direktno spojen kompresor s posebnom cjelinom koja se sastoji od ručnog razvodnika te filter regulatora tlaka s manometrom koji ograničava tlak u sustavu na radni tlak cilindra. Ručni razvodnik postavljen je kako bi se mogao manualno prekinuti rad sustava i dotok zraka te kako bi se zaštitile komponente ukoliko bi došlo do određenih smetnji i problema unutar sustava, samim time povećana je i pacijenotva sigurnost. Filter regulator tlaka se pomoću vodova direktno spaja na ventilski blok i priključnu ploču s pet elektromagnetskih ventila. Ventilskim blokom upravlja se preko serijske komunikacije s upravljačkim uređajem Controllino Mini koji u svojoj memoriji sadrži upravljački kod. U trenutku kada se dobije električni signal s upravljačkog uređaja, dolazi do pomicanja položaja na elektromagnetskom ventilu te propuštanja zraka. Uključivanjem pojedinog ventila zrak se preko prigušnog ventila propušta prema pripadajućem cilindru. Korištenjem prigušno nepovratnog ventila na cilindrima omogućeno je ostvarenje brzine gibanja cilindra na željenu vrijednost.



Slika 47. Pneumatska shema za jedan aktuator sustava

## 5. UPRAVLJAČKI SUSTAV

Upravljački sustav pomoću kojeg se ostvaruju naredbe te šalju signali za gibanja aktuatora napravljen je od elektroničkih komponenti. Sustav se programira preko USB komunikacije s računalom, korišten je USB-B kabel pomoću kojeg se programski kod šalje na korišteni upravljački uređaj Controllino Mini te ga sprema u vlastitu memoriju. Za programiranje potreban je softverski paket Arduino s kojim se zadaju naredbe sustavu. Ispravan rad upravljačkog uređaja omogućen je dovođenjem napajanja. Odabrano napajanje je RS PRO napajanje uz kojeg je stavljen SCHRACK automatski prekidač koji nam služi za prekidanje napajanja instalacije u slučaju preopterećenja i samim time štiti ostalu opremu u strujnom krugu iza sebe. Na izvor napajanja spojen je upravljački uređaj Controllino Mini pomoću kojeg upravljamo elektromagnetskim ventilima. Controllino na početku inicijalizira sve potrebne varijable, zatim se potrebnim pinovima dodjeljuje svojstvo ulaznih ili izlaznih pinova. Kada se pokrene program, upravljački kod se sprema na Controllino i tada ulazi u beskonačnu petlju u kojoj pregledava vrijednosti varijabli i izvršava radnje. Slanjem električnog signala nakon izvršavanja programa, upravlja se s položajima elektromagnetskog ventila te gibanja aktuatora [11]. Električni davači signala šalju podatke o položaju klipa cilindra te omogućuju podešavanje hoda cilindra. Korištenjem mikroprekidača omogućena je aktivacija pokretanja i aktivacija spuštanja invalidskih kolica.



Slika 48. Upravljački sustav



## 5.1. Elektroničke komponente

U ovom radu koristit će se elektroničke komponente zbog toga što one omogućuju velike brzine akcije, automatizaciju cjelokupnog sustava te regulaciju pokreta. U nastavku će biti prikazane sve elektroničke komponente koje su korištene.

### 5.1.1. Upravljački uređaj Controllino Mini

Controllino je industrijski PLC uređaj sa softverom koji je u potpunosti kompatibilan s Arduinoom. PLC je industrijsko računalo koje se sastoji od memorije, procesora, ulaza i izlaza. Najviše se koristi kao osnovni dio upravljačkih automatskih sustava u industriji. Osnova Controllino Mini PLC-a je ATMEGA328P mikrokontroler koji je ugrađen u uređaj. ATMEGA328P je integrirani čip pomoću kojeg se upravlja uređajima i procesima, pohranjuje te izvršava program. Ima 8 ulaza, 8 izlaza i 6 releja. Koristi TTL (Transistor-Transistor Logic) serijsku komunikaciju, također koristi  $I^2C$  sinkronu, višekontrolersku, serijsku komunikaciju, sabirnicu te za slanje podataka koristi se SPI sučelje. Zbog toga što Controllino Mini ima već ugrađene releje nije potrebna njihova dodatna ugradnja kao kad se koristi samo mikrokontroler.

[12]



Slika 49. Upravljački uređaj Controllino Mini

Tehničke specifikacije PLC uređaja Controllino Mini su prikazane u [Tablica 8].

**Tablica 8. Tehničke specifikacije Controllino Mini**

Radno temperaturno područje	5°C - 55°C
Napon napajanja	12 V ili 24 V
USB (za programiranje)	USB – B, 2.0
Ulazi	
Bez galvanske izolacije	8
Analog/Digital	4
Fiksni digitalni	2
Fiksni analogni	2
Izlazi	
Bez galvanske izolacije	8
Logička 0	0 V – 1,5 V
Logička 1	3 V – 5,5 V
Broj pinova	26

### 5.1.2. Napajanje RS PRO

Napajanje je električni uređaj koji električnom energijom opskrbljuje električnu instalaciju. Glavna svrha napajanja je pretvaranje električne struje iz izvora u traženi napon, struju i frekvenciju za napajanje instalacije. Zbog toga se izvori napajanja ponekad nazivaju pretvarači električne energije. Svi izvori napajanja imaju ulazni priključak za napajanje te jedan ili više izlaza za napajanje, ulaz i izlaz su obično žičani sklopovi. Korišteno napajanje je RS PRO napajanje s kojim se napaja Controllino Mini, a koji upravlja elektromagnetskim ventilima. Ventil je maleni potrošač električne energije. Rad se obavlja sve dok izvor napajanja u potpunosti ne izgubi napon te isključi PLC. [13]



Slika 50. Napajanje RS PRO

Tehničke specifikacije RS PRO napajanja prikazane su u [Tablica 9].

Tablica 9. Tehničke specifikacije RS PRO napajanja

Radno temperaturno područje	-25°C do 70°C
Ulazni napon	230V AC
Izlazni napon	24V DC
Ulazna struja	1.3 A
Izlazna struja	5 A
Izlazna snaga	120 W
Udarni napon	2 kV
Hlađenje	Slobodna konvekcija zraka

### 5.1.3. Automatski prekidač proizvođača SCHRACK

Automatski prekidač ili osigurač je električni sigurnosni uređaj konstruiran za zaštitu električnog kruga od oštećenja uzrokovanih prekomjernom strujom ili kratkim spojem. Njegova osnovna funkcija je prekid protoka struje radi zaštite opreme i sprječavanja opasnosti od požara. Ugrađen je uz napajanje te nam daje potrebnu sigurnost električne instalacije i ostalih komponenti. Pomoću njega se može manualno uključivati i isključivati protok struje. [14]



**Slika 51. SCHRACK automatski prekidač**

Tehničke specifikacije SCHRACK automatskog prekidača prikazane su u [Tablica 10].

**Tablica 10. Tehničke specifikacije SCHRACK automatskog prekidača**

Nazivni napon (AC)	230/400 – 240/415 V
Nazivna frekvencija (AC)	50/60 Hz
Nazivna struja	1 – 63 A
Prekidna struja	10 kA
Razina ograničenja energije	3

#### **5.1.4. Električni davač signala D-Y7PL**

Električni davač signala je elektronički sklopni uređaj koji se uključuje ili isključuje kada se vanjski napon (AC ili DC) primjeni preko njegovih upravljačkih terminala. Odabrani električni davač signala služi za detekciju magneta koji se nalazi na klipu cilindra te nam tako omogućuje praćenje položaja cilindra, kada zasvijetli crvena dioda znamo da je klip došao u točno određeni položaj.



Slika 52. Električni davač signala D-Y7PL

Tehničke specifikacije električnog davača signala D-Y7PL prikazane su u [Tablica 11].

**Tablica 11. Tehničke specifikacije električnog davača signala D-Y7PL**

Ožičenje	3 žice
Izlaz	PNP
Korištenje	PLC/Relej
Napon napajanja	5/12/24 V DC
Iskoristivost struje	$\leq 10 \text{ mA}$
Struja opterećenja	$\leq 80 \text{ mA}$
Indikacijsko svjetlo	Uključeno: Kad crvena dioda svijetli

#### 5.1.5. Mikroprekidač R1710R

Mikroprekidač je električni pretvarač koji se aktivira veoma malom fizičkom silom, korištenjem mehanizma prevrtanja, koji se naziva i "over – center" mehanizam. Mikroprekidač je u ovom projektu korišten kako bi detektirao početnu poziciju, kada pacijent sjedne na kolica da dođe do njegovog podizanja do bolničkog kreveta te kad se otpusti gumb na mikroprekidaču da nakon određenog vremena odabranog zbog sigurnosti dođe do vraćanja invalidskih kolica u početni položaj.



**Slika 53. Mikroprekidač R1710R**

Za povezivanje mikroprekidača s Controllino Mini upravljačkim uređajem bilo je potrebno zalemiti žice.



**Slika 54. Žica i prekidač spojeni lemom**

## 6. OPIS RADA SUSTAVA

Izrađena invalidska kolica služe za transfer pacijenta s kolica na radnu visinu bolničkog kreveta. Transfer pacijenta sastoji se od podizanja na radnu visinu, krajnju poziciju [Slika 55], premještanje pacijenta na bolnički krevet te spuštanja kolica u početnu poziciju [Slika 54]. Kada smjestimo pacijenta na invalidska kolica, prvo treba noge "zaključati", koristeći remen, kako bi bile osigurane od neželjenih pokreta i kako bi osigurali pacijenta. Nakon toga slijedi podizanje u ležeći položaj, paralelno s bolničkim krevetom na istu radnu visinu. Radna visina bolničkog kreveta je 75 do 95 [cm]. Izrađena invalidska kolica u krajnjoj poziciji, kada je klipnjača pneumatskog cilindra MGPM50-250 u potpunosti izvučena, radna visina je 95 [cm]. Teleskopskom šipkom za podešavanje visine omogućeno je podešavanje u iznosu od 20 [cm], čime se je ostvarena mogućnost podešavanja visine od 75 do 95 [cm]. Podešavanjem teleskopske šipke također možemo i podešavati nagib naslona te prilagoditi ga nagibu bolničkog kreveta. Nakon što je ostvaren transfer pacijenta na bolnički krevet invalidska kolica vraćaju se u početnu poziciju. Za podizanje nogu koriste se dva paralelno postavljena, iste udaljenosti od centra naslona za noge, pneumatska cilindra CP96SDB32 – 200C. Sustavom se upravlja zadavanjem naredbi preko upravljačkog uređaja Controllino Mini. Upravlja se elektromagnetskim ventilima koji kontroliraju pokrete cilindra.

Izradom ovog sustava invalidskih kolica medicinskom osoblju olakšan je posao transfera pacijenata, ali su i dalje potrebni kako bi pacijenta premjestili iz krajnje pozicije na invalidskim kolicima na bolnički krevet te ručno podešavali radnu visinu invalidskih kolica na radnu visinu bolničkog kreveta.



**Slika 55. Početna pozicija invalidskih kolica**





**Slika 56. Krajnja pozicija invalidskih kolica**

## 7. ZAKLJUČAK

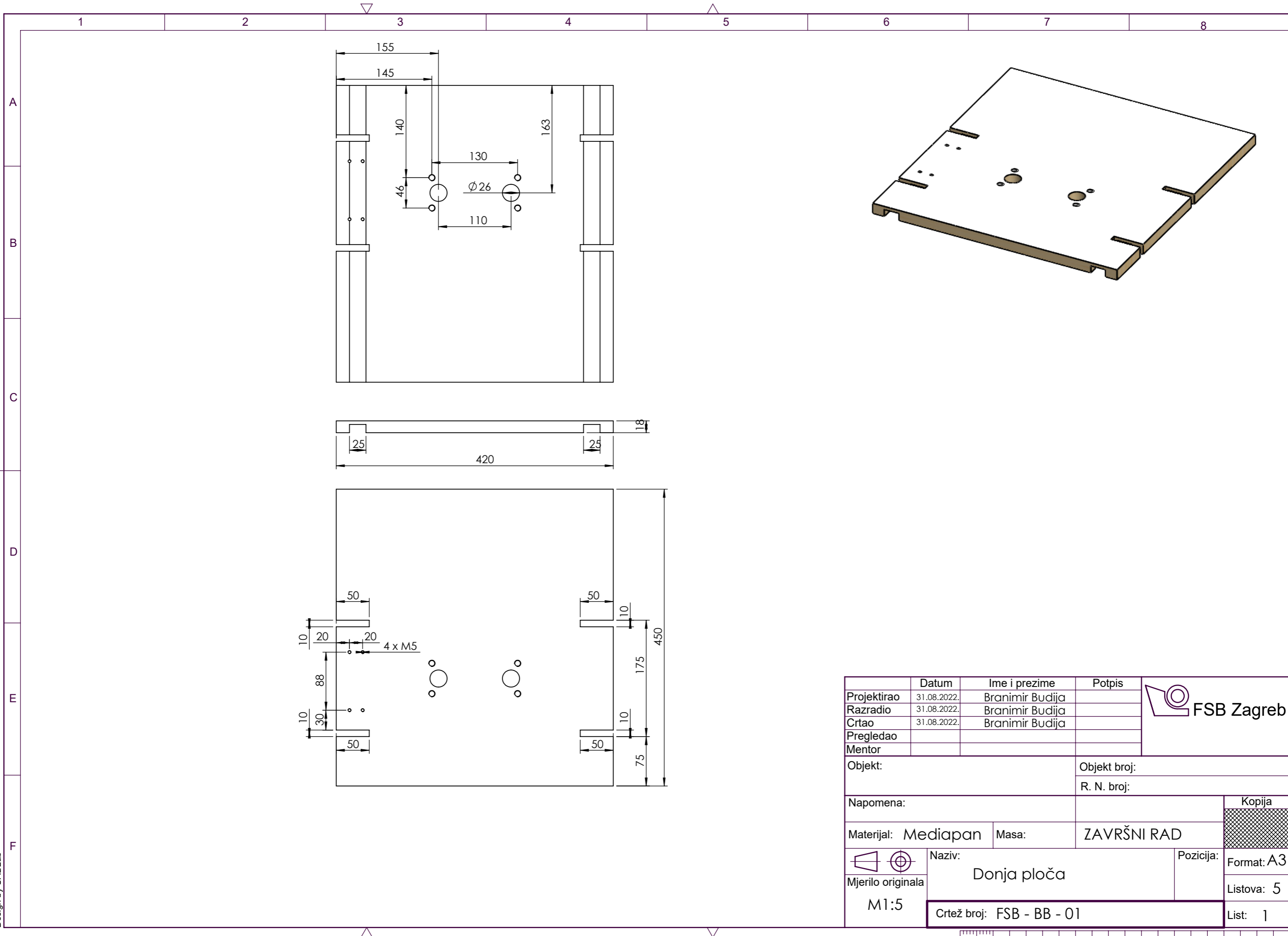
Prilikom izrade ovog završnog rada bilo je potrebno koristiti raznolika znanja te vještine stečene tijekom studija na Fakultetu strojarstva i brodogradnje. Ponajviše su primjenjena znanja iz konstruiranja i modeliranja te znanja iz elektronike. Usporedbom prvobitne ideje te krajnje izrađene konstrukcije možemo zaključiti kako su prilikom izrade sustava nove ideje pristizale te novi problemi koji su trebali biti riješeni. Tu sam shvatio da se svi problemi moraju riješavati postupno. Također, prilikom svake pogreške napravljene tijekom projektiranja i izrade sustava nešto novo se naučilo. Izrađena invalidska kolica olakšala bi medicinskom osoblju podizanje i spuštanje pacijenata s kolica na krevet i obrnuto. Podizanje pacijenata te omogućavanje ležećeg položaja, paralelno s bolničkim krevetom, koristeći pneumatske cilindre uz omogućeno podešavanje visine s obzirom na radnu visinu bolničkog kreveta riješio se problem te je posao medicinskom osoblju olakšan. Pneumatski pogon sustava je ekološki najprihvatljiviji izbor. Njegova kombinacija s elektroničkim upravljačkim sustavom s kojom čini jedinstvenu cjelinu je iznimno zanimljiva te korisna u praksi. Shvatio sam moć koju stlačeni zrak posjeduje te naučio koristiti sve njegove prednosti kombinirane s elektroničkim upravljanjem. Budući planovi za izrađeni sustav su prvobitno temeljeni na povećanju autonomije ugradnjom elektromotora čime bi bilo omogućeno pacijentu da upravlja kolicima, ugradnja bluetooth modula HC-05 s kojim bi se omogućilo povezivanje te upravljanje kolicima preko mobitela ili kompjutera. Također, kad bi bilo omogućeno samostalno kretanje, koristilo bi se napajanje preko baterije, kompresor bi se ugradio na donju ploču kao i spremnik za zrak. Ovim radom pokazalo se da se može izraditi siguran, stabilan i koristan projekt, pneumatski pogonjen, za medicinske svrhe koji bi omogućavao ljudima sa poteškoćama lakši život. Izradom ovog projekta dodatno sam poboljšao znanja stečena na fakultetu, probudio znatiželju za stvaranjem te ostvarivanjem ideja.

## LITERATURA

- [1] Šitum, Ž., Petrić, J. : Pneumatika i Hidraulika, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [2] \*<https://www.ispatguru.com/basics-of-pneumatics-and-pneumatic-systems/>, pristupljeno 25.07.2022.
- [3] \*<https://youtu.be/3xdLVnjE3Qw> , pristupljeno 29.07.2022.
- [4] \* [https://youtu.be/s6\\_azdBnAIU](https://youtu.be/s6_azdBnAIU) , pristupljeno 29.07.2022.
- [5] \*[https://www.academia.edu/6879043/PRIMJERI\\_APLIKACIJE\\_SERVISNIH\\_ROBOTA\\_I\\_ROBOTIZIRANIH\\_SUSTAVA\\_U\\_MEDICINI\\_pass\\_automatiz](https://www.academia.edu/6879043/PRIMJERI_APLIKACIJE_SERVISNIH_ROBOTA_I_ROBOTIZIRANIH_SUSTAVA_U_MEDICINI_pass_automatiz), pristupljeno 01.08.2022.
- [6] \*<https://hr.yevgenykafelnikov.com/how-safely-transfer-patient> , pristupljeno 01.08.2022.
- [7] \*<https://www.youtube.com/watch?v=MI1CMip07tA>, pristupljeno 01.08.2022.
- [8] Jalšovec, D. : Sustavna i topografska anatomija čovjeka, Školska knjiga, Zagreb, 2005.
- [9] Industrijska pneumatika, <https://www.mag-commerce.com/zastupnistva/industrijska-pneumatika/> , pristupljeno 04.08.2022.
- [10] Katalog pneumatskih proizvoda tvrtke SMC, <https://www.smc.eu/hr-hr> , pristupljeno 10.08.2022.
- [11] \*<https://bc-robotics.com/tutorials/controlling-a-solenoid-valve-with-arduino/>, pristupljeno 12.08.2022.
- [12] \*<https://www.controllino.com/product/controllino-mini/>, pristupljeno 14.08.2022.
- [13] \*<https://my.rs-online.com/web/p/din-rail-power-supplies/1368319>, pristupljeno 14.08.2022.
- [14] \*<https://www.schrack.com/shop/miniature-circuit-breaker-mcb-dc-c16-1-10ka-bm015116.html>, pristupljeno 15.08.2022.
- [15] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [16] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.

## **PRILOZI**

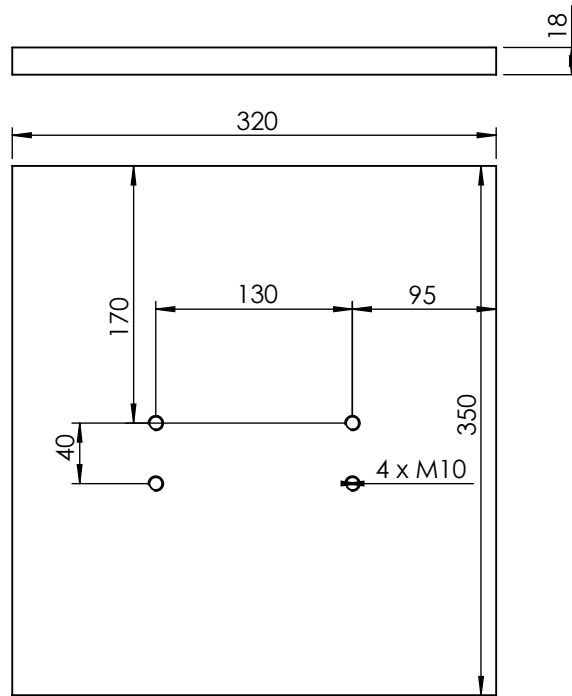
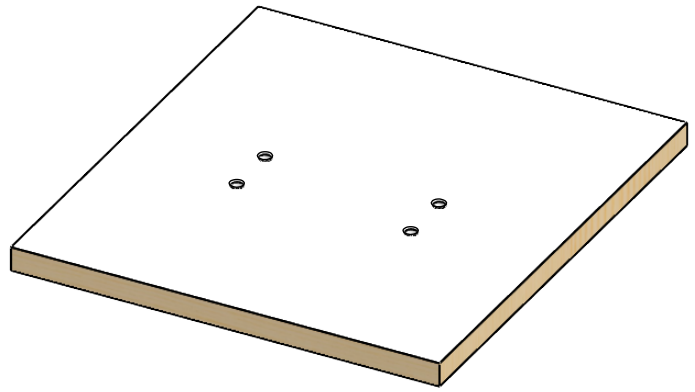
- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija
- III. Controllino Mini kod



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	31.08.2022.	Branimir Budija		
Razradio	31.08.2022.	Branimir Budija		
Crtao	31.08.2022.	Branimir Budija		
Pregledao				
Mentor				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal: Mediapan		Masa:	ZAVRŠNI RAD	
Mjerilo originala M1:5		Naziv: Donja ploča		
		Pozicija:		Listova: 5
Crtež broj: FSB - BB - 01			List: 1	

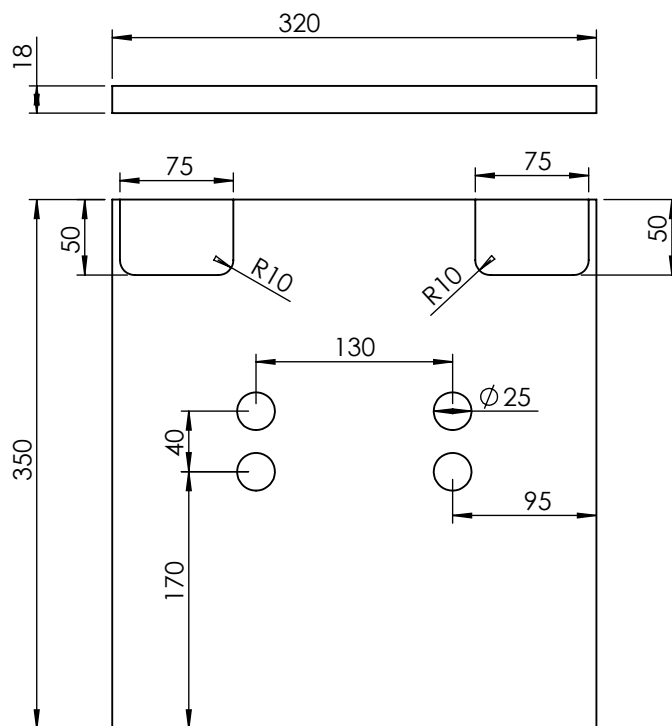
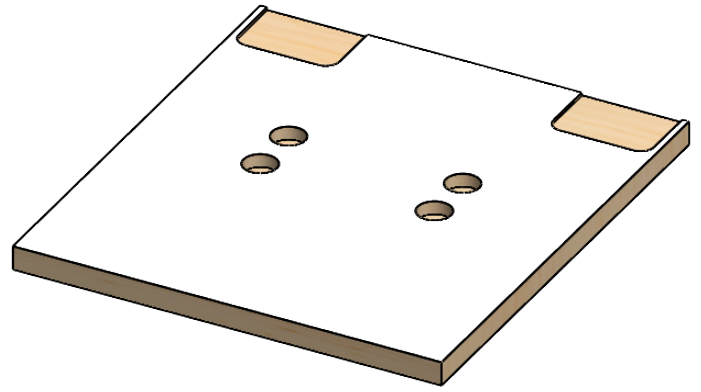
Design by CADLab





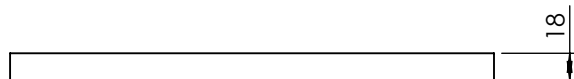
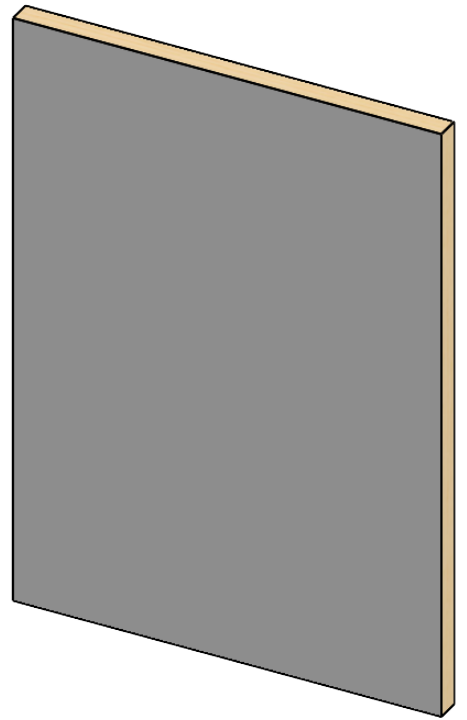
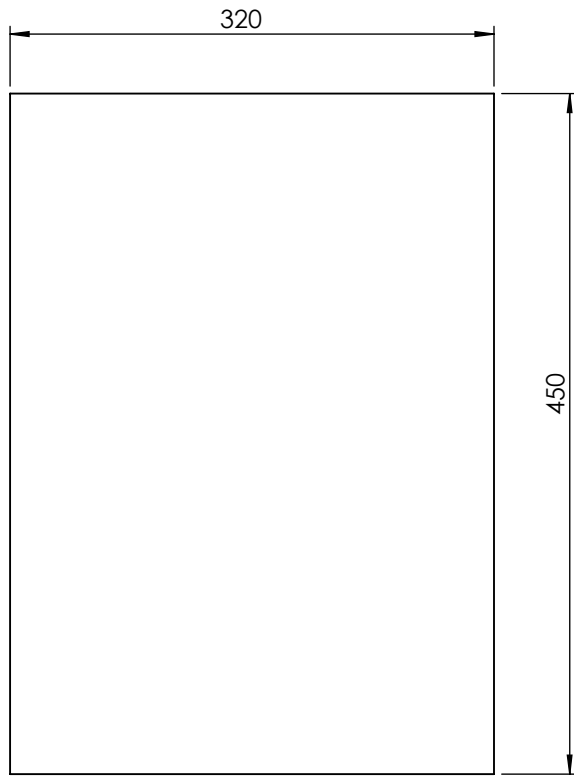
	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	31.08.2022.	Branimir Budija		
Razradio	31.08.2022.	Branimir Budija		
Crtao	31.08.2022.	Branimir Budija		
Pregledao				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal: Mediapan		Masa:	ZAVRŠNI RAD	
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
Mjerilo originala	Spojna ploča sjedišta			Listova: 5
M1:5	Crtež broj: FSB - BB - 02			List: 2


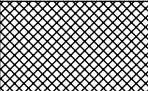
Design by CADLab



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	31.08.2022.	Branimir Budija		
Razradio	31.08.2022.	Branimir Budija		
Crtao	31.08.2022.	Branimir Budija		
Pregledao				
Objekt:		Objekt broj:		Kopija
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal: Mediapan	Masa:	ZAVRŠNI RAD		
 Mjerilo originala M1:5	Naziv: Gornja ploča sjedišta		Pozicija:	Format: A4
	Crtež broj: FSB - BB - 03			
				List: 3

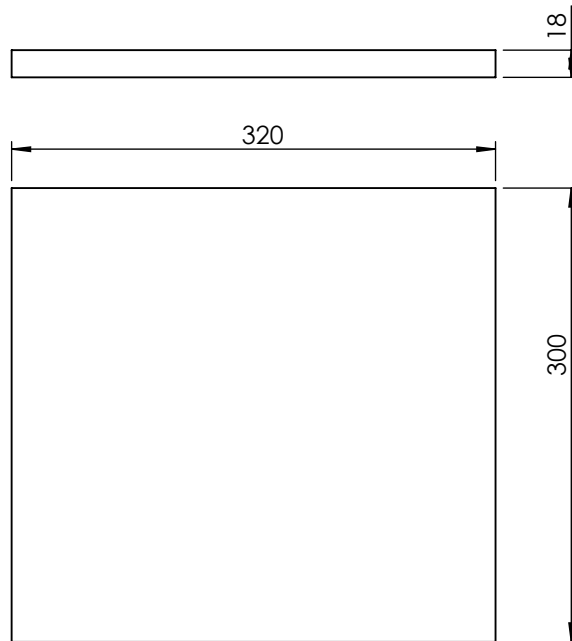
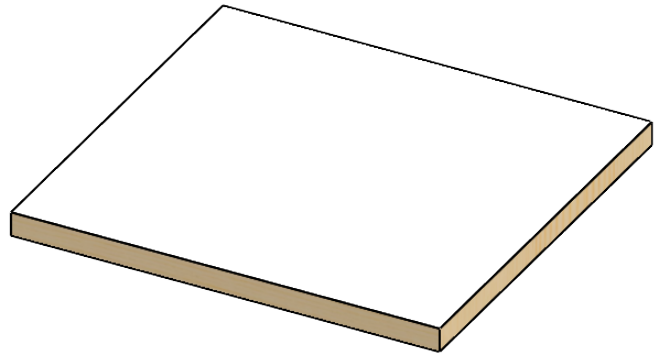
Design by CADLab



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>
Projektirao	31.08.2022.	Branimir Budija		
Razradio	31.08.2022.	Branimir Budija		
Crtao	31.08.2022.	Branimir Budija		
Pregledao				
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:				Kopija
				
Materijal: Mediapan		Masa:	ZAVRŠNI RAD	
 Mjerilo originala M1:5	Naziv: <b>Naslon</b>		Pozicija:	Format: A4
				Listova: 5
			Crtež broj: FSB - BB - 04	List: 4

Design by CADLab





	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b>
Projektirao	31.08.2022.	Branimir Budija		
Razradio	31.08.2022.	Branimir Budija		
Crtao	31.08.2022.	Branimir Budija		
Pregledao				
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:				Kopija
Materijal: Mediapan		Masa:	ZAVRŠNI RAD	
 Mjerilo originala M1:5	Naziv: Naslon za noge		Pozicija:	
	Crtež broj: FSB - BB - 05		Format: A4	
			Listova: 5	
			List: 5	

Design by CADLab

```

#include <SPI.h>
#include <Controllino.h>

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

  pinMode(CONTROLLINO_D1 , OUTPUT);
  pinMode(CONTROLLINO_D2 , OUTPUT);
  pinMode(CONTROLLINO_D3 , OUTPUT);
  pinMode(CONTROLLINO_D5, OUTPUT);
  pinMode(CONTROLLINO_D6, OUTPUT);
  pinMode(CONTROLLINO_D7, OUTPUT);
  pinMode(CONTROLLINO_A0 , INPUT);
  pinMode(CONTROLLINO_A1 , INPUT);

  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  int MP = digitalRead(CONTROLLINO_A0); //mikroprekidac, pročitaj u kojem se stanju (1 == HIGH --> pritisnut, 0 == LOW --> nije pritisnut) se nalazi mikroprekidač
  while (MP == 1) { // //dokle god je mikroprekidač pritisnut ispunjavaj sljedeće uvjete
    digitalWrite(CONTROLLINO_D3, HIGH); //Podigni pacijenta s cilindrom za podizanje
    delay(500);
    digitalWrite(CONTROLLINO_D1, HIGH); // aktiviraj prvi cilindar za podizanje nogu
    digitalWrite(CONTROLLINO_D2, HIGH); //aktiviraj drugi cilindar za podizanje nogu
    break;
  }
  while (MP == 0) { //kada je mikroprekidač opet stisnut i vraćen u početni položaj, ispunji sljedeće uvjete
    // delay(2000); //promjeniti na više
    digitalWrite(CONTROLLINO_D3, LOW);
    digitalWrite(CONTROLLINO_D1, LOW);
    digitalWrite(CONTROLLINO_D2, LOW);
    digitalWrite(CONTROLLINO_D7, HIGH); //Spusti pacijenta s cilindrom za podizanje u početnu poziciju
    delay(1000);
    digitalWrite(CONTROLLINO_D5, HIGH); // aktiviraj prvi cilindar za vraćanje podizača nogu u početni položaj
    digitalWrite(CONTROLLINO_D6, HIGH); // aktiviraj drugi cilindar za vraćanje podizača nogu u početni položaj
    delay(4000);
    digitalWrite(CONTROLLINO_D7, LOW);
    digitalWrite(CONTROLLINO_D5, LOW);
    digitalWrite(CONTROLLINO_D6 , LOW);
    break;
  }
}
}

```