

Konstruktivno rješenje naprave za kontrolirano terapijsko i sportsko sinergijsko vježbanje

Benedik, Filip

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:235:474170>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported / Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-20**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Filip Benedik

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Aleksandar Sušić, dipl. ing.

Student:

Filip Benedik

Zagreb, 2021.

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

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Aleksandru Sušiću na pruženoj podršci pri izradi ovog rada, smjernicama i korisnim savjetima te pruženoj pomoći općenito.

Hvala svim kolegama i prijateljima koji su pružili pomoć kad je ona bila potrebna i na uspomenu stvorenima za vrijeme studija.

Na kraju, posebne zahvale upućujem svojim roditeljima, sestri i djevojci na pruženoj podršci tijekom studija, te pogotovo tijekom izrade diplomskog rada.

Filip Benedik



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu | |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: 602 - 04 / 21 - 6 / 1 | |
| Ur.broj: 15 - 1703 - 21 - | |

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Filip Benedik** JMBAG: 0035212973

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Konstrukcijsko rješenje naprave za kontrolirano terapijsko i sportsko sinergijsko vježbanje**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design solution of a device for controlled therapeutic and sports synergistic exercising**

Opis zadatka:

Mjere prevencije ozljeda i unaprjeđenja zdravlja obuhvaćaju i preporuke vježbanja, uz zahtjev skladne funkcionalnosti lokomotornog sustava kao temeljnog kriterija prevencije od lošeg držanja i mogućih ozljeda. Ove preporuke uvjetuju potrebu sinergijskog vježbanja koje zahtijeva složene mišićne među-koordinacije neophodne za biomehanički sklad lokomotornog sustava. Unatoč navedenim prednostima, ovi oblici vježbanja kriju i opasnosti, kojima se ne posvećuje dovoljna pažnja. Razlog je tome što se preporuke o oblicima vježbanja često preuzimaju iz sustava pripreme vrhunskih sportaša, čija je temeljna pripremljenost, obučenost i vještina kretnji znatno drugačija i naprednija od vježbača početnika, rekreativaca i mladih, te velike većine u procesu rehabilitacije ili terapijskih programa.

Cilj rada je izraditi konstrukcijsko rješenje koje omogućava sinergijsko vježbanje uz uvjete primjene koji bi značajno smanjili opasnosti i rizike koji se kriju u ovim oblicima vježbanja.

U radu je potrebno:

- Prikazati biomehaničke izazove složenih - sinergijskih pokreta vježbanja;
- Izvršiti analizu tržišta naprava srodne namjene s kritičkim osvrtom;
- Utvrditi sve uvjete i značajke uspješne i djelotvorne primjene sinergijskog i kontroliranog vježbanja;
- Definirati konstrukcijske zahtjeve, ograničenja i željene značajke naprave i pomoćne opreme;
- Izvršiti konstrukcijsku razradu naprave koja omogućava kontrolirano terapijsko i sportsko sinergijsko vježbanje, vodeći računa o sigurnosti i drugim neophodnim karakteristikama.

Opseg izrade tehničke dokumentacije dogovoriti tijekom izrade rada. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predvideni datumi obrane:

30. rujna 2021.


2. prosinca 2021.

13. – 17. prosinca 2021.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Aleksandar Sušić


Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

| | |
|--|------|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA..... | III |
| POPIS TABLICA | V |
| POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE | VI |
| SAŽETAK..... | VII |
| SUMMARY | VIII |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. BIOMEHANIČKI IZAZOVI SLOŽENIH POKRETA VJEŽBANJA | 2 |
| 3. ANALIZA TRŽIŠTA..... | 11 |
| 3.1. Postojeća rješenja na tržištu..... | 11 |
| 3.1.1. <i>KSport</i> Smith mašina – klasična izvedba..... | 11 |
| 3.1.2. <i>Precor</i> Smith mašina – kosa izvedba..... | 13 |
| 3.1.3. <i>BodyCraft Jones</i> Smith mašina – 3D izvedba..... | 14 |
| 3.1.4. <i>Force USA Versa Smith XL</i> – sklopiva izvedba..... | 15 |
| 3.1.5. <i>Commercial Home Gym Smith Machine</i> – izvedba s protuutegom..... | 16 |
| 3.2. Usporedba uređaja na tržištu..... | 17 |
| 4. PATENTI | 18 |
| 4.1. Patent RU2683762C1 | 18 |
| 4.2. Patent US7909743B1 | 19 |
| 4.3. Patent US7488277B1 | 20 |
| 4.4. Patent US7549950B1 | 21 |
| 5. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA | 22 |
| 5.1. Tehnički upitnik | 22 |
| 5.2. Definicija cilja..... | 24 |
| 5.3. Definiranje zahtjeva | 25 |
| 5.4. Funkcijska struktura | 27 |
| 5.5. Morfološka matrica | 28 |
| 5.6. Generiranje koncepata | 31 |
| 5.6.1. Koncept 1 | 32 |
| 5.6.2. Koncept 2 | 34 |
| 5.6.3. Koncept 3 | 36 |
| 5.6.4. Koncept 4..... | 38 |
| 5.7. Vrednovanje koncepata | 40 |
| 5.8. Razrada koncepta | 41 |
| 5.8.1. Šipka za vježbanje | 47 |
| 5.8.2. Pomoćna šipka..... | 49 |
| 5.8.3. Sustav sajli | 51 |
| 5.8.4. Vertikalna vodilica | 56 |
| 5.8.5. Kotači i donji dio vodilice..... | 58 |
| 5.8.6. Gornji dio vodilice..... | 60 |
| 5.8.7. Sigurnosni mehanizam 1 – kočenje pomaka..... | 63 |

| | |
|--|----|
| 5.8.8. Sigurnosni mehanizam 2 – kočenje rotacije | 67 |
| 5.8.9. Okvir konstrukcije | 72 |
| 5.8.10. Općenito o napravi..... | 74 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 75 |
| LITERATURA | 77 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Prikaz opasne kretnje šipke u prostoru..... | 4 |
| Slika 2. Čučanj..... | 5 |
| Slika 3. Stojeći rameni potisak - gornji položaj..... | 6 |
| Slika 4. Stojeći rameni potisak - međupoložaj..... | 7 |
| Slika 5. Utjecaj antropomjera za vježbače istog percentila..... | 8 |
| Slika 6. Razlika između kuteva segmenata tijela za vježbače različitih antropomjera..... | 9 |
| Slika 7. Opterećenje pojedinih segmenata tijela s obzirom na položaj težišta – primjer čučnja..... | 10 |
| Slika 8. <i>KSport</i> Smith mašina – vertikalne vodilice [1]..... | 11 |
| Slika 9. <i>Precor</i> Smith mašina – kose vodilice [2]..... | 13 |
| Slika 10. <i>BodyCraft Jones Smith</i> mašina – 3D izvedba [3]..... | 14 |
| Slika 11. <i>Force USA Versa Smith XL</i> - sklopiva izvedba [4]..... | 15 |
| Slika 12. <i>Commercial Home Gym Smith Machine</i> - izvedba s protuutegom [5]..... | 16 |
| Slika 13. Patent RU2683762C1 (<i>Smith machine with adjustable angle and rotation ability</i>) [6]..... | 18 |
| Slika 14. Patent US7909743B1 (<i>Dual action weightlifting machine</i>) [7]..... | 19 |
| Slika 15. Patent US7488277B1 (eng. <i>Compact weightlifting frame system</i>) [8]..... | 20 |
| Slika 16. Patent US7549950B1 (<i>Weight bar slide assembly</i>) – izometrija [9]..... | 21 |
| Slika 17. Patent US7549950B1 (<i>Weight bar slide assembly</i>) – ležajevi [9]..... | 21 |
| Slika 18. Funkcijska struktura..... | 27 |
| Slika 19. Koncept 1 - Sklopiva izvedba..... | 32 |
| Slika 20. Koncept 2 – izvedba sa senzorom pritiska..... | 34 |
| Slika 21. Koncept 3 - pneumatska izvedba..... | 36 |
| Slika 22. Koncept 4..... | 38 |
| Slika 23. Određivanje okvirnih dimenzija prema predviđenim vježbama a) iskorak, b) stojeći rameni potisak..... | 42 |
| Slika 24. Antropomjere - referenca za tablicu [10]..... | 43 |
| Slika 25. Antropomjere - vrijednosti [10]..... | 43 |
| Slika 26. Konstrukcijsko rješenje naprave za kontrolirano terapijsko i sportsko sinergijsko vježbanje..... | 45 |
| Slika 27. Šipka za vježbanje - izometrija..... | 47 |
| Slika 28. Izometrijski prikaz spoja rukava (2) i šipke (1)..... | 48 |
| Slika 29. Bočni pogled spoja rukava i šipke..... | 48 |
| Slika 30. Sinterirana brončana čahura, <i>SKF</i> [11]..... | 49 |
| Slika 31. Uskočnik za provrte, DIN 472 [12]..... | 49 |
| Slika 32. Spoj pomožne šipke i glavne šipke a) gornji položaj pomoćne šipke, b) donji položaj pomoćne šipke..... | 50 |
| Slika 33. Spoj pomoćne šipke i polimernog nastavka pomoću uskočnika..... | 51 |
| Slika 34. Uskočnik za osovine, DIN 471 [13]..... | 51 |
| Slika 35. Komponente sajle [14]..... | 52 |
| Slika 36. Sajle - izometrijski pogled..... | 52 |
| Slika 37. Sajle u opuštenom stanju..... | 53 |
| Slika 38. Sajle u aktiviranom stanju..... | 53 |
| Slika 39. Izbor unutarnje čelične užadi [14]..... | 54 |
| Slika 40. Završetak odabrane sajle [14]..... | 55 |
| Slika 41. Vanjski dio sajle [14]..... | 55 |

| | |
|--|----|
| Slika 42. Prilagodbeni vijak za sajlu [15] | 56 |
| Slika 43. Vertikalna vodilica [16]..... | 56 |
| Slika 44. Vertikalna vodilica | 57 |
| Slika 45. Linearni ležaj LKBM25UU [17]..... | 58 |
| Slika 46. Donji dio vertikalne vodilice | 59 |
| Slika 47. EUROKRAFTbasic - poliamidni kotač [18] | 59 |
| Slika 48. Gornji dio vodilice | 60 |
| Slika 49. Montaža i demontaža ležajnog mjesta gornjeg zglobva..... | 61 |
| Slika 50. Montiran gornji zglob..... | 62 |
| Slika 51. Podesivost gornjeg zgloba | 62 |
| Slika 52. Dvoredni kuglični ležaj 4203 ATN9 [19]..... | 63 |
| Slika 53. Klizna čahura od PTFE [11] | 63 |
| Slika 54. Spoj kućišta sigurnosnog mehanizma 1 i čahure s linearnim ležajevima | 64 |
| Slika 55. Dijelovi unutar kućišta | 64 |
| Slika 56. Gornji sigurnosni klin..... | 65 |
| Slika 57. Gornji sigurnosni mehanizam - otkočeno stanje..... | 66 |
| Slika 58. Gornji sigurnosni mehanizam - zakočeno stanje | 66 |
| Slika 59. Donji granični položaj - položaj za demontažu sigurnosnog mehanizma | 67 |
| Slika 60. Donji dio unutrašnjosti vertikalnog stupa..... | 68 |
| Slika 61. Donji zakočnik | 68 |
| Slika 62. Položaj mehanizma valjaka i remena pri opuštenoj sajli..... | 69 |
| Slika 63. Položaj mehanizma valjaka i remena pri napetoj sajli | 69 |
| Slika 64. Donji sigurnosni mehanizam - otkočeno stanje | 70 |
| Slika 65. Donji sigurnosni mehanizam - zakočeno stanje..... | 70 |
| Slika 66. Odabir remena [20] | 71 |
| Slika 67. Podešavanje i izmjena dijelova zahvaljujući demontaži donjeg poklopca..... | 72 |
| Slika 68. Okvir konstrukcije..... | 73 |
| Slika 69. Granični nagibi pokretnog dijela naprave a) maksimalni prednji nagib, b) maksimalni stražnji nagib | 74 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Usporedba uređaja na tržištu..... | 17 |
| Tablica 2. Tehnički upitnik | 22 |
| Tablica 3. Definicija cilja..... | 24 |
| Tablica 4. Funkcionalni i konstrukcijski zahtjevi..... | 25 |
| Tablica 5. Morfološka matrica..... | 28 |
| Tablica 6. Vrednovanje koncepata..... | 40 |
| Tablica 7. Osnovni zahtjevi..... | 44 |
| Tablica 8. Podaci o napravi | 74 |

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

| BROJ CRTEŽA | Naziv iz sastavnice |
|--------------------|---|
| FB-00-00-00 | NAPRAVA ZA KONTROLIRANO TERAPIJSKO I SPORTSKO SINERGIJSKO VJEŽBANJE - Izometrija |
| FB-00-00-01 | NAPRAVA ZA KONTROLIRANO TERAPIJSKO I SPORTSKO SINERGIJSKO VJEŽBANJE |

SAŽETAK

Kako bi se održala funkcionalnost ljudskog lokomotornog sustava i unaprijedilo zdravlje te umanjile šanse za ozljedama, važno je da se ljudi bave tjelovježbom. Postoje mnogi dostupni rekviziti i naprave koji pružaju velik broj mogućih načina vježbanja. Pri osmišljavanju velikog broja naprava često se ne uzimaju u obzir početnici u vježbanju i rekreativci. Upravo su oni skupine kojima je asistencija pri vježbanju najpotrebnija, budući da moraju usvojiti složene pokrete koji uključuju velik broj mišićnih skupina. Ovim radom cilj je ponuditi novo konstrukcijsko rješenje naprave koja pruža kontrolirano terapijsko i sportsko sinergijsko vježbanje. Prepoznata je postojeća sprava na tržištu (Smith mašina) koja jednim dijelom ispunjava navedenu funkciju, te je ona bila polazište pri konstrukcijskoj razradi. Ponuđeno je konstrukcijsko poboljšanje cijele naprave koja omogućava vježbaču izvođenje biomehanički ispravnih pokreta uz velik stupanj sigurnosti pri korištenju. Uz to, velik broj pokreta koji se mogu izvoditi na ovakvoj napravi te njena fleksibilna izvedba dodatno povećavaju njenu vrijednost. Glavni sigurnosni dio sustava čine sajle, opruge i kočni elementi koji, u interakciji s korisnikom, zaustavljaju opterećenje na određenom mjestu naprave te brzo rasterećuju vježbača. Sustav prihvata i pomaka opterećenja u prostoru je osmišljen tako da na najbolji i najprecizniji način prati pokrete vježbača, te da mu pruža asistenciju pri potencijalnim neželjenim pokretima nastalima zbog nepažnje, neiskustva ili drugog razloga. Stoga, ovakva naprava ima potencijal u potpunosti zamijeniti slične naprave za vježbanje jer sadrži većinu njihovih značajki uz znatna poboljšanja. Dakle, glavne prednosti pred postojećim sličnim napravama su: biomehanička pravilnost pokreta, visok stupanj sigurnosti, raznolikost korištenja i fleksibilnost. Budući da unaprijeđena naprava predstavlja jedan novi princip rješenja za napravu za vježbanje, prije nego što bi se išlo u komercijalizaciju potrebno bi bilo testirati njene kritične dijelove te provesti eventualne izmjene i konkretno dimenzioniranje.

Ključne riječi: vježbanje, šipka, sigurnost, konstrukcijsko rješenje, Smith mašina.

SUMMARY

In order to maintain a proper functionality of a human locomotory system, improve health and decrease the chances of an injury, it is important for people to exercise. There is an abundance of gym equipment and machines that allow a wide array of possible workout regimes. In the process of designing a large number of these fitness machines, often times the recreational exercisers and beginners are neglected. They are the population to which the assistance while exercising is the most important, since they have to learn complex body movements that include a large number of muscle groups. This work aims to offer a new design solution of a device that provides controlled therapeutic and sports synergistic exercising. One of the available fitness machines (Smith machine) partially meets said requirements, so that machine was the starting point for new design solutions. A new design solution of the machine that ensures users perform biomechanically correct movements with a high level of safety is given. Besides that, a large number of possible exercises to be performed with this machine alongside machine's flexibility further increase the market value. The main safety part of the system consists of cables, springs and braking elements which, in interaction with the user, stop the weights at the specific location of the machine, thus allowing a quick stoppage of an exercise. The weights assembly is designed so that it can precisely follow the movements of the user, assisting the user and ensuring no unwanted movements due to lack of attention or inexperience can be performed. Therefore, this machine has the potential to completely replace similiar fitness machines because it contains a large number of their features with significant improvements. Accordingly, main advantages in comparison to existing fitness machines are: biomechanically correct movement pattern, easily activated high level safety system, diversity and flexibility of usage. Since the new and improved design solution represents a new principle for this kind of fitness equipment, before the commercialization of this solution, critical parts should be tested and subsequent alterations and part dimensioning should be done.

Key words: exercise, safety, design solution, Smith machine.

1. UVOD

Važnost vježbanja za ljudsko zdravlje poznata je odavno, te se u novije vrijeme vježbanje sve više širi i popularizira u društvu. Samim time javlja se i velik broj raznih rekvizita i naprava koji pružaju različite načine vježbanja s različitim pogodnostima. Velik dio te opreme rekreativcima i novim vježbačima ne donosi pogodnosti koje bi trebao; neki rekviziti mogu čak i dovesti do ozljeda mišićnih i koštanih struktura ljudskog tijela. Stoga je važno poznavati biomehaničku pozadinu pokreta pri vježbanju koji diktiraju način na koji određeni rekvizit ili naprava mora interakcionirati s vježbačem. Jedan od najvažnijih zahtjeva pri vježbanju je sigurnost vježbača, te se upravo na taj aspekt naprava za vježbanje može najviše utjecati. Sigurnost naprave podrazumijeva to da ona ne nosi ni kratkotrajne ni dugotrajne ozljede prilikom korištenja. Određene naprave djelomično sprječavaju kratkotrajne ozljede, no većina njih ne vodi računa o dugotrajnim ozljedama koje mogu nastati isključivo zbog neodgovarajuće biomehanike koju pruža ta naprava. Stoga je za početak u radu obrađena biomehanika pokreta pri vježbanju te izazovi koji se javljaju pri zadovoljenju pravilne biomehanike. Sljedeći korak bio je istražiti tržište i analizirati postojeće naprave koje bi mogle olakšati osmišljavanje novog konstrukcijskog rješenja. Analizom je utvrđeno da postoji takva naprava – Smith mašina. Ipak, ona nosi brojne nepogodnosti po vježbača koje početnicima neće biti vidljive. Uz istraživanje postojećih rješenja, istražena su i patentna rješenja koja bi mogla dati daljnje smjernice pri oblikovanju i konstruiranju nove naprave. Na kraju, izvršena je konstrukcijska razrada koja je dovela do novog konstrukcijskog rješenja koje na bolji način ispunjava zadane zahtjeve i kriterije.

2. BIOMEHANIČKI IZAZOVI SLOŽENIH POKRETA VJEŽBANJA

Kada se priča o složenim – sinergijskim pokretima vježbanja konkretno se misli na vježbe koje uključuju velik broj različitih mišićnih regija, te je u tom slučaju od presudne važnosti za pravilno izvođenje zapravo pravilno i pravovremeno uključenje pojedine mišićne skupine te njihova međusobna uključenost. Čista suprotnost složenim pokretima vježbanja su pokreti izolacije koji, kao što sam naziv kaže, izoliraju pojedinu mišićnu skupinu. U takvim slučajevima najčešće nema uključenosti velikog broja mišićnih skupina. Iako takav režim vježbanja ima svoje prednosti, što se tiče terapijskog i sportskog vježbanja daleko je bolje izvođenje složenih pokreta, budući da oni najviše pridonose oporavku od ozljede, prevenciji ozljede, općenito jačoj muskulaturi i slično. No, prije nego što bi se moglo krenuti u razradu konstrukcijskog rješenja naprave za kontrolirano terapijsko i sportsko vježbanje, potrebno je navesti i razraditi biomehaničku pozadinu iza takve jedne naprave. Samim time se dobiva podloga za kvalitetniju analizu već dostupnih rješenja naprava i razloga njihove (ne)efikasne primjene.

Postoje složeni pokreti vježbanja za čije izvođenje uobičajeno nije potrebno neko dodatno opterećenje koje djeluje na vježbača. S druge strane izvođenje nekih kretnji nema smisla ako nema opterećenja koje vježbač mora savladati. To se opterećenje može utjeloviti u jednom od mnogih rekvizita dostupnih u teretanama i fitness centrima. No, najširu primjenu imaju bučice (eng. *dumbbells*) i šipke (eng. *barbells*). Daljnja biomehanička razmatranja bit će učinjena s obzirom na pokrete koji uključuju šipku jer je stabilizacija lakša sa šipkom nego sa utezima te je nju moguće implementirati na mnogo načina u sustav vježbanja.

Prilikom vježbanja sa šipkom, vježbač može izvoditi gotovo svaki zamisliv pokret svojim tijelom, što može biti i dobro i loše. Vježbanje slobodnim utezima zahtijeva određenu razinu snage, mobilnosti, znanja izvođenja pokreta te spretnosti. Kada vježbač primi šipku, oni tvore jedan sustav koji ima 6 stupnjeva slobode gibanja, odnosno moguće su sve 3 translacije i sve 3 rotacije. Upravo je to najveća prepreka za ljude koji se tek kreću baviti tjelovježbom, rekreativce, ljude kojima je potrebno kontrolirano terapijsko vježbanje, no i za ljude kojima jednostavno treba više vremena da bi usvojili kompleksne pokrete vježbanja.

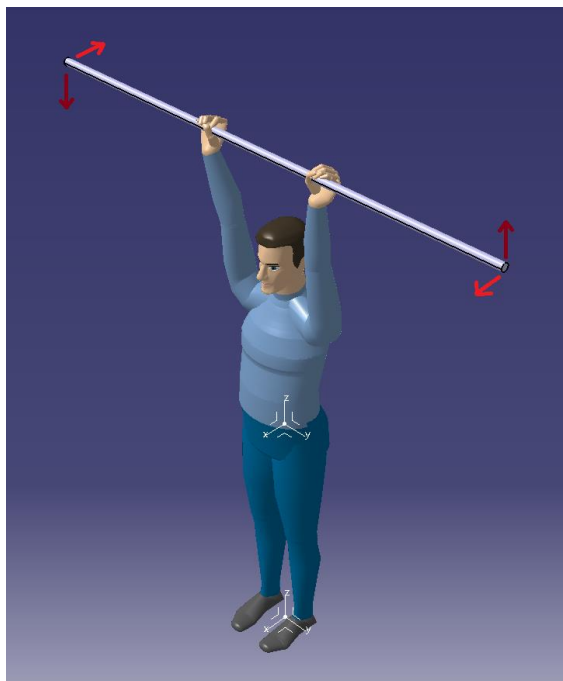
Dakle, pokreti vježbanja sa šipkom odvijaju se u frontalnoj, transverzalnoj i sagitalnoj ravnini. Najviše informacija o putanji šipke i položaju vježbača s obzirom na samu šipku dobiva se iz sagitalne ravnine, odnosno gledano s vježbačeva boka. Promatranjem gibanja šipke vrlo brzo se uočava da šipka nikada ne putuje ravnom linijom kroz prostor, iako se kod nekih vježbi možda tako čini. Što se tiče ograničavanja stupnjeva slobode gibanja s obzirom na kretnju šipke u sagitalnoj ravnini, ne postoje nikakvi zahtjevi. S druge strane, kad se gleda gibanje šipke u frontalnoj i transverzalnoj ravnini, stvar je nešto drugačija. Naime, u tim ravninama se također odvija određeni pomak šipke, no on je „nepoželjan“. Riječ *nepoželjan* stavljena je pod navodnike, budući da se tu javlja kontradikcija, odnosno biomehanički izazov.

Pomaci u tim ravninama su zapravo poželjni, ali kod iskusnih vježbača koji znaju izvoditi pokrete te imaju prilično razvijenu muskulaturu za obavljanje složenih pokreta, posebice trup i stabilizacijske mišiće. Njihov neuromuskulturni sustav već je dovoljno razvijen tako da već podsvjesno znaju gdje im se nalazi određeni dio tijela u prostoru te što trebaju učiniti ukoliko dođe do nemogućnosti obavljanja vježbe ili gubitka kontrole nad utegom. Suprotna stvar se javlja kod početnika, te su kod njih pomaci u tim ravninama nepoželjni, odnosno oni im otežavaju izvođenje ionako izazovnih vježbi. Kako bi se provelo kontrolirano vježbanje, potrebno je vježbačima pružiti okruženje u kojemu se mogu potpuno usredotočiti na pravilnu putanju utega u sagitalnoj ravnini.

Kontradikcija proizlazi iz toga što je ciljanim vježbačima potrebno pružiti maksimalnu aktivaciju mišićnih i stabilizacijskih skupina, ali uz određenu dozu stabilnosti utega u prostoru. Odmah je vidljivo da se ograničavanjem pokreta utega u prostoru narušava neuromuskulturna aktivacija, no isto tako, tim ograničenjem se umanjuju šanse od potencijalne ozljede. Primjerice, kod nekontroliranog zakreta utega oko vertikalne osi vježbačeva tijela dolazi do velikog torzijskog opterećenja koje preuzima trup, te ako on nije dovoljno snažan dolazi do ozljeda leđa. Očito je da će u daljnjoj razradi biti potrebno donijeti određene kompromise.

Slika 1 na sljedećoj stranici prikazuje prethodno navedene opasne kretnje šipke u prostoru, odnosno potencijalnu rotaciju oko osi x i z . Ukoliko muskulatura ne može uravnotežiti uteg javlja se neravnomjerno opterećenje muskulature lijeve i desne strane tijela te samim time i zakret šipke. Rotacija oko osi y ne predstavlja veliki problem, budući da se tom rotacijom ne narušava stabilnost i ravnoteža vježbača. Uz to, vrlo su male šanse

da će vježbač nesvjesno napraviti pokret rotacije šipke oko svoje osi (ponovno os y na Slici 1), dok je s druge strane trenutak nepažnje dovoljan za opasnu rotaciju oko osi x i z .



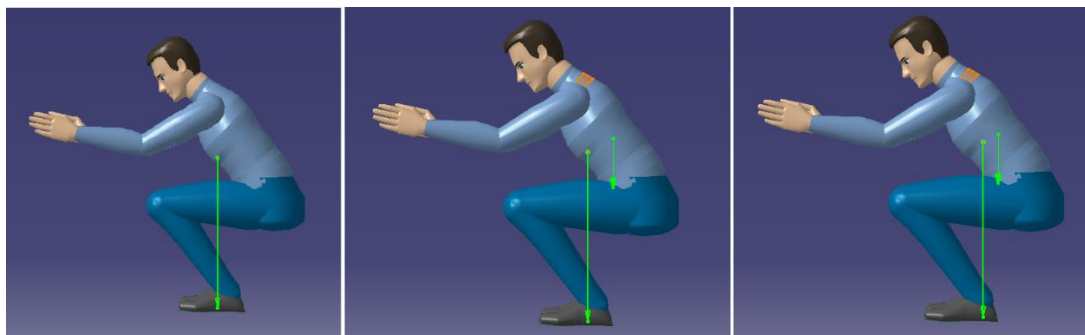
Slika 1. Prikaz opasne kretnje šipke u prostoru

Sljedeća bitna stavka koju treba promotriti je težište vježbača te utjecaj utega na težište vježbača. Jasno je da se težište čovjeka mijenja ovisno o položaju koji zauzme, te će shodno tome i različite mišićne skupine biti opterećene, odnosno rasterećene. Iznos tog opterećenja i rasterećenja možda nije toliko značajan kod svakodnevnih radnji, no kada čovjek vježba s utezima taj iznos se znatno povećava.

Dakle, pri vježbanju s utezima uz težište vježbača bitno je voditi računa i o težištu opterećenja koje on želi savladati. Već je navedeno da putanja utega u sagitalnoj ravnini nikad ne odgovara vertikalnoj liniji, tako da šipka zbog svoje promjenjive putanje u prostoru mijenja i položaj samog težišta sustava vježbača i šipke. Najbitnija stvar koju treba imati na umu je ta da se rezultatno težište sustava mora nalaziti iznad površine oslanjanja vježbača. U nekim dijelovima pokreta šipka se ne nalazi iznad površine oslanjanja vježbača, pa se upravo u tim segmentima javlja otežano izvođenje vježbi, odnosno moguće je da dođe do gubitka stabilnosti vježbača ili ozljede.

Bit će navedeno par primjera u vezi utjecaja utega na težište vježbača. Slika 2 prikazuje težište vježbača pri izvođenju čučnja za tri slučaja; bez opterećenja, s opterećenjem od 20

kg koje djeluje na trup te zadnja slika s opterećenjem od 100 kg koje djeluje na trup. Jednostavno opterećivanje vježbača izvedeno je u programskom paketu *CATIA* te je opterećenje postavljeno da djeluje na trup, budući da je to najbliže izvedivo rješenje. Ionako nam ovakva jednostavna analiza služi da bismo shvatili način na koji se mijenja težište vježbača. Kada se vježbač optereti s 20 kg, dolazi do malog pomaka težišta prema opterećenju, no kada se vježbač optereti sa 100 kg, težište se znatno pomakne ne samo u horizontalnom smjeru, već i u vertikalnom smjeru. Pomakom težišta u vertikalnom smjeru stabilnost vježbača je znatno manja jer je potrebna manja sila koja će izazvati njegovo preokretanje oko točke oslonca zbog većeg kraka sile.



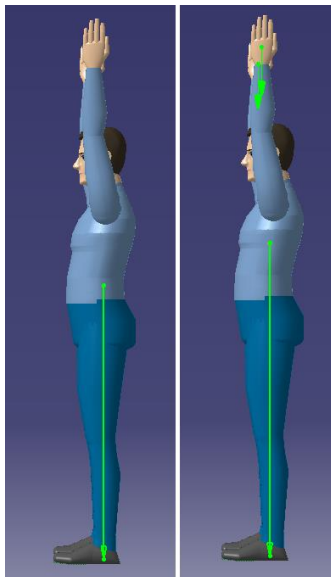
Slika 2. Čučanj

a) bez opterećenja,

b) opterećenje 20 kg,

c) opterećenje 100 kg

Sljedeća slika prikazuje slučaj promjene težišta pri izvođenju stojećeg ramenog potiska. Lijeva slika prikazuje vježbača bez opterećenja dok desna slika prikazuje vježbača koji podiže 20 teret od 20 kg.

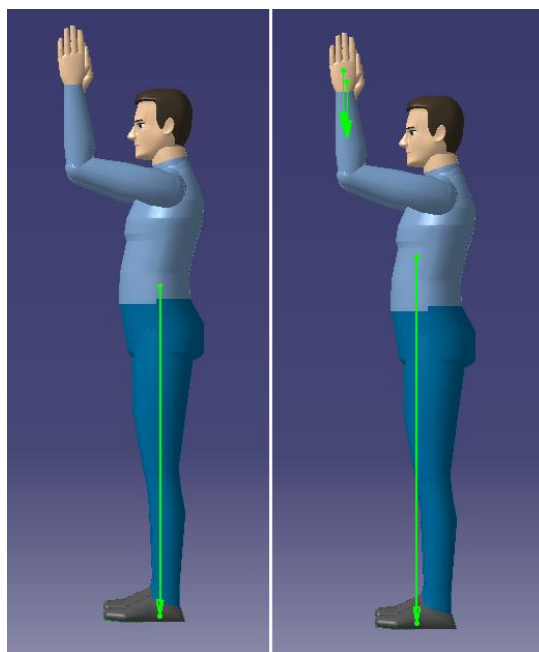


Slika 3. Stojeći rameni potisak - gornji položaj

a) bez opterećenja, b) opterećenje 20 kg

Iako se horizontalni položaj težište opterećenja i vježbača gotovo poklapaju, i dalje dolazi do malog horizontalnog pomaka uz značajniji vertikalni pomak. Ponovno, vjerojatnost gubitka stabilnosti daleko je veća u tom slučaju.

Slika 4 predočuje vježbača u međupoložaju pri izvođenju stojećeg ramenog potiska, odnosno položaj segmenata tijela u sredini pokreta. Ponovno, promatrani su slučajevi kada vježbač nije opterećen te kada podiže teret od 20 kg. U ovom slučaju razlika je ta što se težište opterećenja ovog puta ne nalazi iznad površine oslanjanja, te se zbog toga javlja znatno veći horizontalni pomak uz prisutni vertikalni pomak. Kombinacija vertikalnog i horizontalnog pomaka težišta uz smještaj težišta opterećenja izvan površine oslanjanja dovodi do kritične situacije što se tiče ravnoteže vježbača.



Slika 4. Stojeći rameni potisak - međupoložaj

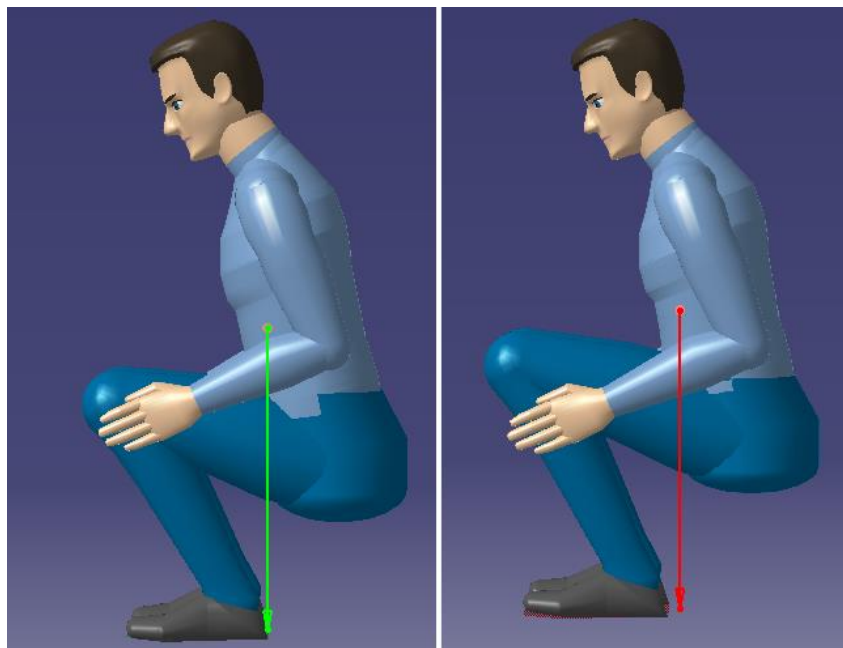
a) bez opterećenja, b) opterećenje 20 kg

Nakon razmatranja o težištu zaključuje se da se pojavljuje još jedan biomehanički izazov – treba voditi računa o težištu vježbača tako da uvijek bude stabilan ali dopustiti mu kontrolu pokreta koja mu pruža izazov i na neki način ga tjera da poboljša i usvoji pokret koji izvodi. Gotovo je nemoguće izbjeći prethodno opisane „opasne“ slučajeve pri vježbanju, no upravo zato su sigurnosne mjere od velike važnosti.

Antropomjer su još jedan bitan faktor koji treba razmotriti kako se ne bi narušilo korištenje napravom za vježbanje.

Kako se ovdje radi o napravi u kojoj korisnik koristi cijelo tijelo za ostvarivanje gibanja, potrebno je razmotriti sve veće antropomjere ljudskog tijela te njihov međusoban odnos. Pri izvođenju istog pokreta, dva vježbača mogu zauzeti bitno različite pozicije u karakterističnim fazama pokreta vježbe. Za početak, pokazan je primjer pri donjem položaju kod izvođenja čučnja. Uspoređena su dva vježbača koji pripadaju 95. percentilu muške populacije, ali kod drugog vježbača je natkoljenica nešto duža od natkoljenice prvog vježbača. Postavljena je jednaka dubina čučnja za oba vježbača, kao i isti nagib trupa te kut fleksije stopala i potkoljenice. Za tako postavljene parametre, sa Slike 5 može se vidjeti da već jedna razlika u antropomjeri može dovesti do bitno različitih uvjeta vježbanja. Naime, vježbač 1 nalazi se u ravnoteži za razliku od vježbača 2 koji bi trebao povećati nagib trupa prema naprijed ili napraviti veću fleksiju potkoljenice i/ili stopala.

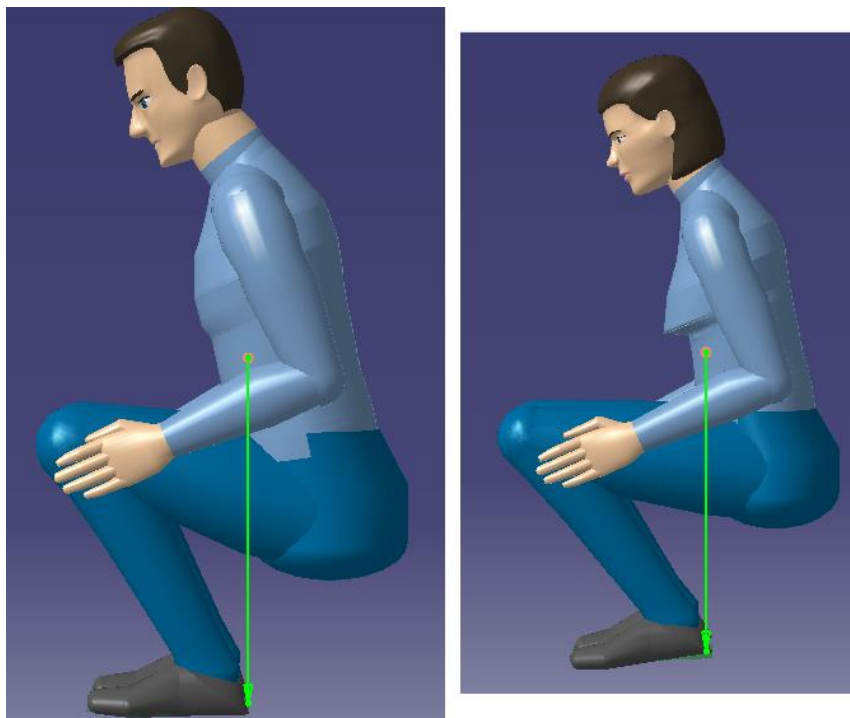
Za tako nešto potrebna je velika mobilnost gležnjeva i kukova, pa se određeni nefleksibilni vježbači mogu naći u problemima. Vježbač 2, za ovako predočenu poziciju, može održati ravnotežu ako bi ga podupirao neki vanjski sustav, odnosno kada bi se oslonio na potpurnu strukturu što bi dovelo do veće površine oslanjanja. Ovime je na jednostavan način prikazan utjecaj varijabilnih antropomjera za vježbače iste visine.



Slika 5. Utjecaj antropomjera za vježbače istog percentila

a) vježbač s prosječnom duljinom natkoljenice, b) vježbač s duljom natkoljenicom

Daljnje razmatranje potvrđuje prethodni navod o potrebnoj promjeni kuta između segmenata radi ostvarenja ravnoteže vježbača. Usporedbom muškog vježbača 95. percentila i ženskog vježbača 50. percentila dobiveno je da se oba vježbača nalaze u ravnoteži (za iste kuteve fleksije segmenata). Na slici 6 vidi se i da vektor koji prikazuje težište prolazi istom točkom (peta vježbača), no kod ženskog vježbača natkoljenica je gotovo paralelna s podlogom za razliku kod muškog vježbača gdje je ona pod većim kutem. Također, ženski vježbač bi položaj čučnja trebao održavati na prstima stopala što je vrlo teško, ili bi bilo potrebno napraviti daljnju fleksiju stopala.

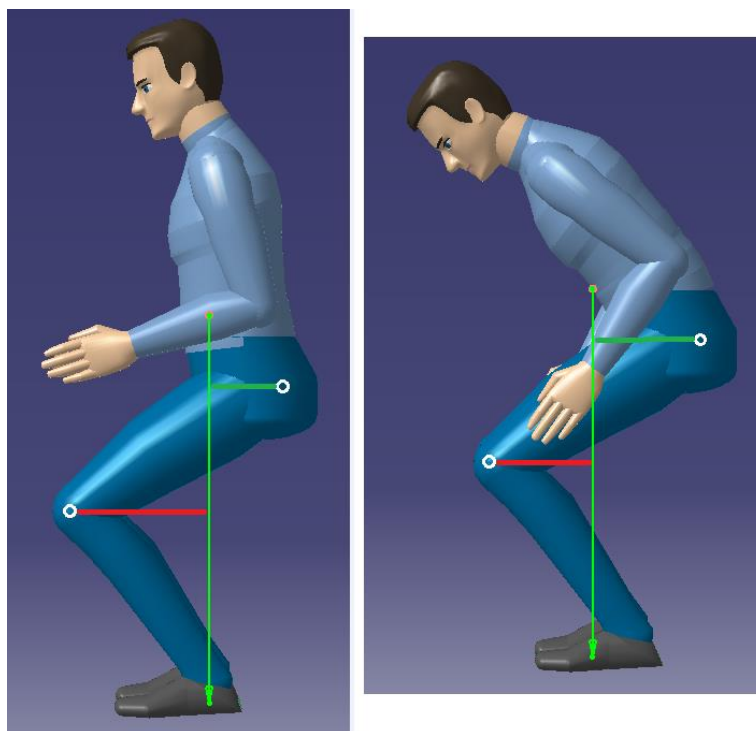


Slika 6. Razlika između kuteva segmenata tijela za vježbače različitih antropomjera

a) muški vježbač 95. percentila, b) ženski vježbač 50. percentila

Ovakva razlika u kutevima između segmenata tijela (Slike **prethodna** i **preprethodna**), kao i položaj težišta vježbača (ili sustava vježbača i opterećenja) utječu na opterećenost pojedinih mišićnih skupina. Što se težište nalazi više ispred vježbača to će biti veći krak sile između kukova i opterećenja, a manji između koljena i opterećenja, pa će se shodno tome javiti veća uključenost mišića oko kukova te gluteusa, a manja uključenost kvadricepsa. Naravno, navedeno vrijedi za izvođenje čučnja. Za različite vježbe i različite antropomjere na jednak način se javlja varijabilno opterećenje s obzirom na prethodno navedene činjenice.

Slika 7 predočava razliku u opterećenju mišićnih skupina kod izvođenja čučnja. Vertikalniji položaj gornjeg dijela tijela dovodi do većeg opterećenja kvadricepsa (crveni krak) te rasterećenja gluteusa (zeleni krak), dok se obrnuto javlja kod većeg nagiba leđa prema podlozi čime težište znatno mijenja svoj položaj.



Slika 7. Opterećenje pojedinih segmenata tijela s obzirom na položaj težišta – primjer čučnja

a) veće opterećenje kvadricepsa, b) veće opterećenje gluteusa

Naprava za kontrolirano vježbanje ni na koji način ne smije ograničiti vježbače različitih antropomjera, odnosno ne smije ih tjerati da zauzmu položaj koji bi određenim vježbačima odgovarao, a drugima bi on predstavljao problem, bilo zbog nemogućnosti izvođenja ili jednostavno zbog gubitka stabilnosti. Stoga je postizanje slobode pri korištenju naprave još jedan biomehanički izazov o kojem treba voditi računa.

Što se tiče razmatranja dimenzija radi ugađanja različitim antropomjerama vježbača, treba voditi računa o tome da će se određene veličine kao što je visina raspoloživog prostora za vježbanje određivati po muškarcu 95. percentila, dok će za suprotne slučajeve biti mjerodavan model ženskog vježbača koji pripada nižim percentilima.

3. ANALIZA TRŽIŠTA

Korak koji dolazi nakon prepoznavanja prilike za razvoj nekog proizvoda ili sustava jest analiza tržišta. Analizom tržišta dobivaju se bitna saznanja o konkurenciji, prostoru za poboljšanu izvedbu već postojećih rješenja, koje su mane i prednosti proizvoda koji već postoje, kako se principi rješenja nekih sustava mogu primijeniti na vlastiti problem i slično. Također, mogu se dobiti neke informacije o parametrima o kojima se možda nije vodilo računa, a pokazalo se da su oni od presudne važnosti pri kupnji.

U sljedećim potpoglavljima bit će prikazane neke postojeće izvedbe Smith mašina; naravno, neće biti navedene sve moguće varijacije na istu izvedbu, već će biti pokazana rješenja koja su zanimljivija od drugih.

3.1. Postojeća rješenja na tržištu

3.1.1. *KSport* Smith mašina – klasična izvedba

Za početak, prikazana je jedna jednostavna izvedba Smith mašine koju proizvodi tvrtka *KSport*. Ovakvo rješenje može se naći u raznim izvedbama, no bitno je vidjeti što najjednostavnija izvedba ovakvih naprava može ponuditi vježbačima. Vidljivo je da se radi o običnom okviru s vertikalnim vodilicama.



Slika 8. *KSport* Smith mašina – vertikalne vodilice [1]

Podaci o napravi:

- Dimenzije: 2050 x 1960 (1220 bez šipke) x 1300 mm,
- Maksimalno opterećenje: 200 kg,
- Puna šipka, promjer 30 mm,
- Razmak između kuka za zaustavljanje šipke 15 cm,
- Prostor za stavljanje utega – 32 cm sa svake strane šipke,
- Konstrukcija od visokokvalitetnog čelika,
- Ne postoji sustav za pohranu utega,
- Podesiva sigurnosna ručka (eng. *safety stop*),

Uz navedene podatke, sam proizvođač navodi da je sprava osigurana od gubitka stabilnosti i pri velikom opterećenju zbog dvostrukog okvira u bazi konstrukcije. Navodi se i činjenica da je teret savršeno okomit na tlo, da se vježbe mogu izvoditi čak i u vrlo malim rasponima pokreta te da je kretanje šipke glatko i sigurno, budući da su primijenjeni posebni ležajevi. [1]

3.1.2. Precor Smith mašina – kosa izvedba

Sljedeća izvedba prikazuje Smith mašinu tvrtke *Precor* s kosim vodilicama. Ovakvo rješenje nastoji riješiti postojeće probleme kod prijašnje, klasične izvedbe, te je glavna razlika u usporedbi s prošlom spravom u sustavu vodilica – ovdje se šipka ne pomiče okomito na podlogu, već putuje po kosini.



Slika 9. *Precor* Smith mašina – kose vodilice [2]

Podaci o napravi:

- Dimenzije: 2290 x 2140 x 1420 mm,
- Maksimalno opterećenje: 272 kg,
- 4130 čelična šipka (cijev), promjer 35 mm, debljina 2,4 mm,
- Razmak između kuka za zaustavljanje šipke 10 cm,
- Prostor za stavljanje utega – 27 cm sa svake strane šipke,
- Kut nagiba vodilice: 11°,
- Hod šipke 156 cm,
- Početno opterećenje 11,3 kg,
- Postoji prostor za pohranu utega – po 3 držača (duljine 25 cm),
- Podesiva sigurnosna ručka (eng. *safety stop*)

3.1.3. BodyCraft Jones Smith mašina – 3D izvedba

Posljednja od tri tipične izvedbe Smith mašina je 3D izvedba, te je kao primjer dana sprava proizvedena od strane tvrtke *BodyCraft Jones*. U ovom slučaju, postoji najveća sloboda pri izvođenju pokreta, pa samim time i opreznost i stručnost korisnika pri korištenju mora biti na najvišem nivou.



Slika 10. BodyCraft Jones Smith mašina – 3D izvedba [3]

Podaci o napravi:

- Dimenzije: 2110 x 2130 (1400 bez šipke) x 1110 mm,
- Maksimalno opterećenje 200 kg,
- Mogućnost zaključavanja okvira,
- Pomicanje kuka za zaustavljanje zajedno s glavnom pomičnom šipkom,
- Opruge za smanjenje opterećenja ležajeva pri odlaganju šipke na kuke,
- Razmak između zubova za zaustavljanje šipke 12 cm,
- Konstrukcija od debljih čeličnih profila,
- Mogućnost „zaključavanja“ vodilica na mjestu – dobivanje klasične izvedbe,
- Ne postoji sustav za pohranu utega,
- Podesiva sigurnosna ručka (eng. *safety stop*)

3.1.4. Force USA Versa Smith XL – sklopiva izvedba

Nešto drugačije izdanje klasične Smith mašine može se pronaći u katalogu tvrtke *Force USA*. Naime, ovdje se radi o sklopivoj Smith mašini. Same prednosti su odmah jasne; zauzima manje prostora te je idealna u situacijama gdje je poželjno „uštediti“ svaki kvadratni metar. No, treba razmotriti postoje li dijelovi sustava koji pate zbog ovakve izvedbe, npr. krutost cijelog sustava. Uz same glavne dijelove Smith mašine, ova sprava posjeduje i sustav kablova koji omogućuje izvođenje ostalih vježbi. To ima smisla, budući da se ova sprava nastoji plasirati kupcima koji planiraju vježbanje izvoditi u vlastitom domu, no ti dodatni dijelovi sustava se neće uzimati u obzir kod daljnjeg odabira dobrih i loših strana rješenja relevantnih za Smith mašinu.



Slika 11. Force USA Versa Smith XL - sklopiva izvedba [4]

Što se tiče podataka o napravi, ne postoje dostupne informacije, čak nema niti gabaritnih dimenzija sklopljene i postavljene naprave, pa će neki od podataka prilikom daljnje evaluacije i procjene kvalitete biti određeni iskustvom. Dakle, neki od podataka koji se mogu izvući iz slike su sljedeći:

- Sklopivost prednje konstrukcije (uključivo sa šipkom),
- Strogo vertikalni pomak opterećenja po dvostrukim vodilicama (4 ukupno),
- Opruge za smanjenje opterećenja ležajeva pri odlaganju šipke na kuke,
- Konstrukcija od pravokutnih čeličnih profila,

- Podesiva sigurnosna ručka (eng. *safety stop*),
- Postoji prostor za pohranu utega,

3.1.5. *Commercial Home Gym Smith Machine* – izvedba s protuutegom

Kao i prošla naprava, ova Smith mašina također u svom sustavu posjeduje druge dijelove koji omogućuju izvođenje još većeg broja vježbi. Bolje rečeno, Smith mašina je zapravo jedan dio tog velikog sustava. Naravno, pri ocjenjivanju uzimat će se u obzir samo sustav Smith mašine. Navedena izvedba zanimljiva je zbog sustava protuutega koji nije bio prisutan kod prošlih izvedbi. Taj sustav služi kao dodatna pomoć neiskusnim vježbačima, početnicima i vježbačima slabe muskulature.



Slika 12. *Commercial Home Gym Smith Machine* - izvedba s protuutegom [5]

Podaci o napravi:

- Dimenzije: 2286 x 2007 x 1245 mm,
- Maksimalno opterećenje 350 kg,
- Sustav protuutega,
- Podesiva sigurnosna poprečna greda (eng. *safety spotter bar*),
- Opruge za apsorpciju udarca

- 12 kuka za zaustavljanje šipke,
- Postoji prostor za pohranu utega.

3.2. Usporedba uređaja na tržištu

Nakon prikaza postojećih rješenja, potrebno ih je usporediti kako bi se izvukao zaključak o kvaliteti određene sprave, odnosno kako bi se dobio bolji uvid u prednosti i mane i odnos između pojedinih konstrukcija. Zbog nedostupnosti svih informacija o pojedinim spravama, pokušat će se izvući one najbitnije karakteristike čiji su podaci dostupni, ili će ocjene biti procijenjene. Kod takvih karakteristika ocjene je potrebno uzeti s dodatnom rezervom, te uključiti i subjektivni dojam pri ocjenjivanju. Uspoređivanje će biti izvršeno metodom potencijala, što znači da referentni uređaj dobiva ocjenu 0, dok ostali uređaji dobivaju ocjene u rangu od -3 do 3. Kao referentni uređaj odabrana je *BodyCraft Jones* 3D Smith mašina. Tablica 1 služi za prikaz usporedbe uređaja na tržištu.

Tablica 1. Usporedba uređaja na tržištu

| Karakteristika / uređaj | KSport | Precor | BodyCraft Jones | Force USA | Commercial Home Gym |
|-------------------------|--------|--------|-----------------|-----------|---------------------|
| Prostor za vježbanje | -1 | 1 | 0 | 0 | -1 |
| Nosivost | -1 | 0 | 0 | -1 | 1 |
| Sigurnost | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Broj izvedivih vježbi | -2 | -2 | 0 | -2 | -2 |
| Biomehanika | -2 | -2 | 0 | -2 | -2 |
| Stabilnost | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 |
| Pohrana utega | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| Kompaktnost | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Ukupni rezultat | -6 | -1 | 0 | -2 | -2 |

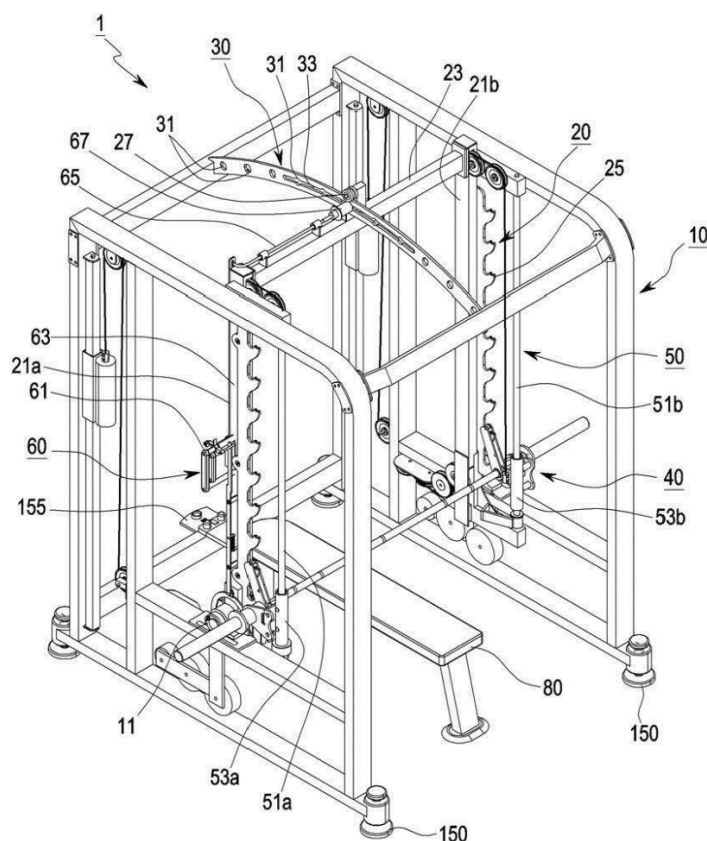
Grubom usporedbom uređaja na tržištu dobiveni su rezultati koje pokazuje gornja tablica, odnosno referentni uređaj se pokazao kao uređaj koji najbolje ispunjava željene karakteristike. Taj uređaj će ući u daljnju konstrukcijsku razradu te će služiti kao polazište pri konstruiranju.

4. PATENTI

Nakon pregleda tržišta, nije loše pretražiti i patente koji mogu uvelike pomoći s idejama i olakšati daljnji proces razvoja proizvoda. Navedeni će biti patent koji primijenjuju neko drugo rješenje koje nije bilo pronađeno kod analize tržišta, a moglo bi pomoći kod izrade koncepata. Samim time, koncepti neće biti ocjenjivani kao što je to bilo napravljeno kod analize tržišta.

4.1. Patent RU2683762C1

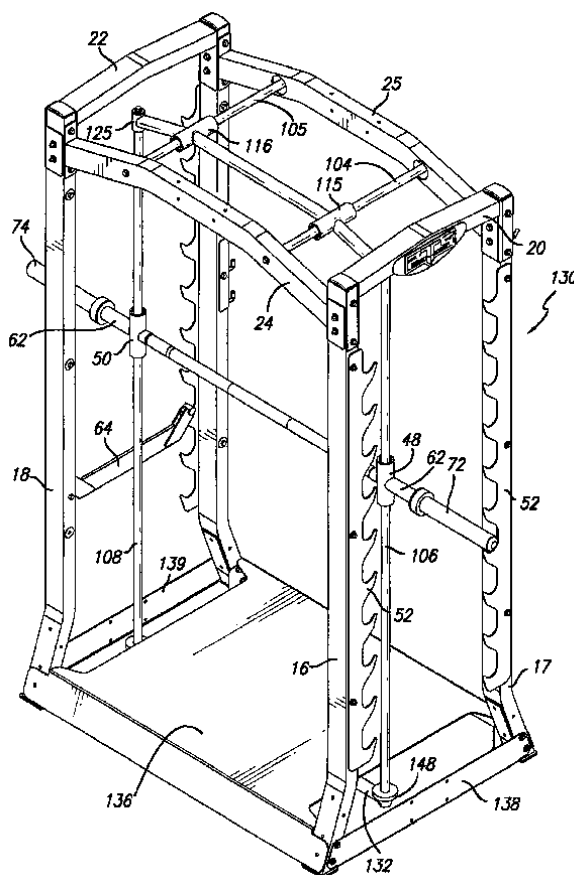
Patent RU2683762C1 (eng. *Smith machine with adjustable angle and rotation ability*) prikazuje Smith mašinu s podesivim kutom. Unutar okvira nalazi se šipka na vodilicama koje su povezane s drugim pokretnim okvirom. Rotacija se događa oko donjeg zgloba te je moguće izvoditi vježbe unutar određenog raspona otklona pokretnog okvira od središta, a taj otklon ovisi o utoru gornje vodilice. Isto tako, moguća je fiksacija kuta na određenim segmentima vodilice, što ovisi o kružnim utorima na vodilici. [6]



Slika 13. Patent RU2683762C1 (*Smith machine with adjustable angle and rotation ability*)
[6]

4.2. Patent US7909743B1

Patent US7909743B1 (eng. *Dual action weightlifting machine*) dosta nalikuje na 3D izvedbu Smith mašine promatranu kod analize tržišta, uz neke male preinake. Naime, kod ove izvedbe šipka putuje na vodilicama te se pomak odvija u dva smjera, no sigurnosne kuke se nalaze na stražnjem dijelu okvira te ne putuju zajedno sa šipkom. Također, donji dio pokretnog mehanizma vodilica zaštićen je na način da je implementirama platforma, koja ujedno služi za apsorpciju udarca. [7]



Slika 14. Patent US7909743B1 (*Dual action weightlifting machine*) [7]

4.3. Patent US7488277B1

Patent US7488277B1 (eng. *Compact weightlifting frame system*) predstavlja još jednu sklopivu izvedbu Smith mašine. Ovaj patent ima rastavljivi vodeći mehanizam koji dopušta jednostavno uklanjanje šipke s vodilica te sklapanje okvira. Kod prethodno analizirane sklopive izvedbe šipka se sastojala od više dijelova, pa je pri sklapanju dio šipke ostao na vodilicama, dok se središnji dio povezao prilikom rasklapanja naprave u funkcionalnu poziciju. [8]

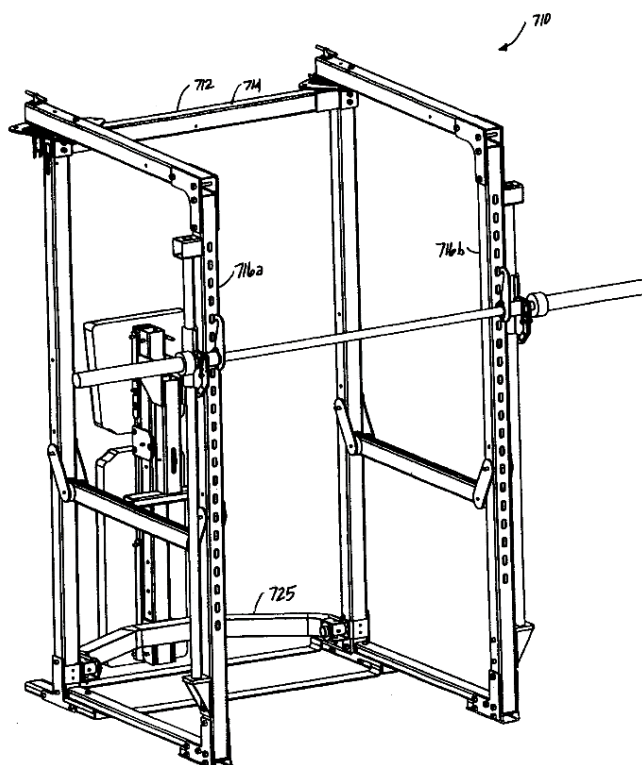


FIG. 12B

Slika 15. Patent US7488277B1 (eng. *Compact weightlifting frame system*) [8]

4.4. Patent US7549950B1

Patent US7549950B1 (eng. *Weight bar slide assembly*) prikazuje Smith mašinu koja dopušta kretanje šipke u dvije ravnine, no uz to omogućuje i zakret šipke u frontalnoj ravnini. Argument takvome rješenju je veći osjećaj slobode kao kod vježbanja sa slobodnim utezima. To postiže implementacijom ležajeva koji dopuštaju kutni otklon povezanog elementa, kao što prikazuje Slika 17. [9]

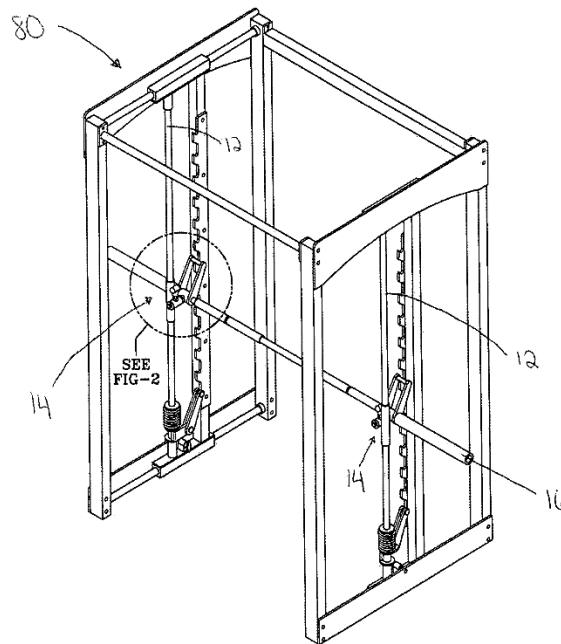
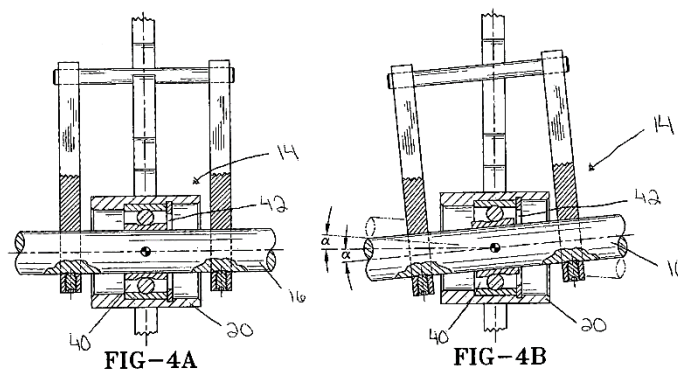


FIG-8

Slika 16. Patent US7549950B1 (*Weight bar slide assembly*) – izometrija [9]



Slika 17. Patent US7549950B1 (*Weight bar slide assembly*) – ležajevi [9]

5. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA

Nakon svih provedenih koraka, prelazi se na fazu konstrukcijske razrade. Analiza tržišta i istraživanje patenata koji su relevantni za ovaj konstrukcijski zadatak rezultirala je boljim shvaćanjem koje su glavne potrebe korisnika pri korištenju ovakve naprave. Samim time, veliku ulogu u daljnjem razvoju ima točno definiranje zahtjeva i cilja projekta, provođenje kvalitetnog tehničkog upitnika te kreiranje funkcijske strukture. Nakon toga, kreiranje morfološke matrice olakšava generiranje koncepata, pa je i taj korak od velike važnosti. Naravno, pravilno provođenje svih koraka ne mora nužno značiti da će projekt biti uspješno realiziran, no svakako smanjuje mogućnosti za neuspjeh.

5.1. Tehnički upitnik

Tehnički upitnik prikazan je u donjoj tablici.

Tablica 2. Tehnički upitnik

| |
|---|
| 1. Što je stvarni problem koji treba riješiti? |
| Konstruirati napravu koja će vježbaču pružiti pozitivne strane vježbanja sa slobodnim utezima uz povećanu sigurnost. |
| 2. Koja implicitna očekivanja i želje je potrebno uključiti u razvoj? |
| Naprava mora biti sigurna, jednostavna za korištenje, prilagodljiva vježbačima različitih visina te pružati što bolju biomehaniku pokreta, odnosno mora ispunjavati funkcionalne zahtjeve postavljene na spravu u prethodnom potpoglavlju. |
| 3. Jesu li pretpostavljene potrebe korisnika, funkcionalni zahtjevi i ograničenja zaista realni? |
| Potrebe korisnika, funkcionalni zahtjevi i ograničenja su zaista realni, no njihov međusobni odnos se ne može sada znati već navedeno ovisi o daljnjim konstrukcijskim kompromisima, te je lako moguće da će doći do određenih kontradikcija vezano uz potrebe, zahtjeve i ograničenja. |
| 4. U kojim smjerovima postoje mogućnosti za kreativni razvoj i inventivno rješavanje problema? |

Moguće je povećanu pažnju dati sigurnosnim mehanizmima sprave te možda uključiti neke nove sigurnosne mjere. Također, postoji više načina povezivanja sprave s okolinom, za razliku od slučaja povezivanja kod trenutnih rješenja.

5. Postoji li limit na kreativnost u razvoju?

Dimenzije naprave ne smiju biti nerealan i nepotrebno velike. Potrebno je osigurati dovoljno velik prostor za vježbanje, no vanjske (gabaritne) dimenzije bi trebalo držati unutar prihvatljivih okvira. Kao i kod svih projekata, cijenu naprave treba minimizirati.

6. Koje karakteristike/svojstva proizvod nužno mora imati?

Naprava nužno mora biti sigurna i jednostavna za korištenje te biomehanički odgovarati prirodnim pokretima tijela. Mora pružati jednaku sigurnost u bilo kojoj fazi pokreta te odgovor sustava na pokrete i želje vježbača mora biti pouzdan i uvijek jednak kako bi vježbač stekao rutinu i znanje korištenja napravom.

7. Koje karakteristike/svojstva proizvod sigurno ne smije imati?

Naprava ne smije ugroziti korisnika, bilo to nesigurnim mehanizmima koji dovode do ispadanja utega ili pak pasivnim putem, odnosno pružanjem neodgovarajuće biomehanike pokreta vježbaču, što dovodi do ozljeda nakon dužeg vremena korištenja.

8. Koji se aspekti razvoja mogu i trebaju kvantificirati u ovom trenutku?

Dimenzije naprave, materijali pojedinih dijelova, masa.

9. Jesu li razvojni zadaci postavljeni na prikladnoj razini apstrakcije?

Naprava na određen način mora ograničiti pomicanje šipke u neželjenim ravninama, a dopustiti pomicanje u željenim ravninama. To ne mora nužno biti riješeno klasičnim vodilicama. Naprava ne mora povezivanje s okolinom vršiti preko donje podloge. Sustav opterećivanja vježbača ne mora biti izveden preko klasičnih utega i šipke.

10. Koja su tehnička i tehnološka ograničenja naslijeđena iz prethodnog iskustva sa sličnim proizvodom?

Naslijeđena tehnička i tehnološka ograničenja su sustavi vođenja utega koji ne pružaju zadovoljavajuću biomehaniku pokreta. Također, dimenzije naprave moraju biti takve da ne ograničavaju izvođenje punog opsega pokreta.

5.2. Definicija cilja

Definicija cilja prikazana je donjom tablicom.

Tablica 3. Definicija cilja

| |
|--|
| Naziv projekta: Konstrukcijsko rješenje naprave za kontrolirano terapijsko i sportsko sinergijsko vježbanje |
| Opis proizvoda: |
| Naprava za kontrolirano terapijsko i sportsko sinergijsko vježbanje. |
| Primarno tržište: |
| <i>Početnici u vježbanju i rekreativci</i> – korisnici koji tek usvajaju nove pokrete i oni koji žele izvoditi sve pokrete s klasičnom šipkom ali uz dodatnu sigurnost. <i>Fitness/sportski centri</i> – naprava za trening snage – rekreativne svrhe. <i>Centri za rehabilitaciju/terapiju</i> – povećana sigurnost bitan je dio svih sustava koji se primijenjuju kod centara za rehabilitaciju. |
| Sekundarno tržište: |
| <i>Privatni korisnici</i> |
| Koje karakteristike se podrazumijevaju? |
| Naprava mora biti sigurna, jednostavna za korištenje, prilagodljiva vježbačima različitih visina te pružati što bolju biomehaniku pokreta. Također, bilo bi poželjno da bude rastavljiva uz jednostavnu montažu te prenosiva. |
| Ciljane grupe korisnika: |
| Početnici u vježbanju, rekreativci, vježbači sa strahom od vježbanja s utezima. |
| Pravci kreativnog razvoja: |
| Dizajn pokretnog mehanizma, dizajn sigurnosnih mehanizama, odabir veze s okolinom te njena izvedba, dodatne značajke cijelog sustava, estetika naprave.. |
| Limiti projekta: |

| |
|-----------------------------------|
| Dimenzije naprave, masa i cijena. |
|-----------------------------------|

5.3. Definiranje zahtjeva

Sljedeća tablica prikazuje najbitnije funkcionalne i konstrukcijske zahtjeve koji se postavljaju na jednu ovakvu napravu.

Tablica 4. Funkcionalni i konstrukcijski zahtjevi

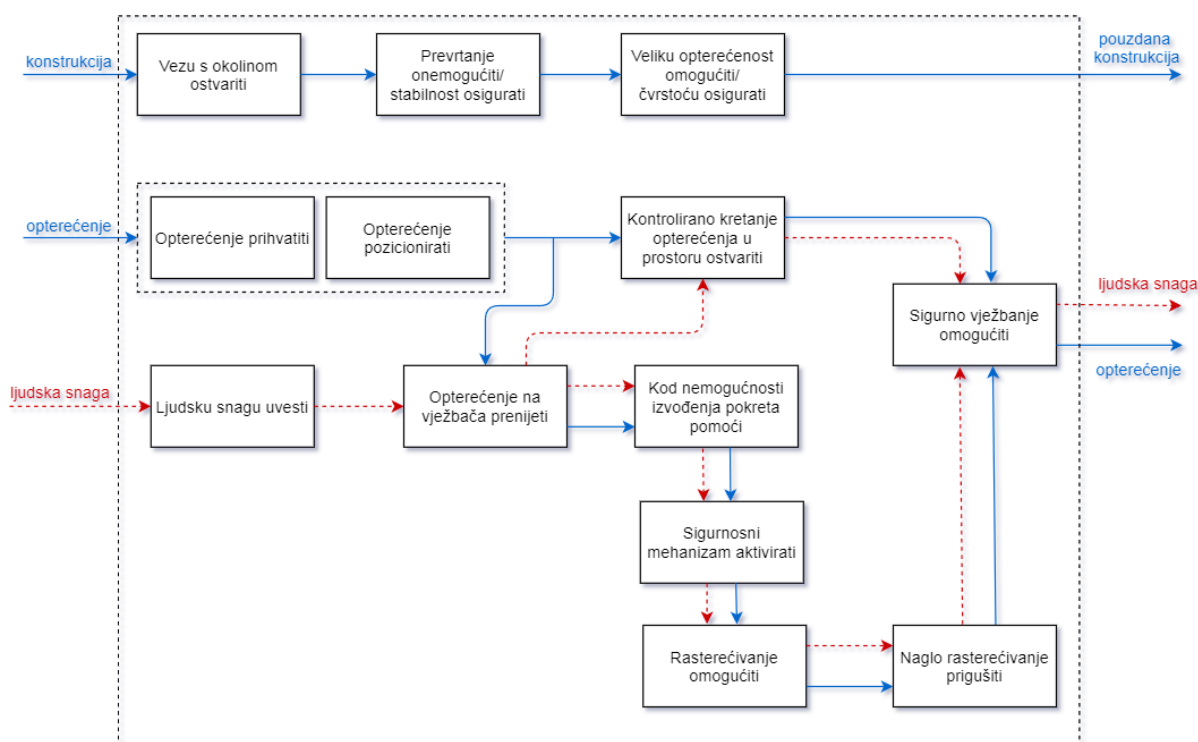
| FUNKCIONALNI ZAHTJEVI | KONSTRUKCIJSKI ZAHTJEVI |
|--|---|
| Omogućiti pravilnu biomehaniku pokreta. Pokreti izvođeni na napravi trebaju odgovarati stvarnim pokretima kod vježbanja sa šipkom. | Primijeniti mehanizam koji ne ograničava korisnika na nepravilnu putanju utega. Voditi računa da mehanizam pruža različite putanje za različite vježbe. |
| Osigurati dovoljan prostor za nesmetano izvođenje svih ciljanih vježbi. | Dimenzije naprave, odnosno unutarnjeg okvira, moraju biti takve da pružaju željeni opseg pokreta, bilo šipke, bilo vježbača. |
| Omogućiti prilagodbu težine izvođenja vježbi. | Primijeniti sustav utega koji stvara željeni otpor te o trenutnoj težini jasno obavještava vježbača. |
| Pružiti sigurno korištenje naprave te eliminirati, tj. u najvećoj mjeri umanjiti mogućnost nastanka povrede. | Implementirati sustav kod kojeg je u svakom trenutku moguće prestati izvoditi određen pokret. Dodatno zaštititi vježbača kod npr. ispadanja utega apsorpcijskim elementima. Pružiti podešavanje graničnog gornjeg, odnosno donjeg položaja utega. |
| Jasno predočiti način korištenja naprave – sprava mora biti intuitivna. | Istaknuti bitne dijelove sustava, te onemogućiti pomicanje neželjenih dijelova. Koristiti oznake i upute po potrebi. |

| | |
|--|--|
| <p>Osigurati stabilnost naprave i onemogućiti prevrtanje naprave.</p> | <p>Povezati samu konstrukciju s okolinom na dovoljno siguran način (npr. vijcima za pod, zid ili strop). Ako vijci nisu potrebni, oblikom nogu (dijela u kontaktu s podlogom) spriječiti prevrtanje.</p> |
| <p>Osigurati dovoljnu čvrstoću i krutost naprave.</p> | <p>Izvršiti pravilan odabir materijala i geometrije kako kritičnih mjesta, tako i cijele naprave.</p> |
| <p>Osigurati prilagodbu naprave željenoj populaciji korisnika.</p> | <p>Voditi računa o dostupnosti dijelova tako da se prilagođavaju antropometrijskim karakteristikama nižih i viših percentila populacije. Za više korisnike potrebno je povećati visinu raspoloživog prostora za vježbanje.</p> |
| <p>Osigurati što lakše sastavljanje naprave, kao i rastavljanje zbog transporta (iz jedne prostorije u drugu i sl.).</p> | <p>Koristiti veze između dijelova koje su jednostavne i koje su populaciji poznate iz drugih područja života. Što više koristiti rastavljive veze (ako ne narušavaju mehanička svojstva naprave).</p> |
| <p>Voditi računa o antropometriji zatvorene šake za maksimalnu aktivaciju mišića.</p> | <p>Promjer šipke ne smije biti prevelike ili premale debljine.</p> |

5.4. Funkcijska struktura

Izrada funkcijske strukture daje uvid u vezu i tok signala, materije i energije koji se javljaju kod određenog proizvoda. Razradom te strukture moguće je zaključiti na koje podfunkcije proizvoda treba obratiti pažnju, te koje podfunkcije mogu imati neko inovativno rješenje koje će u potpunosti unaprijediti ili promijeniti napravu. Povezivanjem podfunkcija i tokova dobivena je apstraktna slika željene naprave.

Donja slika prikazuje funkcijsku strukture naprave za kontrolirano terapijsko i sportsko sinergijsko vježbanje.






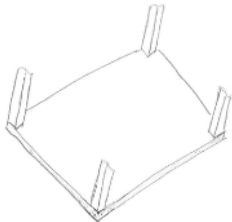

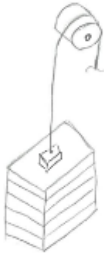
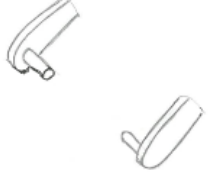
Slika 18. Funkcijska struktura

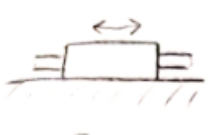

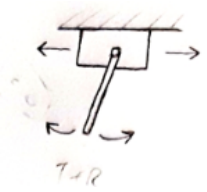
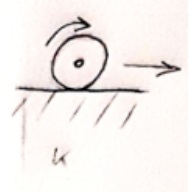


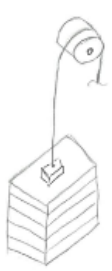
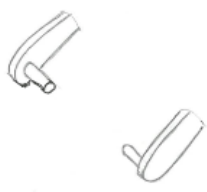

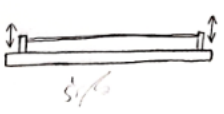

5.5. Morfološka matrica




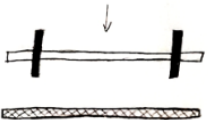




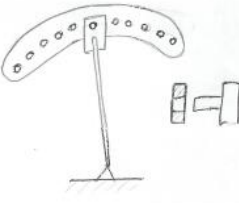

Morfološka matrica prikazuje način na koji se određena funkcija želi riješiti, odnosno prikazuje parcijalno rješenje neke funkcije. Ona pomaže pri sljedećem koraku konstrukcijske razrade – pri generiranju koncepata, odnosno pomaže pri stvaranju možda prethodno nezamislivih ideja te omogućuje lagan i pregledan uvid u pojedine module, tj. podsklopove naprave.

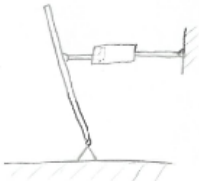
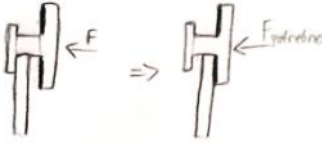
Morfološka matrica za zadanu napravu prikazana je na sljedećih nekoliko stranica.

Tablica 5. Morfološka matrica

| FUNKCIJA | PARCIJALNA RJEŠENJA | | |
|---|---|---|---|
| Veza s okolinom ostvariti |  <p>Vijci – veza sa podom/zidom/plafonom</p> | | |
| |  <p>Noge</p> |  <p>Kotači</p> |  <p>Ploča</p> |
| Opterećenje prihvatiti/pozicioni rati |  <p>Prihvat pločastih utega na šipku</p> |  <p>Prihvat naslaganih utega preko kabla</p> |  <p>Prihvat na ručke</p> |

| | | | |
|--|--|---|--|
| Kontrolirano kretanje opterećenja u prostoru ostvariti |  <p>Klizači, vodilice (translacija)</p> |  <p>Zglobovi (rotacija)</p> |  <p>Klizač + zglob (translacija + rotacija)</p> |
| |  <p>Kotačići (kotrljanje)</p> |  <p>Višezglobni mehanizmi</p> | |
| Opterećenje na vježbača prenijeti |  <p>Prijenos preko šipke</p> |  <p>Prijenos preko kablova/sajli</p> |  <p>Prijenos preko ručki</p> |
| Sigurnosni mehanizam aktivirati |  <p>Pritisak ručica</p> |  <p>Pritisak/rotacija pomoćne šipke</p> |  <p>Senzori pritiska na dodirnom dijelu</p> |

| | | | |
|---|---|---|--|
| <p>Sigurnosni mehanizam aktivirati (nastavak)</p> |  <p>Okret ručnog zgloba</p> | <p>Ispuštanje opterećenja</p> | |
| <p>Rasterećivanje omogućiti/prigušiti</p> |  <p>Sigurnosne kuke</p> |  <p>Opruga</p> |  <p>Podloge/obloge</p> |
| |  <p>Pneumatski cilindar</p> |  <p>Prihvat kablom</p> |  <p>Prihvat remenom</p> |
| | <p>Prihvat drugim elementom sustava</p> | <p>Prihvat kočnim elementom</p> | |
| <p>Kut/nagib pri izvođenju vježbe podesiti</p> |  <p>Vijčano vreteno</p> |  <p>Ručno podešavanje</p> |  <p>Podešavanje motorom</p> |

| | | |
|--|--|---|
| Kut/nagib pri izvođenju vježbe podesiti (nastavak) |  <p>Pneumatski sustav</p> |  <p>Trenje/pritisak/kočnice</p> |
|--|--|---|

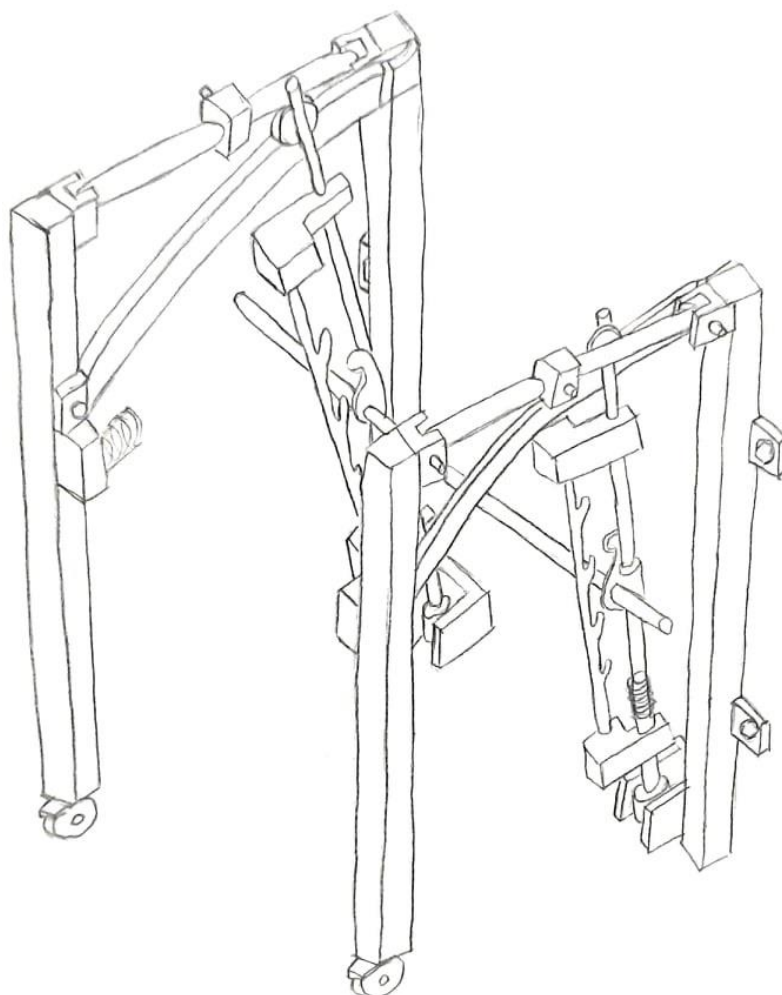
Može se uočiti da se zadnja funkcija u prethodnoj morfološkoj tablici („Kut/nagib pri izvođenju vježbe podesiti“) ne javlja u funkcijskoj strukturi. Razlog tome je taj što navedena funkcija nije obavezna pri konstruiranju odgovarajuće naprave koja ispunjuje zadane zahtjeve, no ipak je zanimljiv dodatak cjelokupnom sustavu. Stoga su i za tu funkciju ponuđena neka od rješenja, čime se još više proširuje prostor mogućih konceptualnih izvedbi.

5.6. Generiranje koncepata

Nakon analize pojedinih dijelova sustava i fizikalnih principa i mehanizama, prelazi se na generiranje koncepata. Promatranjem funkcija iz morfološke matrice i njihovom kombinacijom dobiva se grubi prikaz o konstrukcijskom rješenju naprave. Pritom nisu iskorištena sva parcijalna rješenja jer je tijekom generiranja koncepata dobiven još bolji uvid u isplativost i izvedivost pojedinih sustava rješenja. Također, za neke od funkcija nema previše smisla definirati obavezno parcijalno rješenje (npr. sklopivost izvedbe), tako da su za pojedine dijelove sustava implementirana parcijalna rješenja izvan morfološke tablice.

5.6.1. Koncept 1

Kod stvaranja koncepta 1 glavni cilj je postići sklopivost naprave tako da su napravljeni određeni kompromisi. Konstrukcija na stražnjem dijelu ostvaruje vijčanu vezu sa zidom i direktan kontakt stupa s podlogom, dok se prednji stupovi konstrukcije nalaze na kotačićima koji imaju mogućnost zaključavanja. Prednji i stražnji stupovi povezani su osovinama između kojih se nalazi zglob koji dopušta rotaciju oko jedne osi. Opterećenje se prihvaća i prenosi na vježbača preko šipke, dok se kontrolirano kretanje opterećenja ostvaruje s dodatnom osovinom kojoj je dopuštena rotacija oko jedne osi. Šipka s opterećenjem spojena je s tom osovinom preko spojnog elementa, tako da su određeni stupnjevi slobode šipke ograničeni.



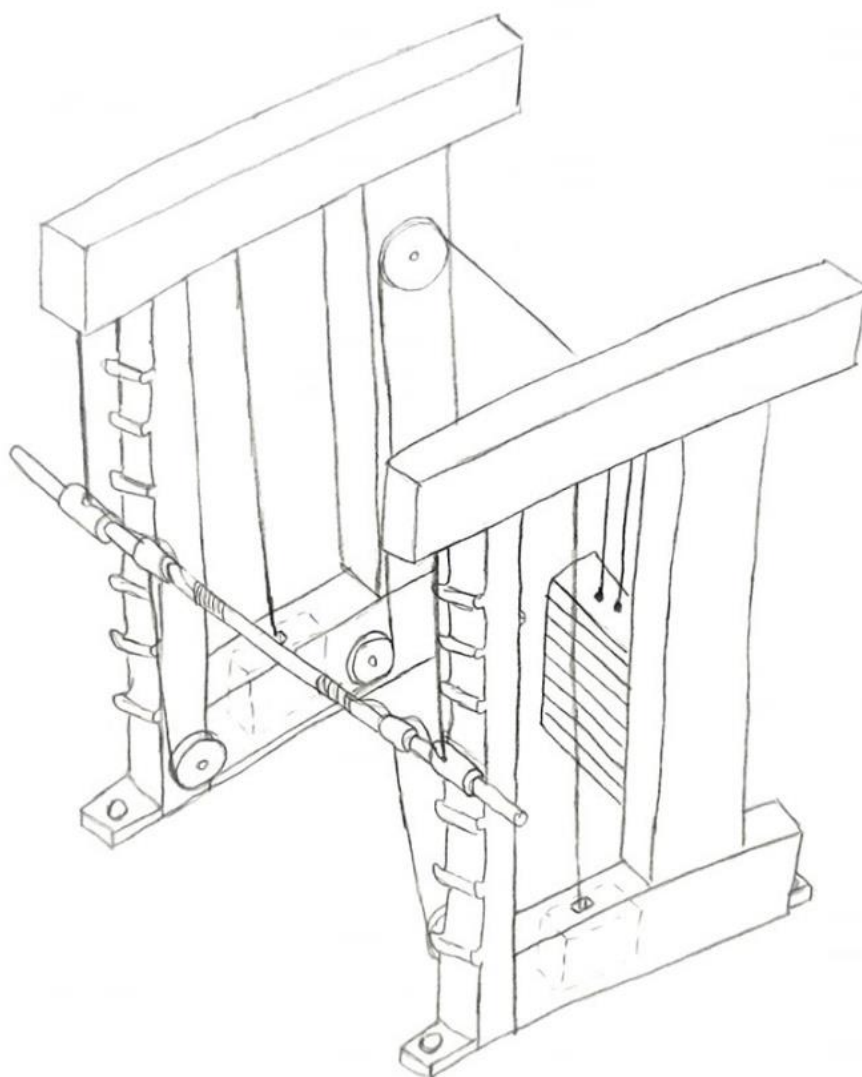
Slika 19. Koncept 1 - Sklopiva izvedba

Na razmaku od šipke nalazi se druga osovina sa sigurnosnim držačima, te vježbač kod nemogućnosti obavljanja vježbe oslanja šipku sa kukom na držače i pušta opterećenje. Pritom šipka pada prema prednjem dijelu naprave gdje njen udar apsorbiraju opruge, tako da ova izvedba mora biti nešto manje dubine i opteretivosti kako ne bi došlo do prevelikih sila. Na gornjem dijelu vodeće osovine nalazi se spojen kotačić koji se pomiče po zaobljenoj vodilici čime se olakšava usmjeravanje i pokret samog opterećenja. Kada vježbač želi kontrolirano odložiti opterećenje, pomiče šipku prema stražnjem dijelu tako da gornji kotačić uđe u utor na zaobljenoj vodilici.

Prilikom sklapanja, prvo je potrebno odložiti šipku u ravnotežni položaj. Nakon toga se zaobljene vodilice (po kojima se pomiču vodeći kotačići pokretnog mehanizma) otpuštaju i sklapaju prema unutrašnjosti konstrukcije. Šarke oko kojih se rotiraju te vodilice se nalaze na gornjem stražnjem dijelu te se ne nalaze u istoj ravnini za lijevu i desnu stranu okvira, budući da bi onda došlo do preklapanja vodilica i nemogućnosti njihovog sklapanja. Zatim se otkoče prednji kotačići i središnji gornji zglob, čime se dopušta pomicanje prednjeg dijela konstrukcije prema stražnjem dijelu. Pri pomicanju, središnji zglob se spušta prema dolje te se konstrukcija nalazi u sklopljenom stanju nakon čega se mogu ponovno zakočiti prednji kotačići.

5.6.2. Koncept 2

Kod koncepta 2, vertikalni i uzdužni čelični pravokutni profili tvore glavni okvir konstrukcije koji ostvaruje vijčanu vezu s podom. Glavno opterećenje u sustavu predstavljaju naslagani utezi spojeni sajlama za šipku za vježbanje. Sajle prelaze preko sustava bubnjeva tako da bi smjer opterećenja šipke bio prema dolje, čime se simulira gravitacijski učinak standardnog utega. Dakle, na šipku za vježbanje se ne stavljaju pločasti utezi. Ta šipka je povezana s kablovima za sustav motora i bubnja koji se nalazi u unutarnjem dijelu donje uzdužne grede.

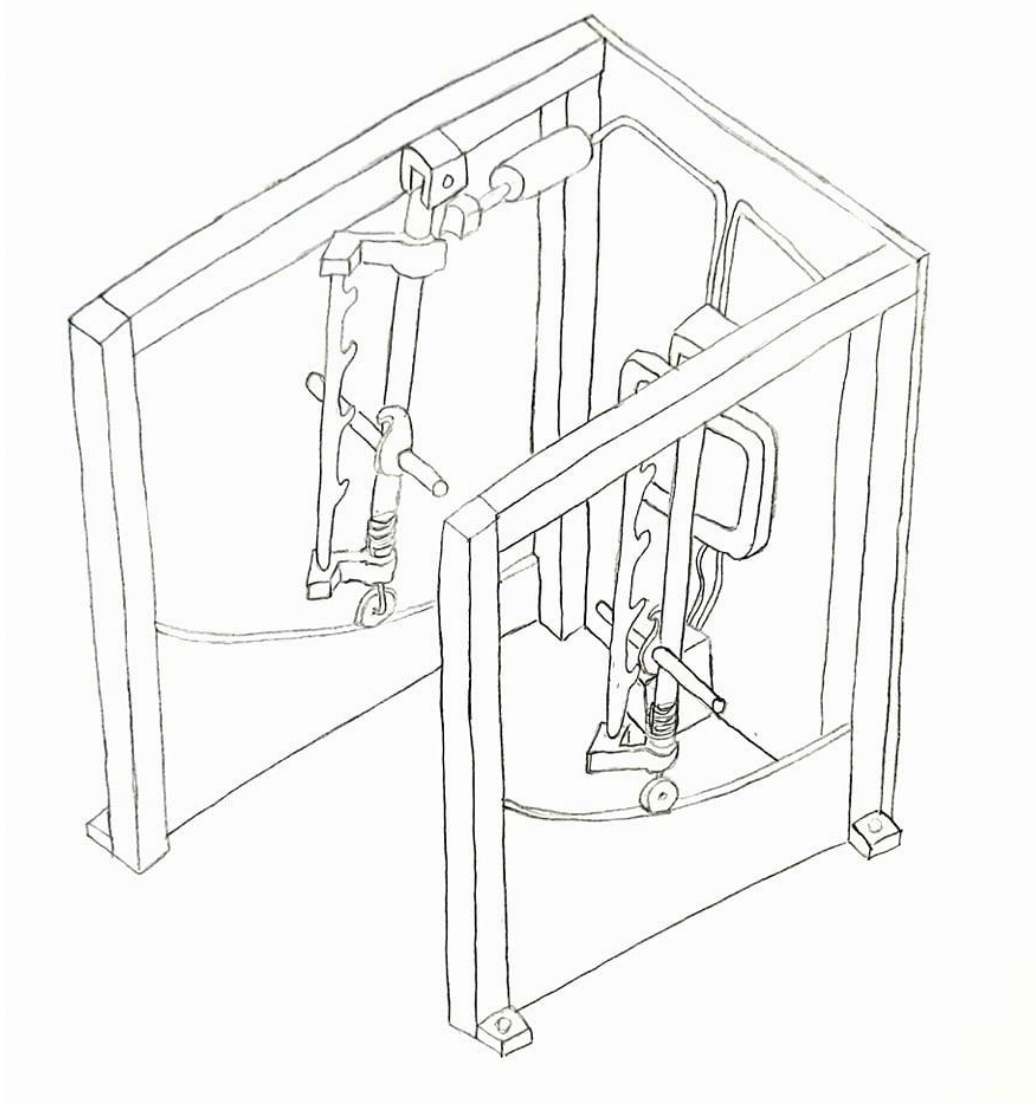


Slika 20. Koncept 2 – izvedba sa senzorom pritiska

Senzori za pritisak nalaze se na mjestima predviđenom za hvat šipke za vježbanje te su oni glavni dio sigurnosnog sustava ove naprave. U ovoj izvedbi šipka nema fiksno uklonjene stupnjeve slobode, već su oni manjim dijelom ograničeni zbog sustava kablova i sajli. Pri izvođenju pokreta vježbač mora prihvatiti šipku na predviđenom mjestu tako da senzor pritiska može poslati informaciju sustavu koji zatim uklanja kočanje motora tako da se šipka može slobodno pomicati u prostoru. Pri nemogućnosti obavljanja pokreta, vježbač mora oslabiti stisak i/ili ukloniti dlanove sa šipke, čime senzori šalju informaciju sigurnosnom sustavu te se uključuje motor koji rotira bubanj i koči daljnje odmatanje kabla. Šipka se može sigurno odložiti i na držače predviđene na prednjem dijelu konstrukcije.

5.6.3. Koncept 3

Vijčana veza konstrukcije za podlogu prisutna je i kod koncepta 3. Opterećenje se prihvaća na vanjski dio malih osovin, dok unutrašnji dio tih osovin služi kao ručka, odnosno kao mjesto prihвата opterećenja od strane vježbača. Ručke se nalaze na pripadajućim vodećim osovinama koje se nalaze na zglobu smještenom na vrhu konstrukcije, tako da je dopuštena samo rotacija. Na donjem kraju vodeće osovine se nalaze kotačići koji se miču po zaobljenoj vodilici, dok se na razmaku od osovine nalazi druga osovina sa sigurnosnim držačima.

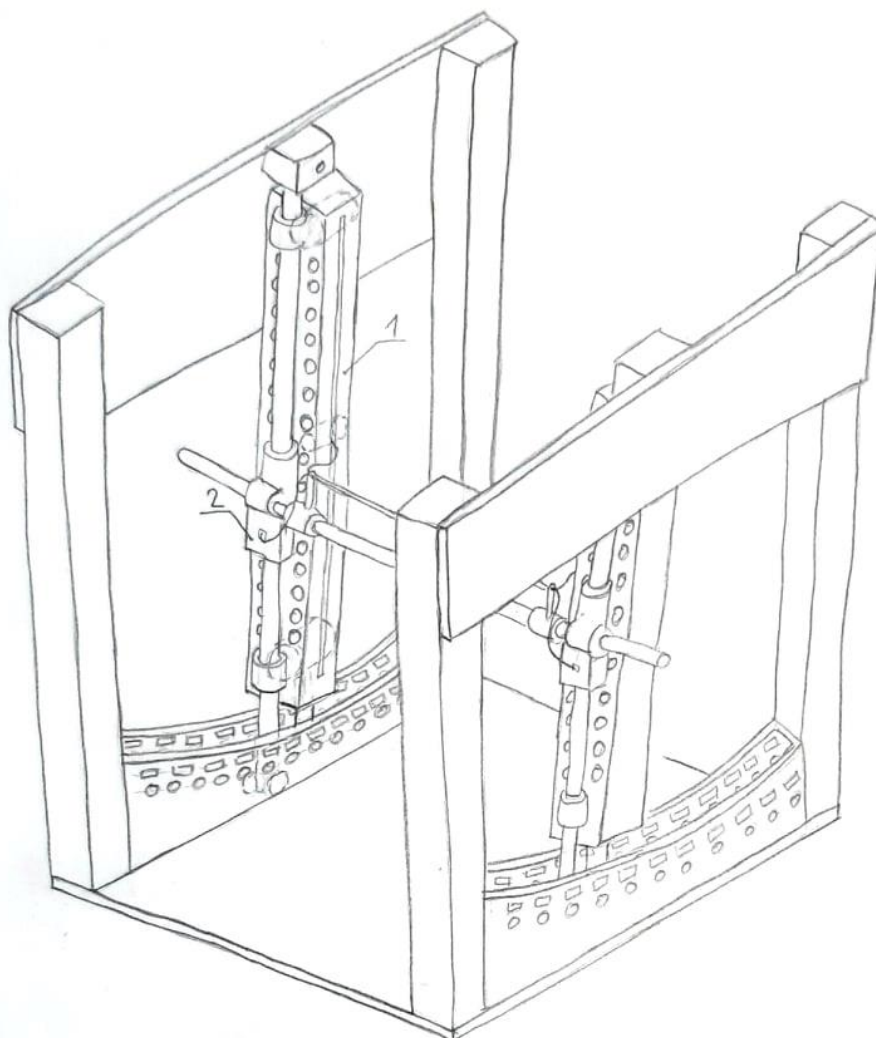


Slika 21. Koncept 3 - pneumatska izvedba

Rotacijom ručnog zgloba ručka (odnosno kuka pričvršćena za tu ručku) se odlaže na držače. Ravnotežni položaj vodeće osovine ostvaruje gornji prihvatni element koji je povezan s pneumatskim sustavom. Kod mirovanja, zrak pruža pritisak potreban za držanje osovine na mjestu. Kod nemogućnosti izvođenja pokreta prihvatni element prihvaća gornji dio vodeće osovine te usporava naglo ubrzanje pokretnog dijela naprave zahvaljujući pritisku zraka. Za razliku od prethodna dva koncepta, ova izvedba ima mogućnost podešavanja kuta za kontinuiran iznos. U donjem dijelu konstrukcije nalazi se pneumatski spremnik, dok se u sredini nalazi upravljačka ploča kojom se odabire trenutni položaj pneumatskog cilindra (samim time i nagiba pokretnog dijela konstrukcije) te ostali parametri koji se odnose na sigurnosni mehanizam sustava.

5.6.4. Koncept 4

Konstrukcija koncepta 4 ostvaruje vezu s podlogom preko ploče. Opterećenje se prihvaća na glavnu šipku te se tako odmah prenosi na vježbača koji drži šipku. Šipka se kreće ovisno o rotaciji vodeće osovine koja je prihvaćena zglibom na vrhu naprave. Na donjem dijelu vodeće osovine nalazi se kotačić za bolje i preciznije vođenje mehanizma. Vertikalna vodilica ostvaruje spoj sa sigurnosnim podsklopovima 1 i 2. Podsklop 1 ima kružne utore na svojoj vertikalnoj strani vidljivoj na Slici 22, te ti utori služe za prihvat sigurnosnih cilindara podsklopa 2 u svrhu kočenja vertikalnog pomaka šipke po vertikalnoj vodilici. Podsklop 1 na svom donjem dijelu sadrži cilindre koji po potrebi ulaze u utore zaobljene vodilice na donjem dijelu okvira. Dakle, prilikom vježbanja sigurnosni cilindri podsklopa 2 se nalaze unutar kutije te omogućuju vertikalni pomak šipke.



Slika 22. Koncept 4

Ista stvar se događa i kod podsklopa 1 gdje se sigurnosni cilindri na donjoj strani nalaze u povučenom stanju koje omogućuje zakret vertikalne vodilice oko gornjeg zgloba.

Navedeno otpuštanje sigurnosnih cilindara događa se kad vježbač primi šipku, odnosno kada pritisne pomoćnu šipku i spoji je s glavnom šipkom. Time se povlače sajle (jedna sajla za podsklop 1 i jedna sajla za podsklop 2) koje dalje pokreću prethodne mehanizme. U slučaju nemogućnosti izvođenja pokreta, vježbač mora ukloniti ruke s glavne šipke, čime se pomoćna šipka vraća u gornji položaj zahvaljujući oprugama prisutnima u podsklopovima 1 i 2. To dovodi do naglog ulaska sigurnosnih cilindara u predviđene utore i kočenje svih kretnji pokretnih mehanizama. Moguće je i podešavanje fiksnog nagiba vertikalnih vodilica. Kada se pronađe željeni nagib, ruke se uklone sa šipke te se kroz utore donjih zaobljenih vodilica stavlja zakočna osovina koja prolazi kroz rupu na donjem dijelu vodeće osovine.

5.7. Vrednovanje koncepata

Tablica 6 prikazat će vrednovanje prethodno generiranih koncepata koji će se direktno usporediti s referentnim modelom naprave. Kao referentni model naprave odabrana je *BodyCraft Jones* Smith mašina, budući da se ona već na početku pokazala kao poprilično dobar izbor, što se također vidi po njenom stanju u Tablici 1. No, ovdje će se sortirati kriteriji i odabrati neki najbitniji za ukupnu ocjenu naprave. Vrednovanje će biti izvedeno po metodi potencijala, dakle referentna konfiguracija dobiva ocjenu 0 u svim kategorijama, dok ostali koncepti mogu dobiti ocjene u rangu od -3 do 3.

Tablica 6. Vrednovanje koncepata

| Kriteriji vrednovanja | BodyCraft Jones (referentni model) | Koncept 1 | Koncept 2 | Koncept 3 | Koncept 4 |
|--------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Sigurnost | 0 | -3 | 1 | 1 | 3 |
| Biomehanička točnost | 0 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Kontrola pokreta | 0 | 1 | -3 | 1 | 1 |
| Broj izvedivih vježbi | 0 | 0 | 0 | -1 | 2 |
| Ekonomičnost | 0 | 3 | -2 | -2 | 0 |
| Jednostavnost korištenja | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Pouzdanost | 0 | -2 | -1 | 0 | 1 |
| Stabilnost | 0 | -2 | 1 | 2 | 2 |
| Rezultat | 0 | -1 | -1 | 4 | 11 |

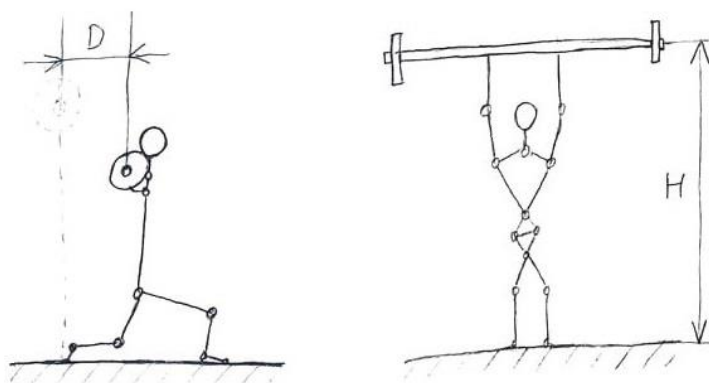
Iz Tablice 6 je vidljivo da je koncept 4 najbolje ocijenjen, stoga je on odabran za daljnju razradu.

5.8. Razrada koncepta

Nakon odabira koncepta, potrebno je konkretno razraditi dijelove sustava i njihovu interakciju kako bi se dobilo ukupno konstrukcijsko rješenje. Tijekom razrade neki dijelovi sustava su bitno promijenjeni, jer se ulaskom u detaljiranje dobio bolji uvid o izvedivosti, odnosno neizvedivosti pojedinih dijelova sustava. S obzirom da rješenje sadrži nove principe djelovanja pojedinih mehanizama (pogotovo sigurnosnih mehanizama), konkretno dimenzioniranje i proračun nisu provedeni. Razlog je taj što bi prvo trebalo isprobati pouzdanost i učinkovitost pojedinih mehanizama realnim eksperimentima, pa tek onda izvući podatke iz analize eksperimenta te krenuti u konkretni proračun dijelova. Ipak, kao orijentir pri dimenzioniranju postavljeni su se neki okvirni zahtjevi dobiveni iskustvom, procjenom i istraživanjem.

Prvi zahtjev je da maksimalno moguće opterećenje koje vježbač može podizati tijekom vježbanja iznosi 250 kg. Taj iznos je određen iskustvom i usporedbom s drugim proizvodima na tržištu. Budući da se radi o napravi koja stavlja fokus na rekreativce i početnike, iznos od 250 kg je i više nego dovoljan za tu skupinu ljudi te je on uzet s određenim faktorom sigurnosti. S druge strane, tim iznosom privući će se i iskusniji vježbači, tako da iako se radi o konstrukciji za određenu skupinu vježbača, ne isključuju se ostali iskusniji vježbači koji bi također htjeli vježbati na predloženoj napravi, te kojima bi ta naprava također nosila iste pogodnosti kao i početnicima.

Drugi mjerljivi zahtjevi odnose se na antropometrijske karakteristike vježbača. Antropometrijskim vrijednostima možemo okvirno odrediti gabaritne dimenzije dostupnog prostora za vježbanje. Posebice se to odnosi na maksimalnu visinu na koju se opterećenje može podići kada se izvode vježbe iz stajanja s rukama iznad glave. Za određivanje potrebne dubine unutarnjeg okvira promatrat će se iskorak (eng. *front lunge*), za visinu stojeći potisak (eng. *standing shoulder press*), dok se za širinu ne razmatra nijedna posebna vježba, već se razmatraju varijante standardnih vježbi, samo sa širokim hvatom. Isto tako kod širine treba uzeti u obzir prirodno širi hvat kod nekih vježbi kod kojih ruke nisu toliko opterećene (npr. čučanj), ali ih je potrebno udobno smjestiti na šipku. Slika 23 prikazuje antropomjere relevantne pri razmatranju dimenzija naprave.

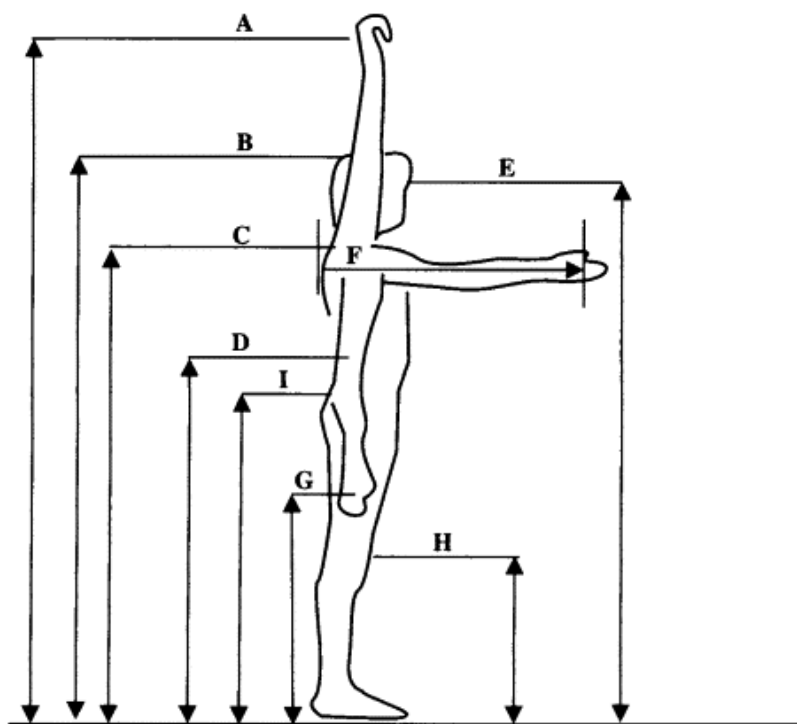


Slika 23. Određivanje okvirnih dimenzija prema predviđenim vježbama
 a) iskorak, b) stojeći rameni potisak

Kod određivanja dubine, potrebno je osigurati da šipka ima prostora putovati minimalnim putem D , kao i da vježbač, po mogućnosti, ne izlazi iz okvira naprave, ako je ekonomski i konstrukcijski opravdano.

Kada znamo na koji način određujemo okvirne unutarnje dimenzije naprave, potrebno je imati podatke o antropomjerama željenog tržišta. Pri razmatranju sve gornje granične dimenzije će se odnositi na 95. percentil, te će se promatrati muška populacija zbog većih antropomjera u usporedbi sa ženskom populacijom. Promatranjem 95. percentila pokriveno je 95 % populacije, te će dimenzije biti povećane za mali iznos, čime se osigurava još veća pokrivenost. U tu svrhu dane su Slike 24 i 25 na sljedećoj stranici.

Promatranjem Slike 23 i 24, vidljivo je da će ovdje biti potrebne dimenzije koje su na Slici 24 označene slovima A (visina s vertikalno ispruženom rukom), I (visina od poda do struka) te H (visina od poda do koljena). Razlikom veličina I i H dobit će se okvirna dimenzija natkoljenice, koja će uz veličinu H biti relevantna kod određivanja dubine naprave.



Slika 24. Antropomjere - referenca za tablicu [10]

| Anthropometric Dimensions | North Americans | | Japanese | | Hong Kong | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 95th% Man | 5th% Woman | 95th% Man | 5th% Woman | 95th% Man | 5th% Woman | | | | | | |
| A. Vertical grip/reach | 217.5 (cm) | 85.7 (in.) | 177.8 (cm) | 70.0 (in.) | 207.5 (cm) | 81.7 (in.) | 168.0 (cm) | 66.1 (in.) | 210.5 (cm) | 82.9 (in.) | 168.5 (cm) | 66.3 (in.) |
| B. Stature/head height | 184.4 | 72.6 | 149.5 | 58.9 | 175.0 | 68.9 | 145.0 | 57.1 | 177.5 | 69.9 | 145.5 | 57.3 |
| C. Shoulder height | 152.4 | 60.0 | 121.1 | 47.7 | 143.0 | 56.3 | 107.5 | 42.3 | 146.0 | 57.5 | 118.0 | 46.5 |
| D. Elbow height | 119.0 | 46.9 | 93.7 | 36.9 | 110.5 | 43.5 | 89.5 | 35.2 | 108.0 | 42.5 | 87.0 | 34.3 |
| E. Eye height | 172.7 | 68.0 | 138.2 | 54.4 | 163.5 | 64.4 | 135.0 | 53.1 | 164.0 | 64.6 | 133.0 | 52.4 |
| F. Forward grip/reach | 88.3 | 34.8 | 64.0 | 25.2 | 75.0 | 29.5 | 57.0 | 22.4 | 77.0 | 30.3 | 58.0 | 22.8 |
| G. Knuckle height | 80.5 | 31.7 | 64.3 | 25.3 | 80.5 | 31.7 | 65.0 | 25.6 | 81.5 | 32.1 | 65.0 | 25.6 |
| H. Knee height | 59.2 | 23.3 | 45.2 | 17.8 | 53.0 | 20.9 | 42.0 | 16.5 | 54.0 | 21.3 | 41.0 | 16.1 |
| I. Waist height | 110.5 | 43.5 | 86.4 | 34.0 | 89.5 | 35.2 | 70.0 | 27.6 | 92.0 | 36.2 | 71.5 | 28.1 |

Note: Add about 4 cm (1.5 in.) for shoes and 7.5–10 cm (3–4 in.) for hard hat.

Slika 25. Antropomjere - vrijednosti [10]

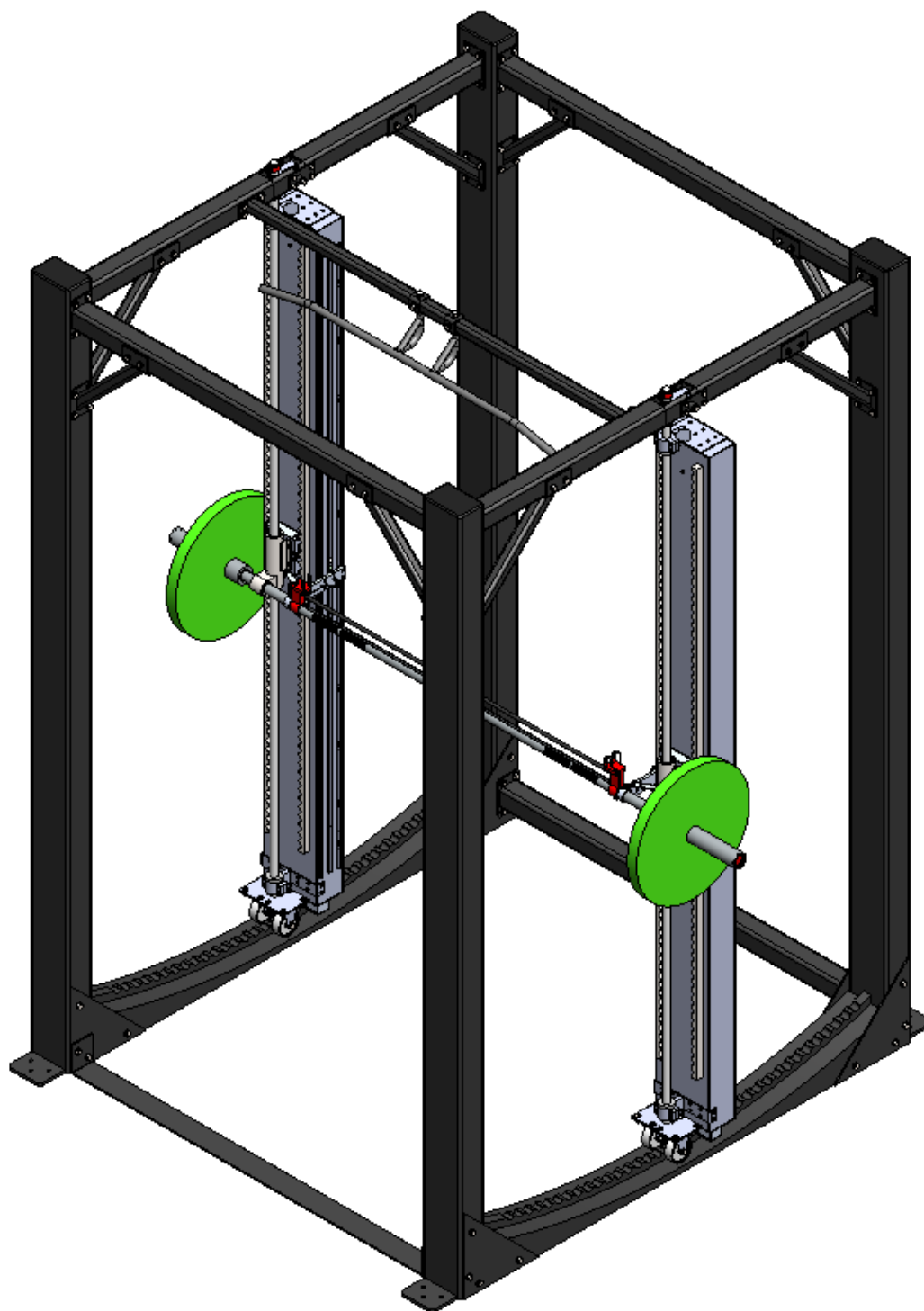
Dakle, minimalna visina dijela za vježbanje trebala bi biti 2175 mm (Slika 25). Ta visina raste na nešto veći iznos ako se uzme u obzir obuča vježbača, budući da su se antropometrijska mjerenja [10] provodila bez obuće kako bi dala univerzalne rezultate. Minimalna dubina, kada se gleda zadovoljavanje potrebnog puta šipke kroz prostor, odnosno pomak D na Slici 23, trebala bi iznositi oko 592 mm, odnosno jednu duljinu potkoljenice. Da se osigura prostor dovoljan da vježbač ne izlazi iz okvira, iznosu H se pribraja iznos (I – H) odnosno duljina natkoljenice, pa sada minimalna dubina iznosi oko 1100 mm. Pri određivanju širine ne javljaju se ograničenja već smjernice. Širina se određuje prema šipki, te je za postizanje što veće sličnosti s vježbanjem slobodnim utezima kao referenca odabrana olimpijska šipka ukupne duljine 2200 mm te duljine dijela predviđenog za hvat od 1300 mm. Ako se uzme u obzir da se kod gotovo nijedne vježbe sa šipkom ruke ne nalaze na širini od 1300 mm, ta dimenzija može biti još manjeg iznosa.

Dakle, u konstrukcijsku razradu ulazi se zahtjevima prikazanim Tablicom 7. U daljnjem tijeku konstruiranja javili su se dodatni zahtjevi koji nisu bili predviđeni na početku razrade, pa će i oni biti spomenuti tijekom objašnjavanja konstrukcijskog rješenja.

Tablica 7. Osnovni zahtjevi

| Tehnički zahtjevi | Dopuštena vrijednost |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Maksimalno opterećenje vježbača | 250 kg |
| Minimalna visina dijela za vježbanje | 2200 mm |
| Minimalna dubina dijela za vježbanje | 1100 mm |

Slika 26 na sljedećoj stranici prikazuje izometrijski prikaz cijele naprave, te će ona služiti za lakše snalaženje u prostoru i prednočenju prostornog rasporeda dijelova, sklopova i podsklopova. Nakon slike cijela će naprava biti opisana općenito gledajući, a zatim će se prikazivati bitniji sklopovi i mehanizmi koji predstavljaju promjenu s obzirom na postojeća rješenja i patente. Važno je reći i da će neki dijelovi sustava možda biti predimenzionirani zbog nedostatka prethodno spomenutih ispitivanja i eksperimenata, no kod ovakvog konstrukcijskog rješenja najbitnije je osmisliti što pouzdanije i bolje mehanizme, kako bi se eventualni daljnji broj iterativnih promjena pri dimenzioniranju smanjio na minimum.

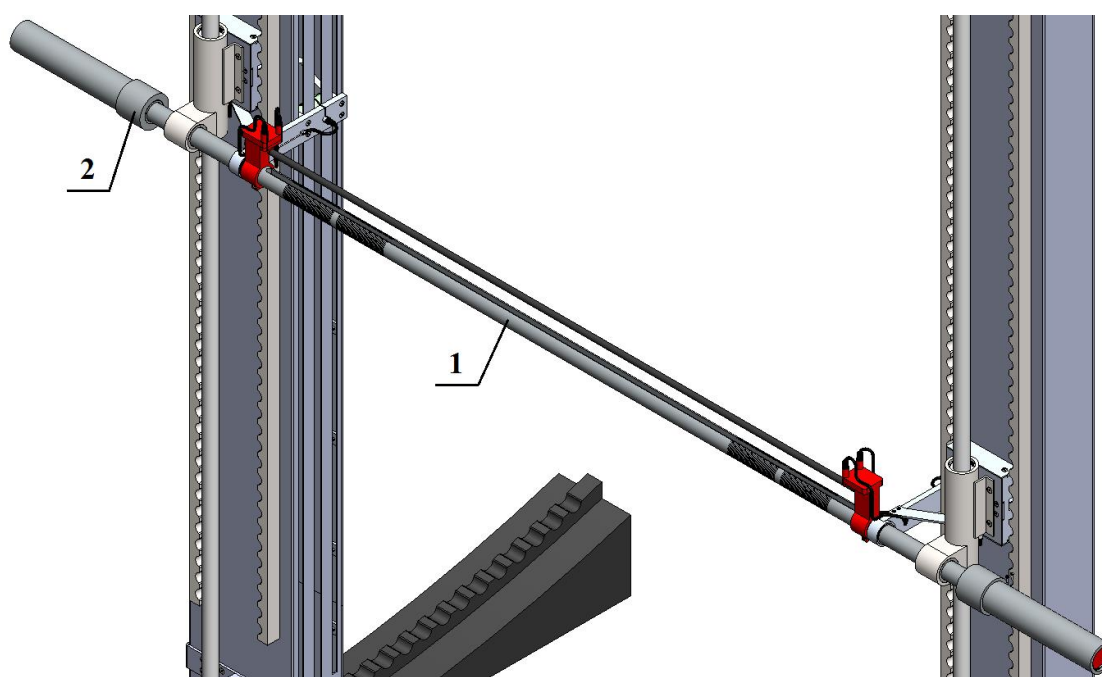


Slika 26. Konstrukcijsko rješenje naprave za kontrolirano terapijsko i sportsko sinergijsko vježbanje

Predloženo konstrukcijsko rješenje sastoji se od nekoliko sustava koji rade u interakciji. Glavno opterećenje čini šipka na čije se krajeve mogu postaviti dodatni utezi, čime se diskretno određuje željeno opterećenje pri vježbanju. Šipka je povezana s glavnom vertikalnom vodicom kojoj je dopuštena rotacija oko gornjeg zgloba smještenog unutar gornjeg okvira konstrukcije. Na donjem dijelu, za vertikalnu vodicu su pričvršćeni kotači koji se nalaze u stalnom kontaktu sa zaobljenom donjom plohom. Na vertikalnoj vodilici nalaze se i donji i gornji graničnik kojima je funkcija da ograniče prostor vježbanja po visini kako ne bi došlo do neželjenih udara u ostale dijelove konstrukcije. Vertikalna vodilica povezana je i s vertikalnim sigurnosnim stupom, tako da se rotacijom oko gornjeg zgloba oba sklopa pomiču zajedno. Iznad glavne šipke za vježbanje smještena je manja sigurnosna šipka čijim pomicanjem se aktiviraju oba sigurnosna mehanizma prisutna kod naprave. Jedan sigurnosni mehanizam odnosi se na zaustavljanje rotacije vertikalne vodilice oko gornjeg zgloba, dok se drugi sigurnosni mehanizam odnosi na zaustavljanje klizanja šipke po vertikalnoj vodilici. Pri vježbanju, kada vježbač primakne pomoćnu šipku ka glavnoj šipki, sajle spojene za pomoćnu šipku se povlače i pomiču sigurnosne klinove u položaj u kojem oni ne ometaju gibanje šipke u prostoru. Kada se opterećenje želi odložiti, odnosno kada vježbač želi prestati vježbati, potrebno je samo otpustiti hvat čime opruge prisutne u sigurnosnim mehanizmima pomiču sigurnosne klinove u poziciju u kojoj oni onemogućuju pomak šipke. Klinovi su na svojim krajevima zaobljeni te ulaze u jednako zaobljene utore koji se nalaze na donjoj središnjoj zaobljenoj plohi, odnosno gore na utorima vertikalnog sigurnosnog stupa. Uz nesmetano izvođenje pokreta, naprava nudi i mogućnost fiksnog podešavanja nagiba vodilice, čime se dodatno povećava broj mogućih vježbi koje se mogu izvoditi na ovoj napravi. Navedeno fiksno podešavanje moguće je ukoliko se otpusti sajla koja se odnosi na rotaciju vodilice oko gornjeg zgloba. Time se, prilikom ponovnog spajanja pomoćne i glavne šipke, cijeli mehanizam može pomicati jedino po vertikalnoj vodilici čiji je nagib sada fiksiran, budući da donji sigurnosni klin onemogućava rotaciju vodilice. Gornji zglob povezan je s okvirom konstrukcije koji se na donjem dijelu povezuje s podlogom preko vijaka.

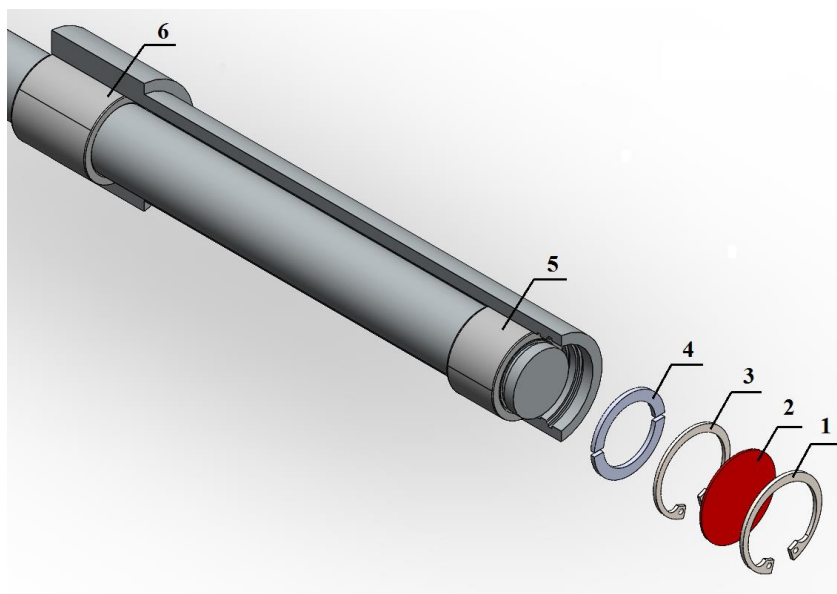
5.8.1. Šipka za vježbanje

Prvi dio koji će biti detaljnije obrađen bit će šipka za vježbanje. Šipka za vježbanje sastoji se od dva dijela, a to su glavna šipka (1) te dva rukava za utege (2). Šipka (1) na jednoj strani ima utor u koji ulazi pomoćna šipka pri vježbanju. Time se vježbaču pruža bolji i prirodniji osjećaj zbog nenarušenog prirodnog položaja i stiska zatvorene šake. Na određenim dijelovima površine šipke je narovašena kako bi vježbač lagano i precizno mogao simetrično namjestiti položaj ruku na šipki, što dovodi do ravnomjerne opterećenosti lijeve i desne strane tijela.



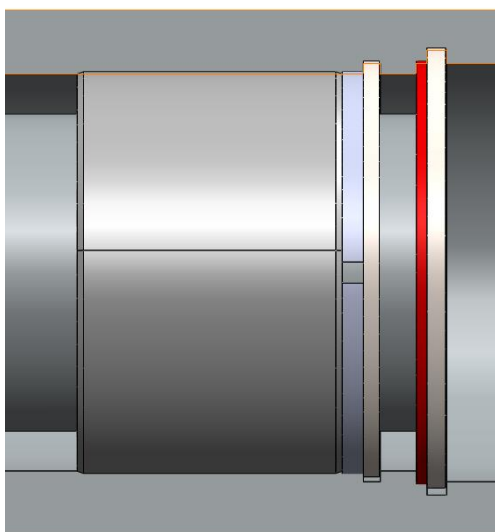
Slika 27. Šipka za vježbanje - izometrija

Rukav za utege (2) je šuplji te na svoja dva kraja ima uprešane brončane čahure koje znatno olakšavaju međusobno klizanje pri rotaciji šipke.. Takvo rješenje je potrebno zbog toga što se u suprotnom onemogućava relativan zakret rukava (2) prema šipki (1), što dovodi do nemogućnosti laganog okreta ručnog zgloba prilikom izvođenja nekih kompleksnijih pokreta sa šipkom. Na Slici 28 dan je izometrijski prikaz navedenog spoja, zajedno s elementima koji su potrebni kako bi se pravilan spoj osigurao, dok Slika 29 prikazuje isti spoj u bočnom presjeku sa potpuno montiranim elementima.



Slika 28. Izometrijski prikaz spoja rukava (2) i šipke (1)

Rukav s uprešanim brončanim čahurama (5) i (6) navlači se na kraj šipke te se zatim postavljaju dva poluprstena (4) koji unutarnjim dijelom prstena naliježu na utor na osovini, a vanjskim dijelom prstena naliježu na utor rukava. Kada bi prsten bio izrađen iz jednog dijela, montaža ne bi bila moguća te bi se učvršćenje trebalo riješiti na drugačiji način. Sljedeći dio koji se montira je unutarnji uskočnik (3) po DIN 472 koji osigurava pravilan kontakt poluprstena (4). Na taj način dijelovi (5), (4) i (3) osiguravaju rukav od aksijalnog pomaka po osovini. Na kraju se postavlja još i poklopac (2) koji sprječava ulazak prljavština izvana, te se on također osigurava pomoću uskočnika (1).



Slika 29. Bočni pogled spoja rukava i šipke

Standardni dijelovi koji su uključeni u ovom sklopu su dvije sinterirane brončane čahure klasične izvedbe (bez proširenih rubova) koje proizvodi *SKF* (Slika 30), te četiri unutarnja uskočnika po DIN 472 (Slika 31).



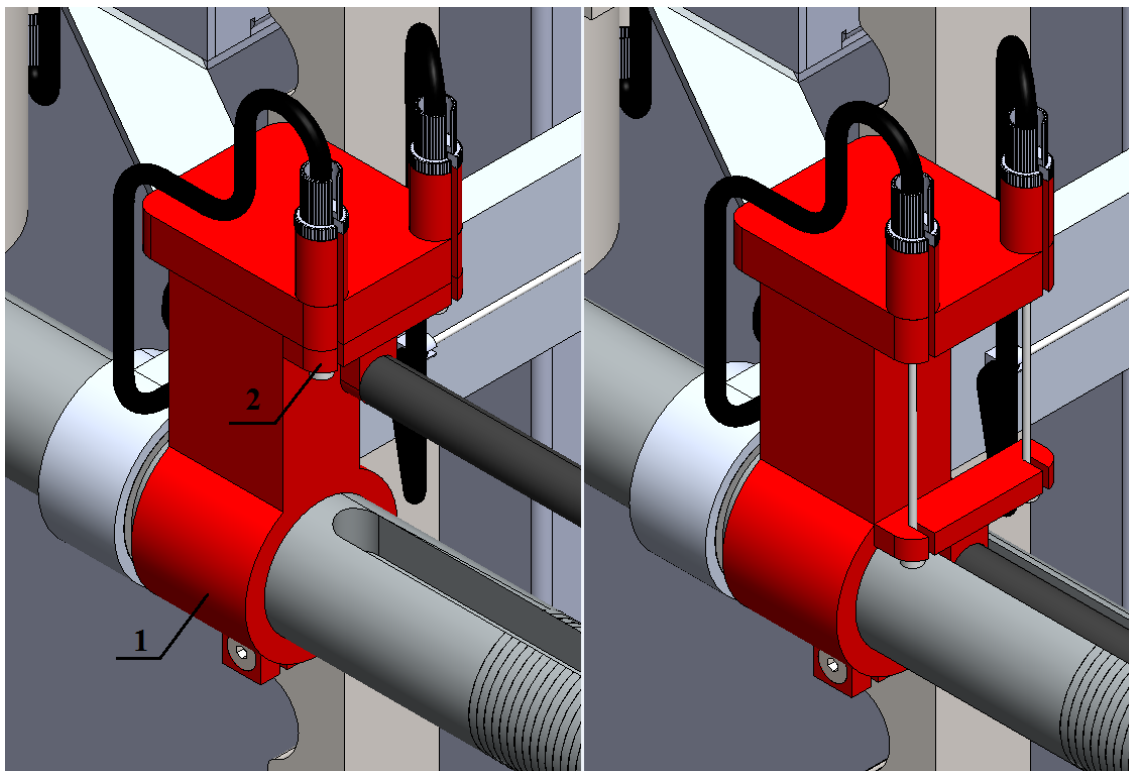
Slika 30. Sinterirana brončana čahura, SKF [11]



Slika 31. Uskočnik za provrte, DIN 472 [12]

5.8.2. Pomoćna šipka

Pomoćna šipka služi kao aktivacijski dio sigurnosnog mehanizma cijele naprave. Ista se može vidjeti na Slici 27. Za daljnje objašnjenje mehanizma poslužit će Slika 32. Na toj slici se također vide i sigurnosne sajle, no taj dio će se obraditi u zasebnom dijelu. Pomoćna šipka povezana je s glavnom šipkom preko polimernog držača (1). Bitno je osigurati takav spoj da se dio (1) rotira zajedno s glavnom šipkom, kako ne bi došlo do izmicanja pomoćne šipke. Taj spoj je ostvaren cilindričnom površinom nalijeganja i zatezanjem vijkom i maticom u donjem dijelu.

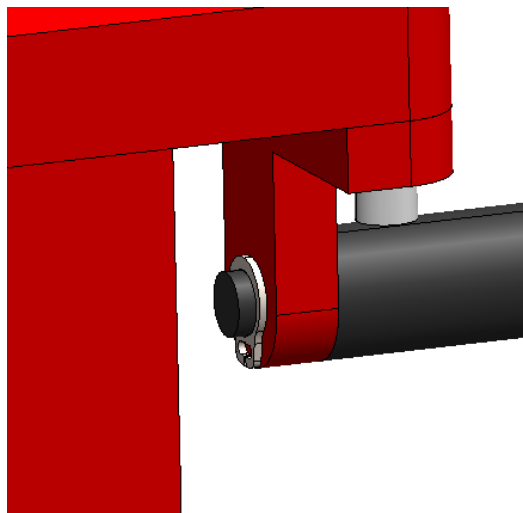


Slika 32. Spoj pomožne šipke i glavne šipke
a) gornji položaj pomoćne šipke, b) donji položaj pomoćne šipke

U stanju mirovanja, pomoćna šipka nalazi se na određenom razmaku od glavne šipke. Taj razmak je dobiven jednostavnim antropometrijskim mjerenjima ženske populacije 5. percentila te iskustvenom procjenom. Naime, praktično se promatralo kolika bi bila optimalna udaljenost pomoćne šipke od glavne šipke tako da bi se prirodno mogla zatvoriti šaka i aktivirati sigurnosni mehanizam. Nakon mjerenja, uzeta je udaljenost od 40 mm.

Prilikom aktivacije pomoćne šipke, ona se spušta prema glavnoj šipki i ulazi u njen utor. Samim time se pomiče i polimerni nastavak (2) koji je povezan sa sajlama. Tim jednostavnim mehanizmom regulira se početak, odnosno kraj izvođenja vježbi na napravi.

Spoj pomoćne šipke i polimernog nastavka (2) osiguran je prolaskom cilindričnog dijela šipke kroz utor polimernog nastavku (2) te uskočnikom za osovine prema DIN 471 (Slika 33 i 34).



Slika 33. Spoj pomoćne šipke i polimernog nastavka pomoću uskočnika



Slika 34. Uskočnik za osovine, DIN 471 [13]

5.8.3. Sustav sajli

Sustav sajli jedan je od sustava od kojeg se mora očekivati najveća pouzdanost, budući da ispravan rad tog sustava veže ispravan rad cijele naprave. Ukoliko sajle ne izvršavaju zadanu funkciju, daljnji sigurnosni sustavi su kompromitirani. Stoga se zaključuje da je upravo sustav sajli jedan od sustava čiji bi rad trebalo odrediti ispitivanjem, te eventualne promjene donijeti uz što manju promjenu trenutnog rješenja.

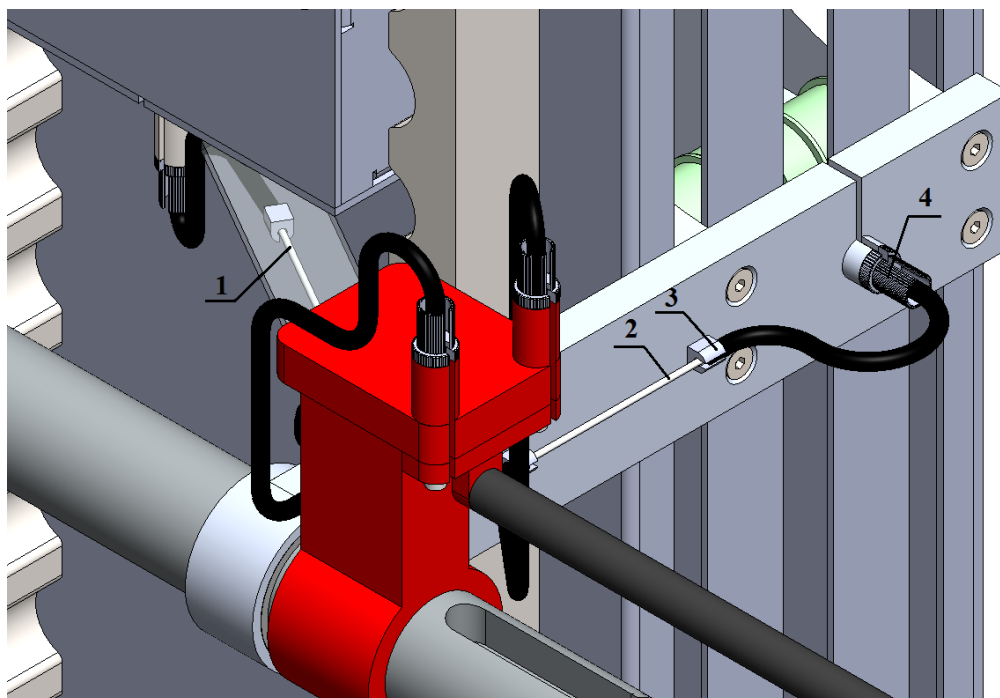
Sajle koje se primijenjuju su zapravo spoj čelične užadi, unutarnje polimerne cijevi koja smanjuje faktor trenja i osigurava pravilno pomicanje užadi te vanjske zaštite, što se može vidjeti na Slici 35. To su jednostavni dijelovi koji se aktiviraju na povlačenjem – iznos pomaka za koji se povuče jedan kraj unutarnje čelične užadi jednak je pomaku na drugom kraju sajle.



Slika 35. Komponente sajle [14]

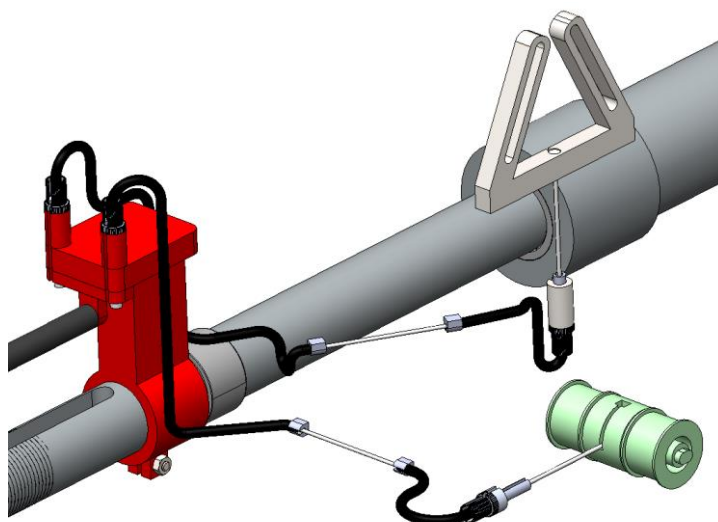
Slika 36 prikazuje sustav sajli na konstrukcijskom rješenju u izometrijskom pogledu. Na svakoj strani naprave smještene su dvije sajle, te svaka aktivira svoj sigurnosni mehanizam. Sajla (1) odnosi se na obustavu klizanja glavne šipke po vertikalnoj vodilici dok sajla (2) aktivira mehanizam kojim se koči rotacija vodilice oko gornjeg zgloba. Napetost i položaj sajli osigurava se pomoću dijelova (3) i (4).

Podešavanje fiksnog kuta vodilice moguće je odvrtnjem vijka koji se pričvršćuje za crveni polimerni nosač te izvlačenjem sajle iz svog običnog položaja. Time se pritiskom pomoćne na glavnu šipku ne aktiviraju oba mehanizma, već samo mehanizam odgovoran za vertikalno kočenje šipke.

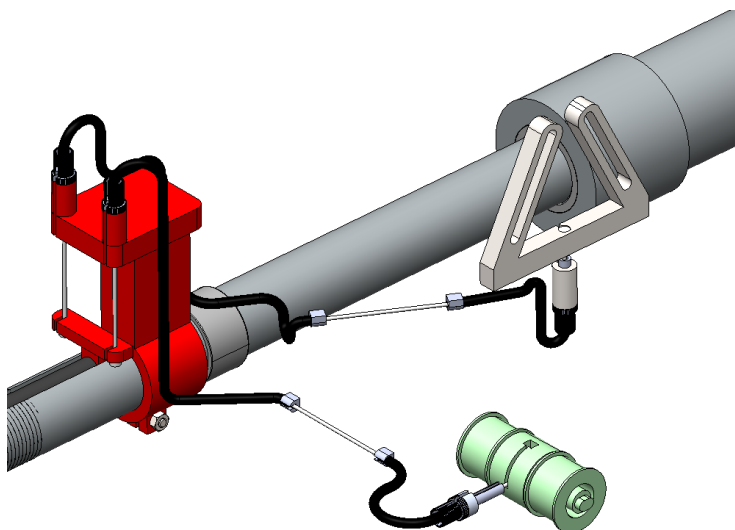


Slika 36. Sajle - izometrijski pogled

Naime, svaki kraj sajle pričvršćen je sa svojom pripadnom komponentom preko vijčanog dijela (4). Taj vijak osigurava da kraj sajle ostane na tako postavljenom mjestu, te se njegovim zatezanjem može utjecati i na napetost sajle. Daljnje napinjanje sajle osigurano je putem para napinjača (3). Između dva napinjača (3) čelično užje je izloženo, te se njegove popratne strukture (unutarnje cijevi i vanjska zaštita) naslanjaju na površinu napinjača (3). Time se sprječava „slučajno“ pomicanje sajli i dobiva se na preciznosti željenog pomaka. Navedeno se može vidjeti i na Slikama 37 i 38. Uz sajle, slike prikazuju i dva dijela (trokutasti i cilindrični) koji aktiviraju daljnje mehanizme, no oni će biti opisani kasnije.



Slika 37. Sajle u opuštenom stanju

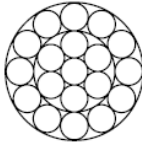


Slika 38. Sajle u aktiviranom stanju


Sličan princip sajli može se vidjeti i na biciklima. Kada ne bi bilo napinjanja sajli, njihova aktivacija zavisila bi o trenutnom položaju sajle u prostoru, njenoj zakrivljenosti i slično. To veže za sobom još jednu bitnu stvar, a to je duljina kabla. Krajevi sajli koji su povezani s polimernim nastavkom (poveznica pomoćne i glavne šipke) trebaju biti dovoljne duljine kako bi se dopustio lagani zakret šipke prilikom vježbanja. Krajevi na drugoj strani nemaju takav zahtjev, budući da se sajle na tom dijelu ne zakreću.

Na kraju, provedeno je dimenzioniranje popratnih dijelova prema odabranim standardnim veličinama sajli i njezinih komponenti.

Postoje razne konfiguracije i prostorni raspored vlakana kod čelične užadi, no prema podacima i preporukama u katalogu [14] odabrana je unutarnja čelična užad tzv. „1 x 19“ konfiguracije promjera 1,5 mm. (Slika 39).



Stahldrahtlitze, Werkstoff 1.4401
Konstruktion 1 x 19
Stainless steel strand AISI 316
Construction 1 x 19



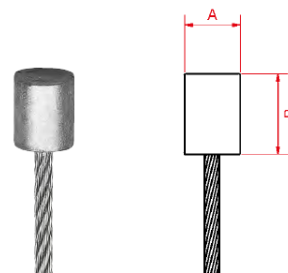
| Nenn- \emptyset Nom- \emptyset | Mindestbruchkraft Min. break. load | Gewicht Weight | Art.-Nr. alt Item No. old | Art.-Nr. neu Item No. new |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------------------|---|
| mm | N | kg/1000 m | | |
| 0,15 | 25 | 0,110 | CG019015 | LI000031 |
| 0,20 | 44 | 0,200 | CG019020 | LI000032 |
| 0,25 | 69 | 0,300 | CG019025 | LI000033 |
| 0,30 | 98 | 0,440 | CG019030 | LI000034 |
| 0,35 | 135 | 0,600 | CG019035 | LI000035 |
| 0,40 | 177 | 0,780 | CG019040 | LI000036 |
| 0,45 | 224 | 0,970 | CG019045 | LI000037 |
| 0,50 | 275 | 1,200 | CG019050 | LI000038 |
| 0,55 | 330 | 1,450 | CG019055 | LI000039 |
| 0,60 | 392 | 1,750 | CG019060 | LI000040 |
| 0,65 | 461 | 2,070 | CG019065 | LI000041 |
| 0,75 | 618 | 2,760 | CG019075 | LI000042 |
| 0,85 | 795 | 3,500 | CG019085 | LI000043 |
| 1,00 | 1079 | 4,900 | CG019100 | LI000044 |
| 1,25 | 1300 | 7,600 | 01531012 | LI000045 ² |
| 1,50 | 1860 | 11,100 | 01531015 | LI000046 ² |
| 2,00 | 3300 | 19,800 | 01531020 | LI000047 ² |
| 2,50 | 5150 | 31,000 | 01531025 | LI000048 ² |
| 3,00 | 7420 | 44,600 | 01531030 | LI000049 ² |
| 3,50 | 10100 | 60,700 | 01531035 | auf Anfrage ² on request ² |
| 4,00 | 13200 | 79,300 | 01531040 | LI000050 ² |
| 5,00 | 20300 | 124,000 | 01531050 | LI000051 ² |

Slika 39. Izbor unutarnje čelične užadi [14]

Nakon odabira promjera čeličnog užeta, prelazi se na odabir završetka koji će biti povezan s dijelovima koji se pomiču. Budući da se želi uštedjeti na prostoru i volumenu pomičnih dijelova, odabire se prvi nastavak prema Slici 40.

Zylindrischer Nippel gespritzt* | Die-cast cylindrical stop sleeve*

| für Seil- \varnothing for cable \varnothing | A $\varnothing \pm 0,3$ | B $\pm 1,0$ | Art.-Nr. alt Item No. old | Art.-Nr. neu Item No. new |
|--|----------------------------|----------------|------------------------------|------------------------------|
| mm | mm | mm | | |
| 1,5 | 4,7 | 3,5 | ZN1507 | WK000096 |
| 1,5 | 4,7 | 4,8 | ZN1508 | WK000097 |
| 1,5 | 5,0 | 6,0 | ZN1501 | WK000015 |
| 1,5 | 7,6 | 4,8 | ZN1503 | WK000092 |
| 2,0 | 4,7 | 4,8 | ZN2002 | WK000016 |
| 2,0 | 7,6 | 4,8 | ZN2001 | WK000099 |
| 2,5 | 6,0 | 6,0 | ZN2501 | WK000017 |
| 3,0 | 6,0 | 8,0 | ZN3001 | WK000100 |
| 3,0 | 6,0 | 10,0 | ZN3003 | WK000018 |
| 3,0 | 7,0 | 13,0 | ZN3004 | WK000102 |
| 3,0 | 8,0 | 8,0 | ZN3002 | WK000101 |

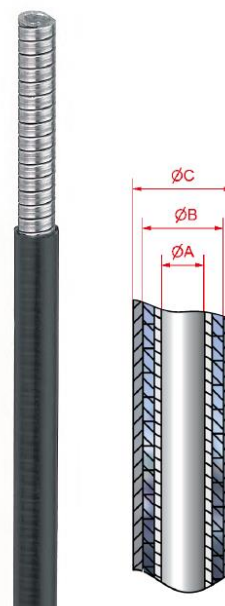


Slika 40. Završetak odabrane sajle [14]

Na kraju, odabir vanjskog dijela sajle izvršen je prema odabranom unutarnjem promjeru, kao što pokazuje Slika 41. Postoji i odabir vanjskog dijela koji ne sadrži cijev od polioksimetilena, no budući da je ispravan rad kablova od kritične važnosti, odabrana je izvedba s polimernom cijevi.

Flachdrahtspiralen mit Auskleidungsrohr | Flat wire spirals with inner tube

| $\varnothing A$ | $\varnothing B$ | $\varnothing C$ | Auskleidung Tube material | Werkstoff Material | Art.-Nr. alt Item No. old | Art.-Nr. neu Item No. new |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|
| mm | mm | mm | | | | |
| 1,50 | 3,90 | 4,70 | POM | verzinkt galv. | FKP152647 | SP000015 |
| 2,20 | 4,00 | 4,90 | POM | blank ungalv. | FKP224049 | SP000002 |
| 2,70 | 5,00 | 6,00 | POM | blank ungalv. | FKP275060 | SP000003 |
| 3,00 | 5,90 | 6,80 | POM | blank ungalv. | FKP305968 | SP000004 |



Slika 41. Vanjski dio sajle [14]

Na Slici 42 može se vidjeti prethodno navedeni vijčani dio, a njegova točna pozicija u sklopu vidljiva je na Slici 36. Odabrana je izvedba sa prorezom po jednoj strani kako bi se omogućila jednostavna montaža i demontaža sajli.



Slika 42. Prilagodbeni vijak za sajlu [15]

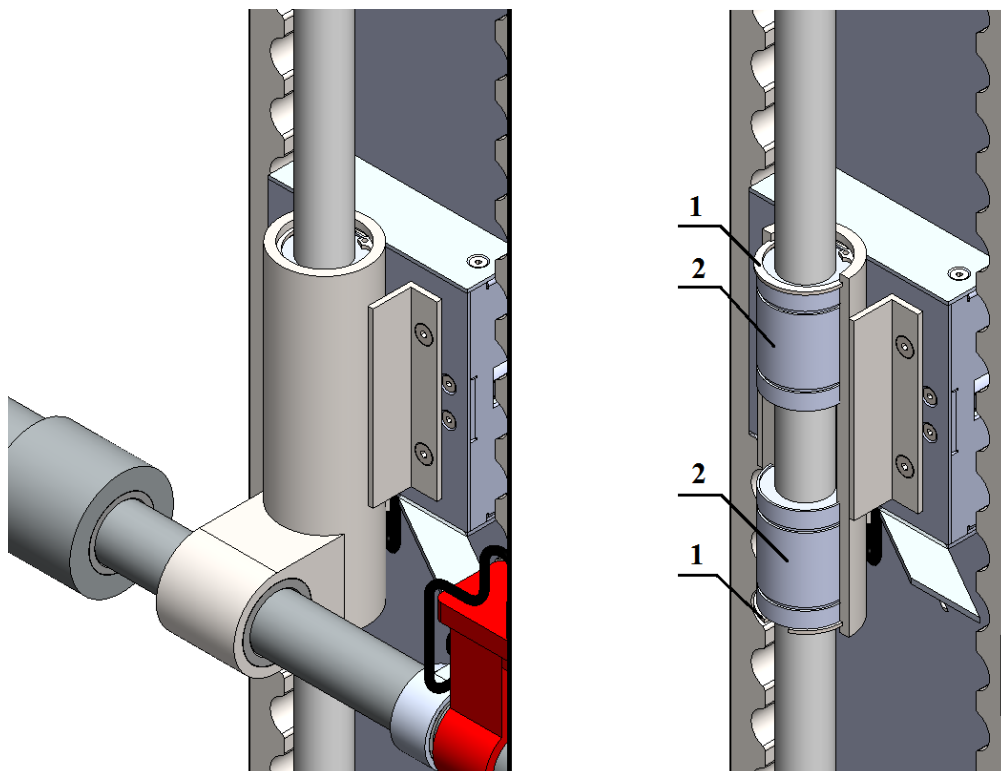
5.8.4. Vertikalna vodilica

Vertikalna vodilica još je jedan od bitnijih dijelova sustava. Ona mora biti dovoljne tvrdoće i odgovarajuće površinske kvalitete kako bi se osiguralo pravilno klizanje i pomicanje elemenata, tako da ne dolazi do „zavlačenja“ prilikom akceleracije i deakceleracije šipke.

Ojačana, cementirana vodilica za linearne ležajeve tvrdoće 60 – 64 HRC i tolerancije h6 prikazana je Slikom 43. Vodilice se naručuju prema željenoj duljini i željenom završetku, tako da bi prema trenutnom konstrukcijskom rješenju potrebna duljina vodilice iznosila $l = 2530$ mm. Promjer vodilice: $d = \varnothing 25$ mm.



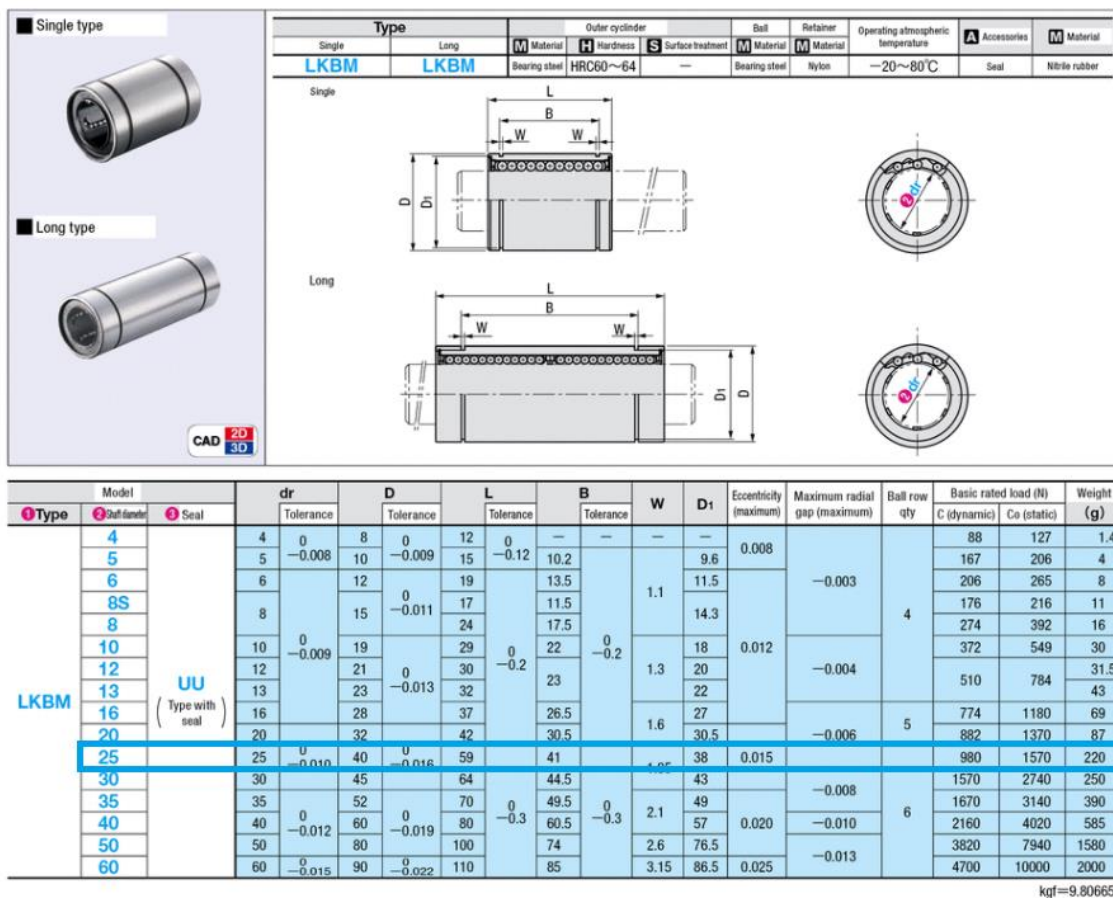
Slika 43. Vertikalna vodilica [16]



Slika 44. Vertikalna vodilica

a) Spoj vertikalne vodilice i glavne šipke, b) presjek čahure s ležajevima za vodilicu
 Zavarene i međusobno okomite cilindrične čahure (Slika 44) služe kao kućište te poveznica vertikalne vodilice i glavne šipke. Dio kućišta koji je povezan s glavnom šipkom u svom provrtu ima uprešanu brončanu čahuru, dok vertikalni dio unutar provrta ima smještena dva linearna ležaja. Razlog tomu je što je vertikalna preciznost i brzina od velike važnosti, dok će za povremenu rotaciju šipke poslužiti i brončana čahura, tako da nema potrebe za skupljim izvedbama, npr. za kugličnim ležajem. Kako bi se povećala preciznost vođenja, na svakoj vodilici nalazi se par linearnih ležajeva. Na unutarnjem dijelu, oni naliježu svojom površinom na plohu kućišta, dok su na vanjskom dijelu od pomaka osigurani uskočnikom za provrte (DIN 472).

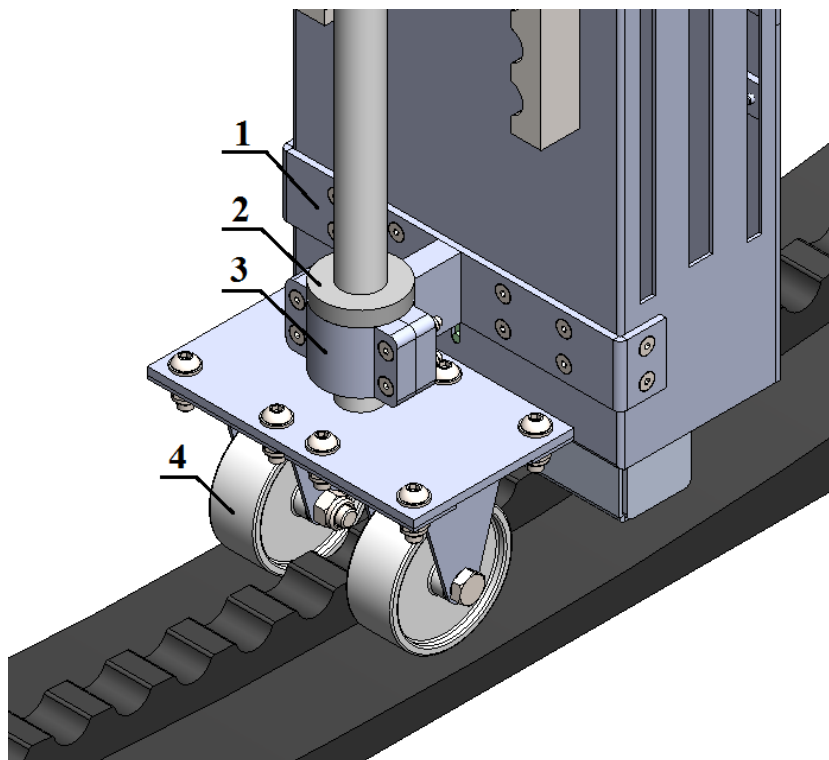
Prema [17], izvršen je odabir linearnih ležaja te je odabran ležaj LKBM25UU (Slika 45).



Slika 45. Linearni ležaj LKBM25UU [17]

5.8.5. Kotači i donji dio vodilice

Donji dio vodilice sadrži nekoliko elemenata (Slika 46), a to su vertikalni sigurnosni stup, spojni dio vertikalnog stupa i vodilice (1), gumeni graničnik (2), graničnik i vezni dio (3) te kotače (4). Vertikalni stup povezan je vijcima i veznim dijelom za vertikalnu vodilicu. Dijelovi (2) i (3) sprječavaju neželjeno pomicanje šipke ispod predviđene razine. Kotači (4) predstavljaju dio pokretnog sustava koji dolazi u kontakt s donjim zaobljenim vodećim ploham. Kao i u prethodnom poglavlju, niti u ovom dijelu ne smije doći do „zavlačenja“ mehanizma prilikom akceleracije nastale tijekom vježbanja. Stoga je, uz nosivost kotača, bitan i materijal vanjskog dijela kotača. Odabran je EUROKRAFTbasic - poliamidni kotač s valjkastim ležajem. [18] Otporan je na habanje, laganog je hoda, malog otpora pri pokretanju te mu nosivost pri 4 km/h (1,11 m/s) iznosi 130 kg. Budući da je određeno maksimalno opterećenje vježbača od 250 kg (koje zbog dinamičkih uvjeta može porasti i na veći iznos, recimo 320 kg), odabrani kotači će moći nositi to opterećenje uz popratnu pokretnu strukturu. Odabrani kotač vidi se na Slici 47.



Slika 46. Donji dio vertikalne vodilice

EUROKRAFTbasic – Poliamidni kotač, u bijeloj boji

valjkasti ležaj, od 2 kom.

- Štiti podove, ne ostavlja tragove
- Visoka otpornost na habanje, mali otpor pri pokretanju, dugačak vijek trajanja
- Temperaturna otpornost od -40 °C do +80 °C

[+ Prikaži više](#)

<
>

⚙️ Promijeniti svojstva

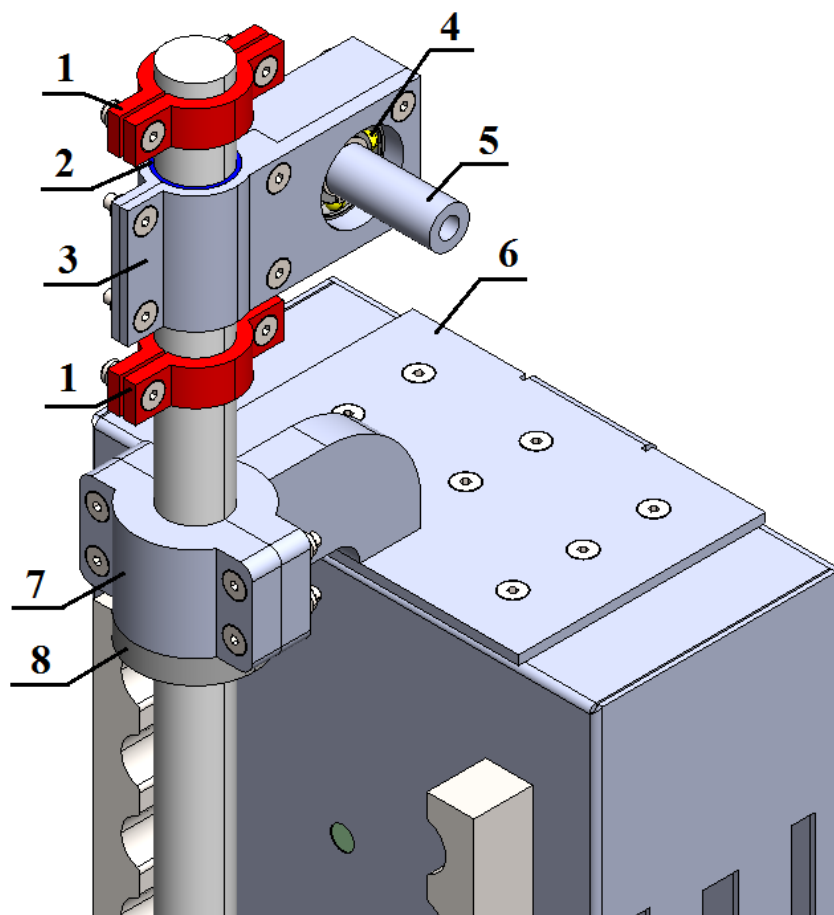
| Promjer kotača [mm] | | | Nosivost pri 4 km/h [kg] | | | Širina kotača [mm] | | | Dužine glavčine [mm] | | |
|---------------------|-----|-----|--------------------------|-----|-----|--------------------|----|----|----------------------|----|----|
| 80 | 100 | 125 | 130 | 150 | 200 | 34 | 36 | 38 | 40 | 50 | 59 |
| 150 | 160 | 200 | 300 | | | 50 | | | | | |

| Otvor glavčine [mm] | | | Promjer osovine [mm] | | |
|---------------------|----|----|----------------------|----|----|
| 12 | 15 | 20 | 8 | 10 | 12 |

Slika 47. EUROKRAFTbasic - poliamidni kotač [18]

5.8.6. Gornji dio vodilice

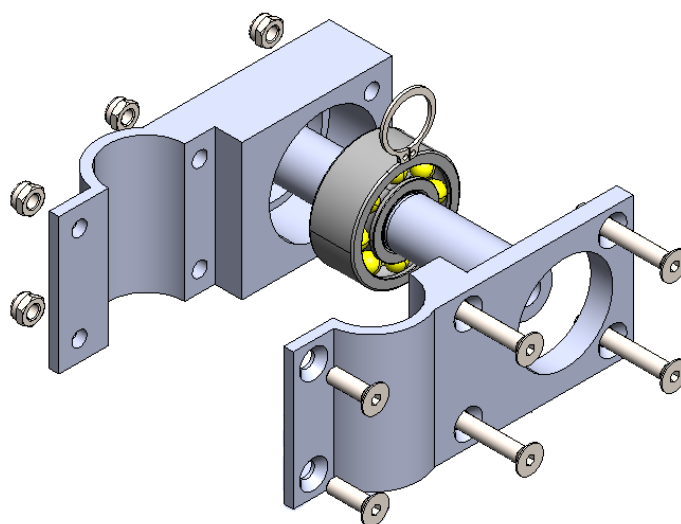
Gornji dio vodilice vidi se na sljedećoj slici, s time da, radi lakšeg predočenja, na slici nije prikazan okvir konstrukcije. Vertikalna vodilica s vertikalnim sigurnosnim stupom povezana je preko pločastog dijela (6) te kućišta (7). Ispod dijela (7) nalazi se gumeni graničnik (8) koji služi za ograničavanje vertikalnog položaja šipke pri vježbanju, odnosno onemogućuje situaciju u kojoj se narušava integritet sklopa gornjeg zgloba. Osovina (5) povezana je s okvirom konstrukcije (nije prikazano na ovoj slici) na svojim krajevima, dok je u sredini povezana s kućištem (3). Kuglični ležaj (4) omogućava laganu rotaciju vertikalne vodilice oko osovine (5). Prilikom rotacije dolazi do klizanja kućišta (3) po vodilici, pa je zato u kućište smještena klizna čahura (2). Kako bi se ograničio dopušteni kut rotacije i onemogućilo ispadanje dijelova, za vertikalnu vodilicu pričvršćeni su dijelovi (1).



Slika 48. Gornji dio vodilice

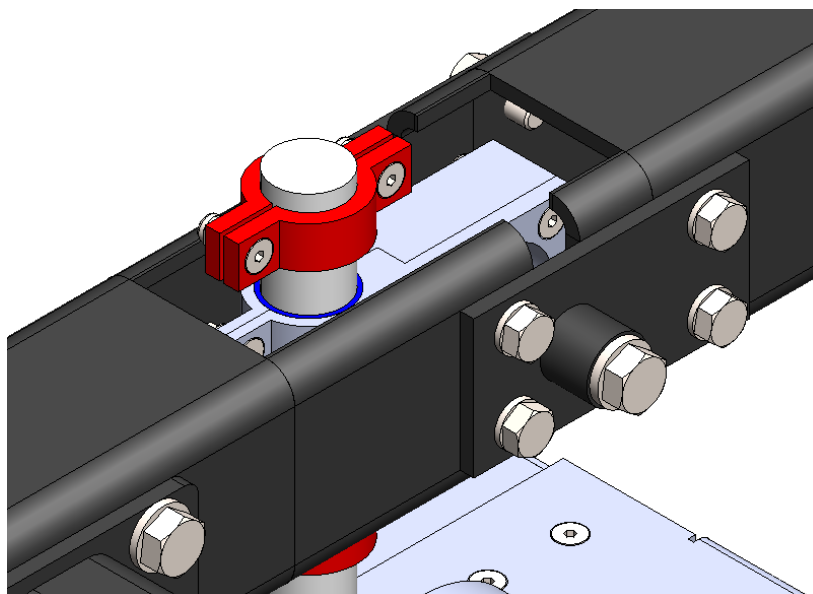
Osovina (5) ne prolazi uzdužnom osi vertikalne vodilice zbog toga što se ovakvom izvedbom znatno rasterećuje gornji zglob. Kada to ne bi bio slučaj, gornji zglob bi preuzimao dio opterećenja koji bi često mijenjao smjer i iznos. Sve to bi dovelo do skraćenog trajanja ležaja i teže rotacije vodilice. Ovakvom izvedbom može se pretpostaviti da će većinu opterećenja nositi donji kotači, što je mnogo bolje. Ipak, i dalje će ležaj morati nositi dio opterećenja, pa će tako ubrzanje šipke pri izvođenju pokreta prema gore dovesti do sigurnog opterećenja ležajnog mjesta.

Važno je voditi računa i o što jednostavnijoj montaži i demontaži ležajnog mjesta (Slika 49). Ležaj se stavlja na osovinu te unutarnjim prstenom naliježe na mjesto povećanog promjera s jedne strane, a s druge strane osigurava se uskočnikom (DIN 471). Vanjski prsten naliježe na površinu jednog dijela kućišta, dok sklapanjem kućišta ono osigurava aksijalni pomak s druge strane.



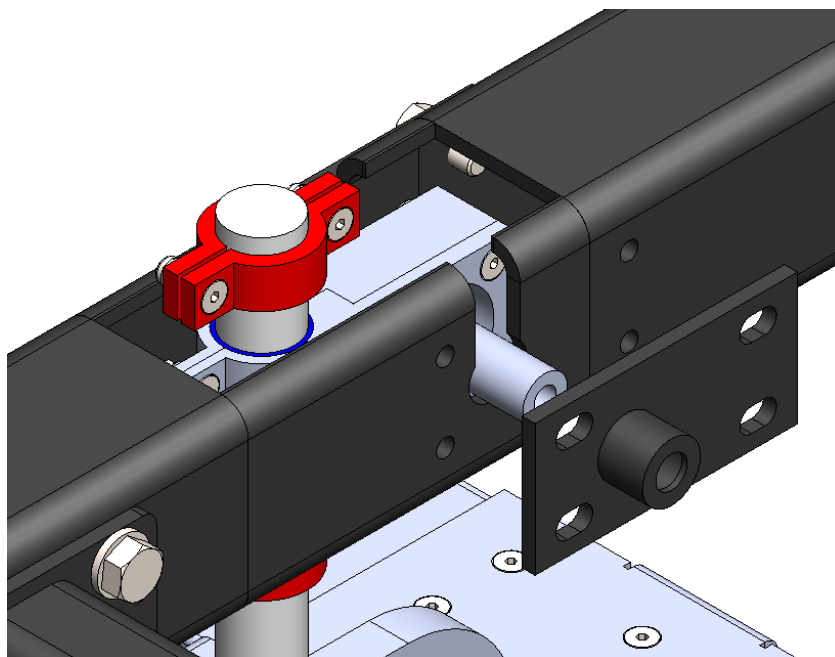
Slika 49. Montaža i demontaža ležajnog mjesta gornjeg zglobva

Javlja se zahtjev i za učvršćenjem osovine za okvir konstrukcije, s time da taj spoj također mora biti rastavljiv kako bi se mogla izvršiti izmjena ležaja te pozicioniranje. Slika 50 prikazuje gornji zglob kada je on u potpunosti montiran za okvir gornju gredu konstrukcije. Da bi vođenje cijele naprave bilo zadovoljavajuće, potrebno je da se gornji zglobovi sa obje strane naprave ne nalaze na takvom razmaku na kojem im se središnje osi ne bi poklapale. Uz to, osovina mora biti pod pravim kutem s obzirom na površinu nalijeganja. Fleksibilnost pri podešavanju i robusnost osigurava se konstrukcijskim rješenjem na Slici 51.



Slika 50. Montiran gornji zglob

Pri sastavljanju, sklop gornjeg zgloba (Slika 49) postavlja se u proreze na gornjoj gredi. Zahvaljujući proširenom zaobljenom utoru u gornjoj gredi moguće je točno pozicioniranje zgloba s obzirom na greda. Kada se namjesti željena pozicija, vijcima se pričvršćuje poklopac za greda koji ujedno sprječava pomak i rotaciju osovine. Kao i greda, i poklopac ima izrađene uture kako bi povezivanje bilo moguće.



Slika 51. Podesivost gornjeg zgloba

Za gornje zglobno mjesto odabran je dvoredni kuglični ležaj 4203 ATN9 [19] iz SKF-a, dok je za kliznu čahuru odabrana čahura od PTFE, također iz SKF-a. [11] Budući da nosivost nije limitirajući faktor pri izboru ležaja gornjeg zgloba (jer je ležaj znatno rasterećen), ostavljeno je puno prostora za odabir. Klizna čahura također može biti od drugih materijala, no ovakav odabir je izvršen prema standardnim dimenzijama tako da kućište gornjeg zgloba na cijeloj svojoj plohi kontakta s vertikalnom vodicom bude prekriveno kliznim ležajem.



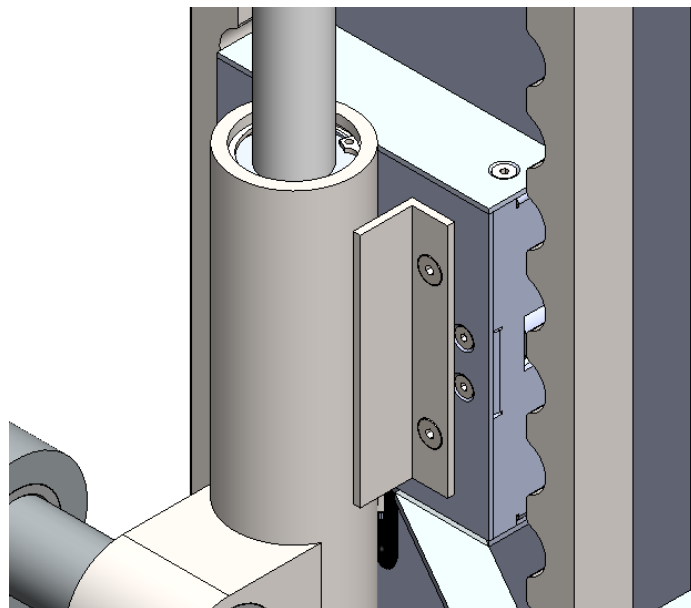
Slika 52. Dvoredni kuglični ležaj 4203 ATN9 [19]



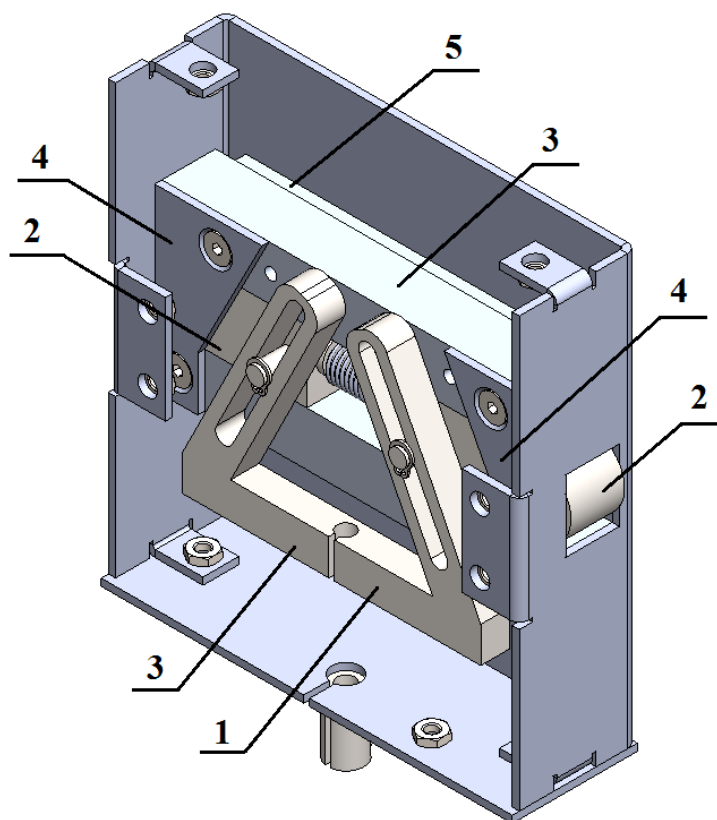
Slika 53. Klizna čahura od PTFE [11]

5.8.7. Sigurnosni mehanizam 1 – kočenje pomaka

Ravninski sigurnosni mehanizam omogućava držanje šipke na određenoj visini prilikom ispuštanja utega. U jednom od prethodnih poglavlja opisan je sustav sajli, tako da se o njima ovdje neće ponovno govoriti. Cijeli pokretni dio mehanizma (osim sajli) zatvoren je u kućište kako bi se unutarnji dijelovi mogli zaštititi. Kućište je povezano sa linearnom čahuricom preko L – nosača koji su jednim dijelom zavareni za navedenu čahuru, a drugim dijelom je spoj osiguran vijcima (Slika 54). Samo kućište izrađeno je od limova.



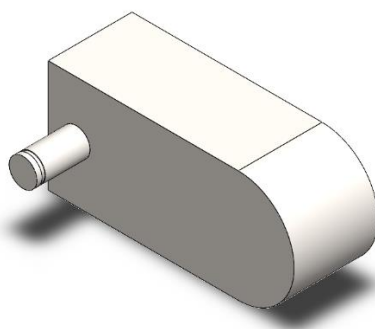
Slika 54. Spoj kućišta sigurnosnog mehanizma 1 i čahure s linearnim ležajevima



Slika 55. Dijelovi unutar kućišta

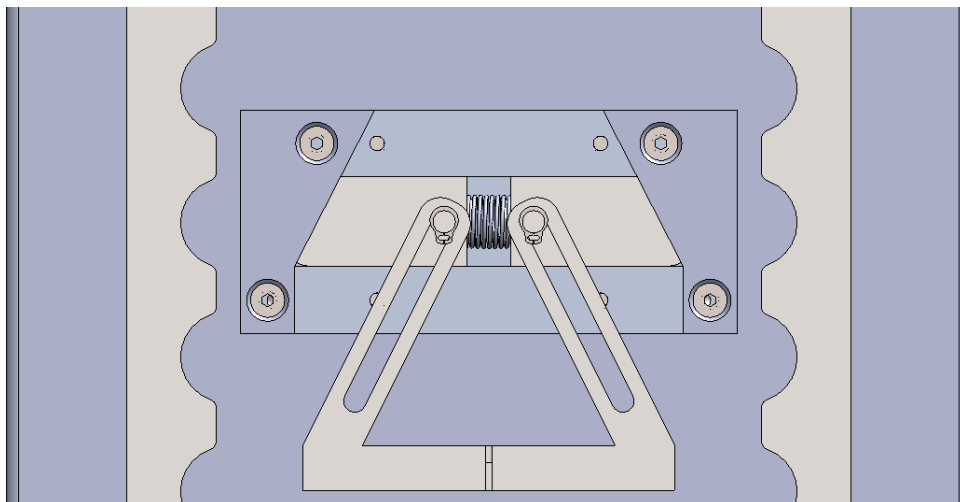
Da bi se već sada dobio uvid u prisutne dijelove i njihov prostorni raspored dana je Slika 55. Na tom prikazu uklonjeni su prednji i gornji poklopac radi preglednosti. Trokutasti dio (1) na svom donjem dijelu povezan je sa sajlom koja ga pomiče u vertikalnom smjeru. Aksijalni pomak onemogućen je uskočnicima. Dio (1) sadrži vilice koje u sebi imaju utore. Ti utori predviđeni su za cilindrične nastavke gornjeg sigurnosnog klina (po jedan sa svake strane), tako da se vertikalni pomak trokutastog dijela (1) pretvara u horizontalni pomak gornjih sigurnosnih klinova (2). Kada vježbač otpusti хват, tlačna opruga između klinova (2) gura klinove prema van. Moguće je manipulirati geometrijom vilica tako da se može odabrati usmjeravanje horizontalnog pomaka moguće je zahvaljujući graničnicima (3), (4) i (5). Graničnici se međusobno povezuju vijcima te se montiraju za kućište. Time se dobivaju jednostavni dijelovi koje je lako površinski obraditi zbog potrebe osiguranja niskog faktora trenja i odgovarajuće kvalitete površine.

Slika 56 prikazuje izometrijski prikaz jednog gornjeg sigurnosnog klina.

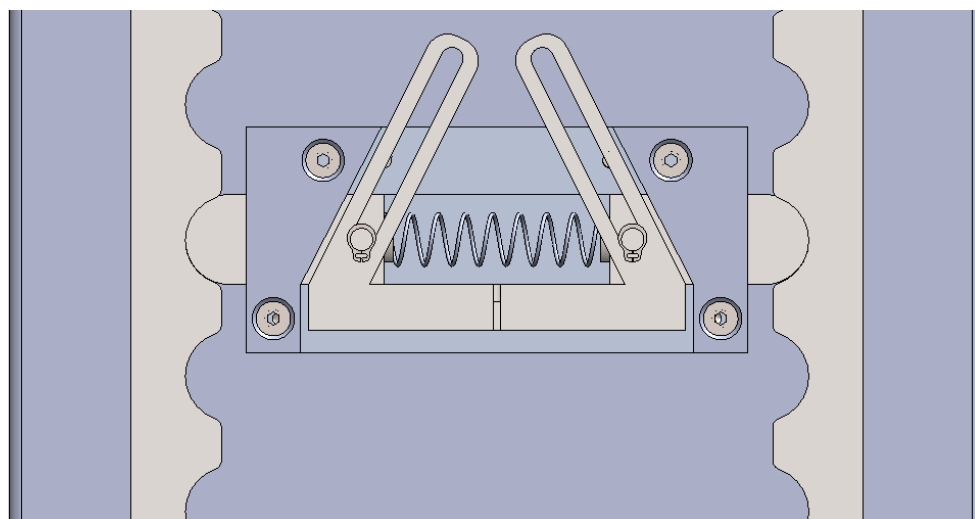


Slika 56. Gornji sigurnosni klin

Sigurnosni klinovi svojim vrhom ulaze u utore na vertikalnim držačima koji su zavareni za vertikalni stup. Oblikom prenose opterećenje, te se površina nalijeganja poklapa s polukružnim utorom. Slika 57 na sljedećoj stranici predočuje odnos među komponentama u tijeku vježbanja, dok je na Slici 58 situacija kada opruga tlači klinove prema van.

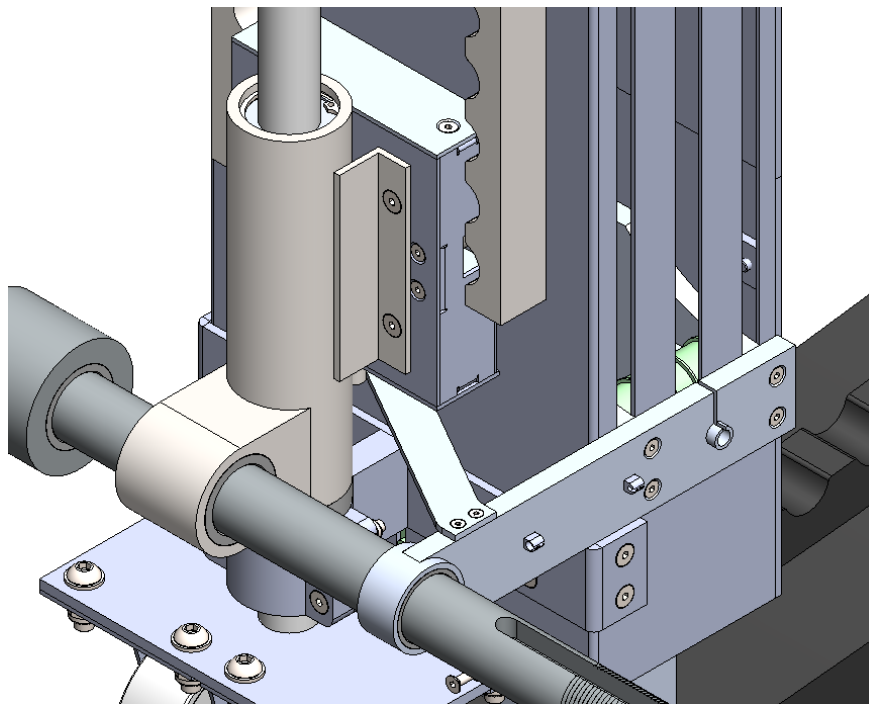


Slika 57. Gornji sigurnosni mehanizam - otkočeno stanje



Slika 58. Gornji sigurnosni mehanizam - zakočeno stanje

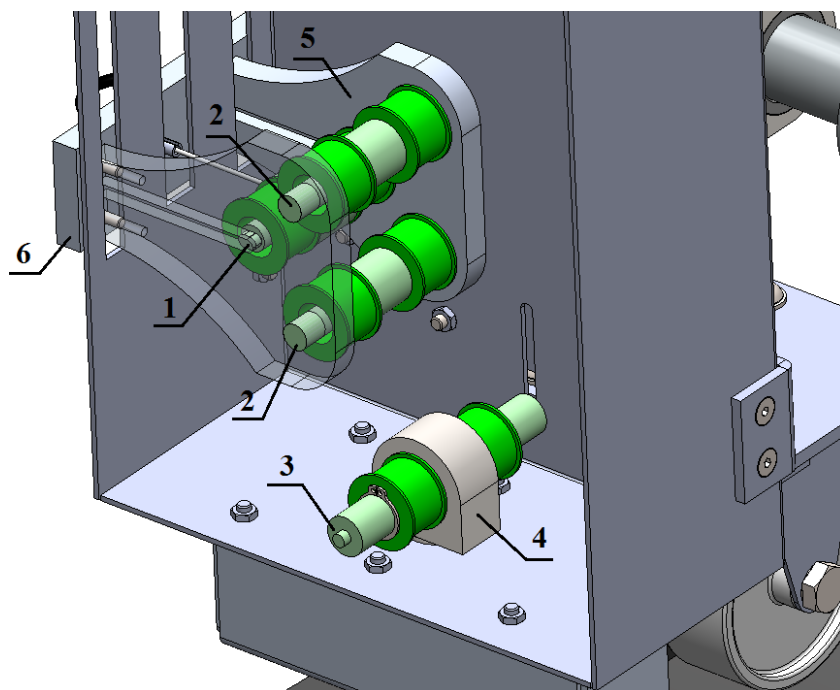
Radi eventualne izmjene sajle, obrade kliznih ploha ili izmjene opruge, treba voditi računa o demontaži cijelog sklopa. Demontaža se izvodi kada se šipka nalazi na donjoj graničnoj poziciji (Slika 59). Potrebno je odvrnuti vijke koji drže veznu ploču te vijke koji drže kućište za L – nosač. Nakon toga cijelo kućište se podigne prema gore, nakosi te izvuče iz prostora između vertikalnih držača.



Slika 59. Donji granični položaj - položaj za demontažu sigurnosnog mehanizma

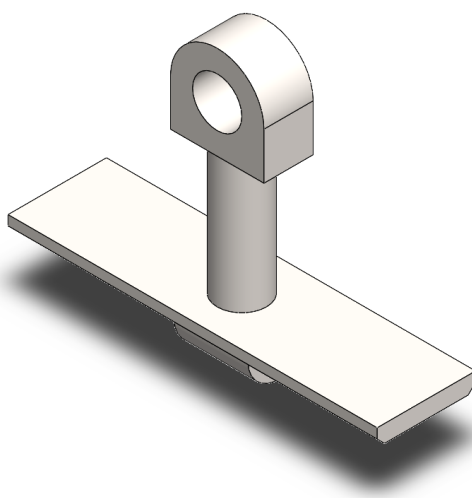
5.8.8. Sigurnosni mehanizam 2 – kočenje rotacije

Rotacijski sigurnosni mehanizam omogućava zaključavanje nagiba vertikalne vodilice, te zajedno sa prethodnim mehanizmom u potpunosti sprječava pomak šipke u prostoru. Glavni pokretni mehanizam sastoji se od sustava valjaka i remena koji se nalaze u svom kućištu, odnosno unutar vertikalnog stupa. Unutar gornjeg dijela kućišta nalazi se jedan valjak kojemu je pomak onemogućen, dok se unutar donjeg dijela nalazi valjak kojemu je omogućen pomak u vertikalnom smjeru. Slika 60 pokazat će donji dio unutrašnjosti vertikalnog stupa s pripadnim elementima. Valjak (1) povezan je sa sajлом, te povlačenje sajle rezultira pomakom valjka prema vježbaču. Valjak ima završetke na svojim krajevima koji mu dopuštaju pomicanje po utoru ruke (5). Jedna ruka (5) prikazana je transparentno kako bi se vidjeli ostali bitni dijelovi sustava. Par valjaka (2) učvršćen je između ruku (5) tako da je onemogućen njihov pomak. Donji valjak (3) ima završetke kao i valjak (1), s time da se valjak 3 pomiče samo u vertikalnom smjeru. Na središnjem dijelu valjak 3 nosi zakočni dio (4) o kojem će nešto kasnije biti riječ. Na svakom valjku nalazi se par bubnjeva (zelena boja) preko kojih prelazi remen, te koji se rotiraju oko (ne)pomičnih valjaka. Dakle, u jednom vertikalnom stupu prisutna su dva remena. Spojni dio (6) nosi ruke (5) i cijeli navedeni dio, te se može vidjeti iz drugog pogleda na Slikama 36 i 59.



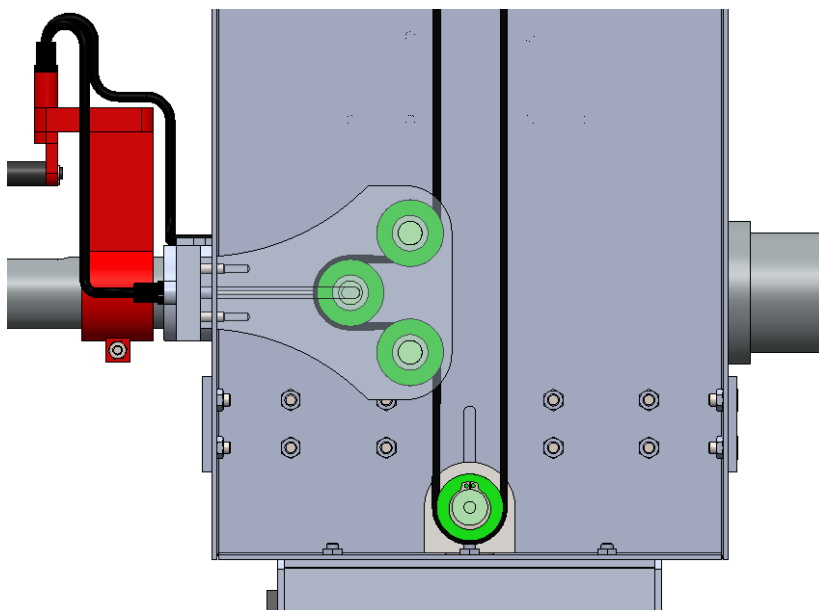
Slika 60. Donji dio unutrašnjosti vertikalnog stupa

Dio (4) dijelom se nalazi u unutrašnjosti vertikalnog stupa, a dijelom se nalazi u vlastitom kućištu spojenom ispod vertikalnog stupa. Na svom donjem kraju s njim je spojen zaobljeni zakočnik koji na isti način kao i kod gornjeg sigurnosnog mehanizma ulazi u zaobljene utore čime se koči rotacija vertikalne vodilice. Duguljasta površina zakočnika služi tome da se opterećenje raspodijeli na još veću površinu, a ne samo na zaobljeni utor. Navedeno se može vidjeti i na kasnijim Slikama 64 i 65.

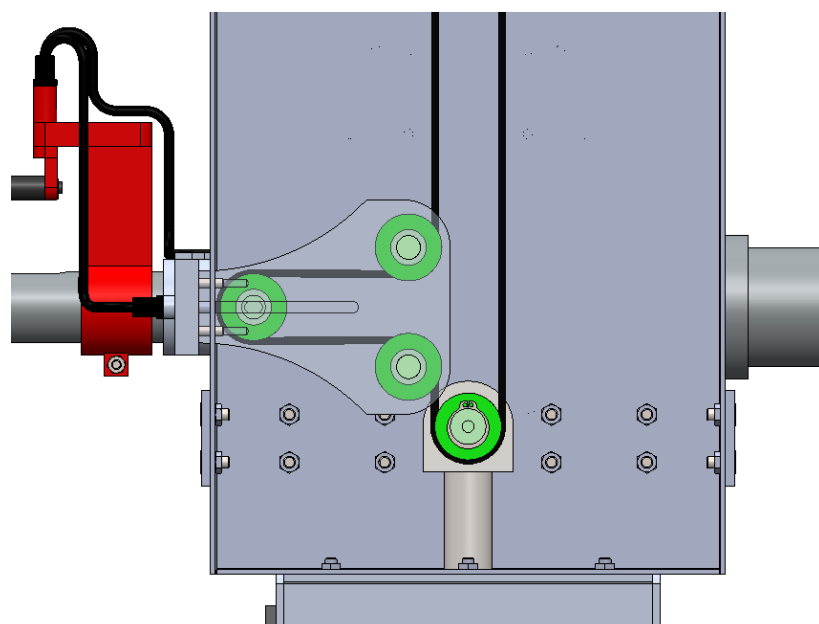


Slika 61. Donji zakočnik

Na Slici 62 pokazan je položaj valjaka kada je sajla u stanju mirovanja, odnosno kada se ne odvija vježbanje na napravi, dok je na Slici 63 situacija obrnuta – sajla je napeta te se donji valjak pomiče vertikalno prema gore i dopušta zakret vodilice oko zgloba. Valja napomenuti da je predočen remen znatno veće debljine nego što bi to inače bilo, iz razloga lakše vidljivosti na slici.

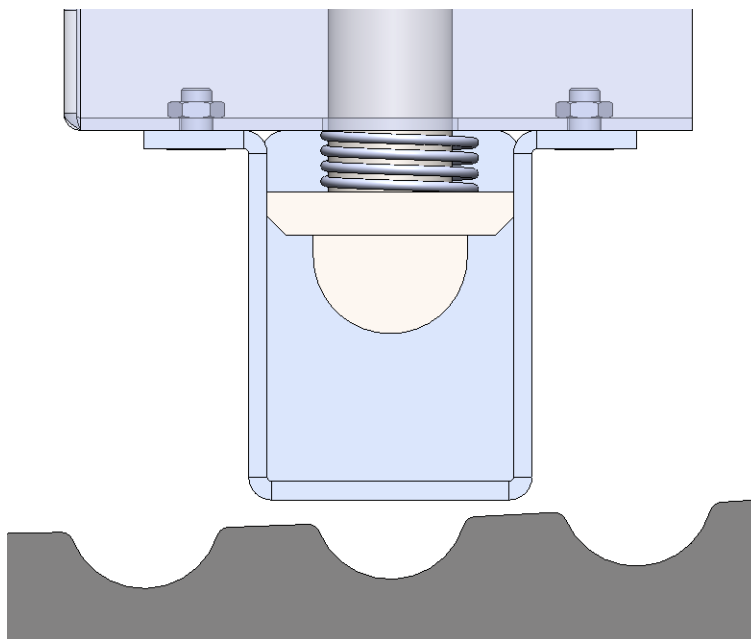


Slika 62. Položaj mehanizma valjaka i remena pri opuštenoj sajli

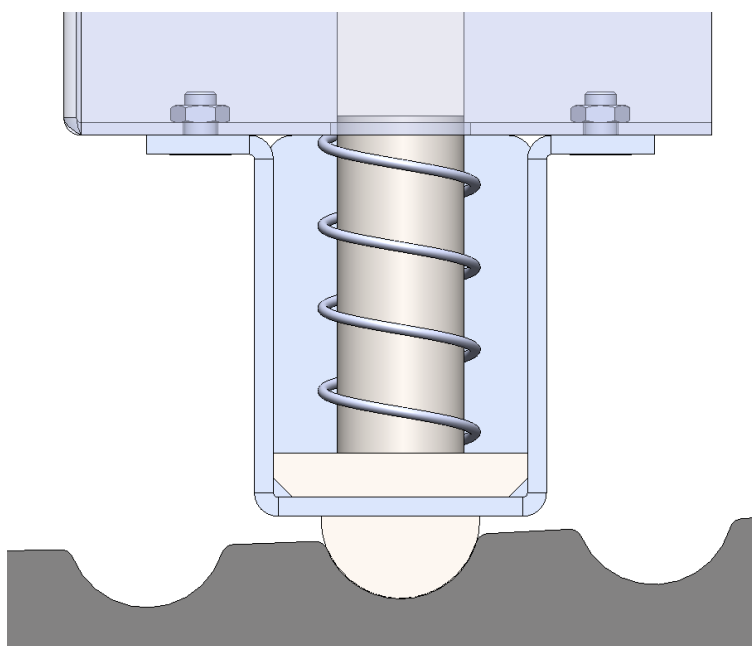


Slika 63. Položaj mehanizma valjaka i remena pri napetoj sajli

Slika 64 prikazuje situaciju kada se provodi vježbanje na napravi – sajla je povučena, donji zakočnik je podignut, tlačna opruga je stlačena te se vodilica nesmetano rotira oko zgloba. Pri otpuštanju hvata oko šipke tlačna opruga pomiče zakočnik u donju poziciju te se rotacija onemogućuje.



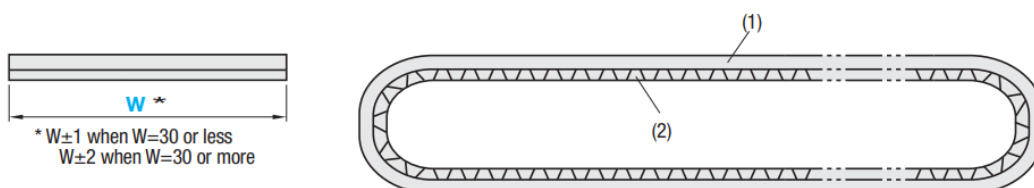
Slika 64. Donji sigurnosni mehanizam - otkočeno stanje



Slika 65. Donji sigurnosni mehanizam - zakočeno stanje

Pri okvirnom odabiru remena poslužila je literatura [20], te je prema njoj odabran remen SHBLT širine 15 mm. Iz tablice je dobiven minimalni promjer remenice koji iznosi 25 mm, pa je upravo takav promjer korišten pri modeliranju bubnjeva. S obzirom da remen u ovom konstrukcijskom rješenju ne prenosi okretni moment, spektar mogućih remena je vrlo širok. Bubnjevi se oslanjaju na remen te rotiraju oko svoje osi, tako da nema prijenosa opterećenja između oboda remena i bubnja. Uz to, odabrani remen ima jednak koeficijent trenja s obje strane, što je dobro u ovom slučaju jer se bubnjevi nalaze i na vanjskom i na unutarnjem dijelu remena.

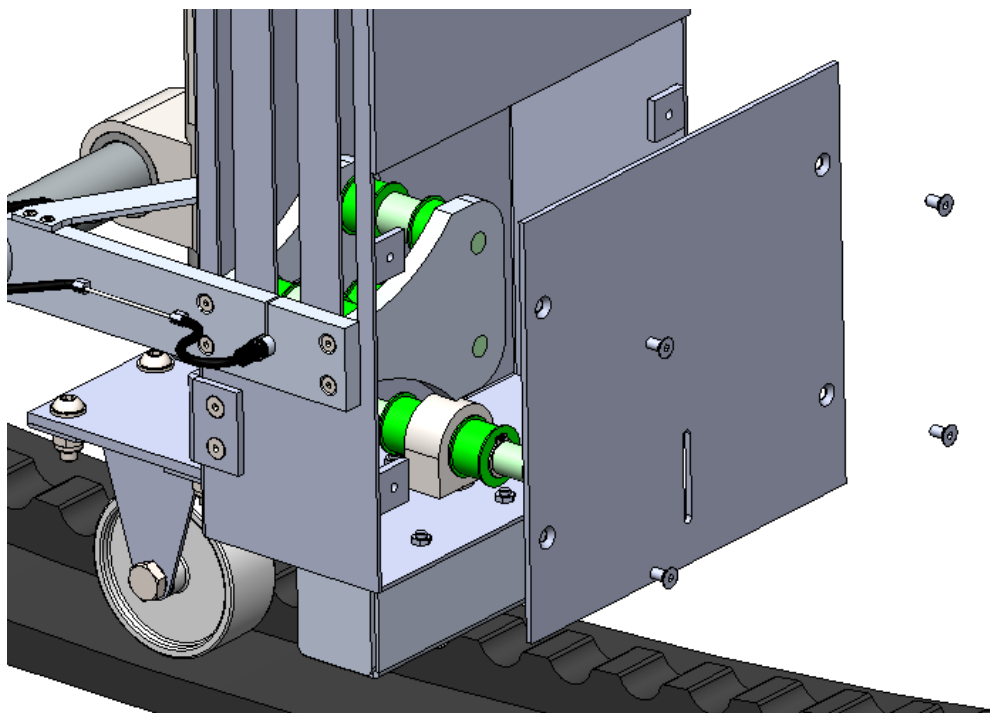
| Type | | Usage | Material | | Color Tone | Thickness mm | Weight kg/m ² | Allowable Stress kg/cm | Min. Pulley Diameter Ømm | Knife Edge | Continuous Use Temperature °C | Friction Coefficient (Ref. against polished steel) | |
|------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------|-----------|------------|--------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------|-------------------------------|--|------|
| Width Selectable | Width Configurable | | (1) Front | (2) Back | | | | | | | | Front | Back |
| HBLT | HBLTW | Gen. Purpose | Polyurethane | | Green | 0.9 | 1 | 4 | 25 | 5R | -10~80 | 0.2 | 0.1 |
| SHBLT | - | Sliding | Polyester | | White | 0.5 | 0.5 | 4 | 25 | 3R | -10~80 | 0.1 | 0.1 |
| LHBLT | - | Inclined Apps. | Soft Polyurethane | Polyester | Green | 1.5 | 1.6 | 4 | 30 | - | | 1.7 | 0.1 |
| DHBLT | - | Electronic Parts Conveyor | Conductive Polyurethane | | Black | 0.6 | 0.7 | 3 | 25 | 3R | -10~80 | 0.2 | 0.1 |
| FHBLT | - | Food Conveyor | Polyurethane | | White | 0.8 | 0.9 | 3.5 | 20 | 3R | | 0.2 | 0.15 |
| HHBLT | - | Heat-Resisting | Silicon Rubber | | White | 1.3 | 1.4 | 5 | 75 | - | -40~180 | 1.5 | 0.1 |
| OHBLT | - | Oil-Resisting | Oil-resistant chloroethene | | Navy | 1.0 | 1.1 | 4 | 25 | - | 5~60 | 0.3 | 0.1 |



Characteristics of belts P.1086

Slika 66. Odabir remena [20]

Kao i s gornjim sigurnosnim mehanizmom, kod donjeg mehanizma treba također voditi računa o demontaži i izmjeni dijelova. Ponovno, šipka se mora nalaziti u donjem graničnom položaju kako bi se izvršila izmjena sajle, bubnja, remena ili drugog dijela. Kućište vertikalnog stupa na stražnjem dijelu je otvoreno, te je pokriveno poklopnim limovima koji se pričvršćuju vijcima. Gornji poklopac je mnogo dulji od donjeg poklopca, te se upravo skidanjem donjeg poklopca dobiva mogućnost pristupa bitnim dijelovima sigurnosnog sustava (Slika 67).

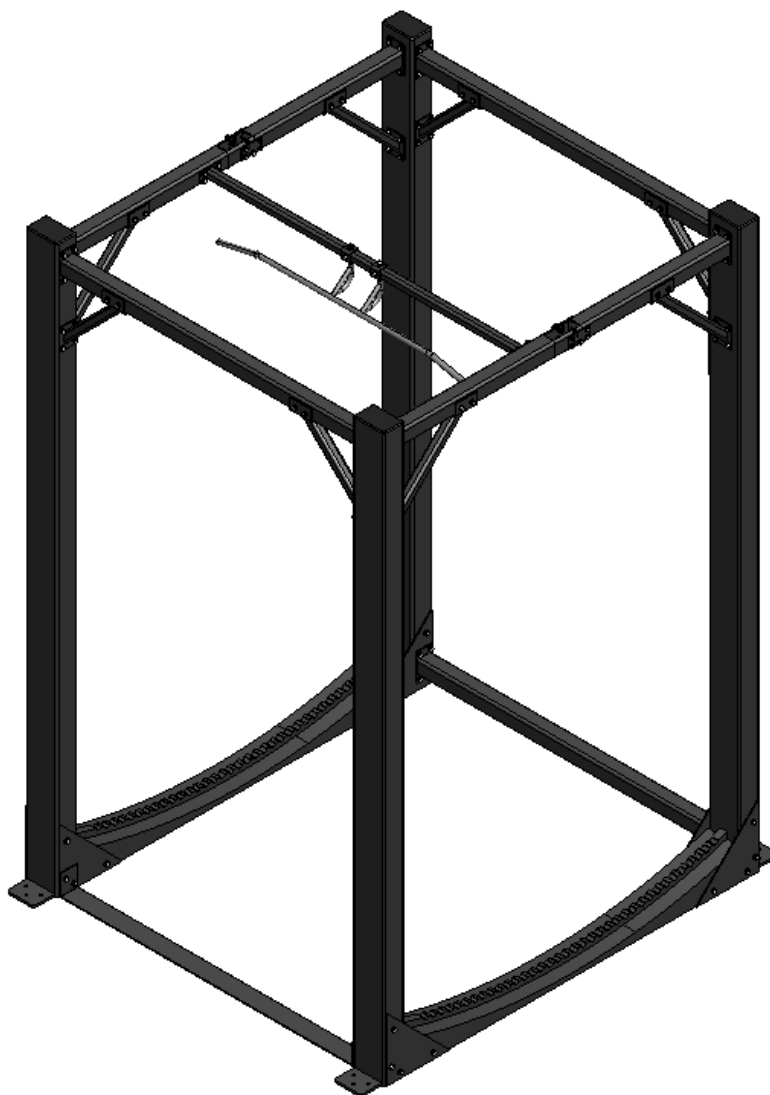


Slika 67. Podešavanje i izmjena dijelova zahvaljujući demontaži donjeg poklopca

5.8.9. Okvir konstrukcije

Pravilna konstrukcija okvira naprave bitna je jer ona nosi sve navedene dijelove sustava te osigurava stabilnost pri izvođenju pokreta na napravi. Uz stabilnost postavlja se zahtjev i na dovoljnu čvrstoću tako da ne dođe do zakreta šipke u neželjenim smjerovima. Već je u uvodnom dijelu rada (Slika 1) navedeno koje kretnje šipke se ne smiju dopustiti, pa je upravo i konstrukcija velikim dijelom odgovorna za sprečavanje tih zakreta. Iz tog razloga, potrebno je napraviti sasvim zatvoreni okvir koje se neće deformirati kod vježbanja. Izazov koji se javlja je zatvaranje okvira s donje prednje strane, budući da bi ona trebala biti otvorena i prohodna kako bi vježbač nesmetano mogao ući unutar prostora za vježbanje. Stoga, donju prednju ukrutu predstavlja čelični lim povezan s bočnim stranicama okvira. Time se ne narušava prohodnost prednjeg dijela naprave a bitno se utječe na krutost okvira. Vertikalni stupovi međusobno su povezani uzdužnim i poprečnim ukrutnim gredama, koje su dalje s vertikalnim stupovima ukružene preko rebara i rebrastih nosača. U gornjem središnjem dijelu vrlo je važno da postoji ukruta kako ne bi došlo do progiba cijele vertikalne vodilice prema dolje, pa je s tim razlogom postavljena još jedna poprečna greda. Kako bi se izvukla dodatna vrijednost iz te poprečne grede, na nju se može pričvrstiti nastavak za zgibove vidljiv na Slici 68, neki drugi rekviziti (trake za vježbanje, gume..) i slično. Osiguranju potpune stabilnosti

naprave pridonosi i veza okvira konstrukcije s podlogom. Naime, predviđene su pločaste noge koje se s vijcima povezuju za podlogu. Na svojim gornjim krajevima, vertikalni stupovi zatvoreni su plastičnim nastavcima.



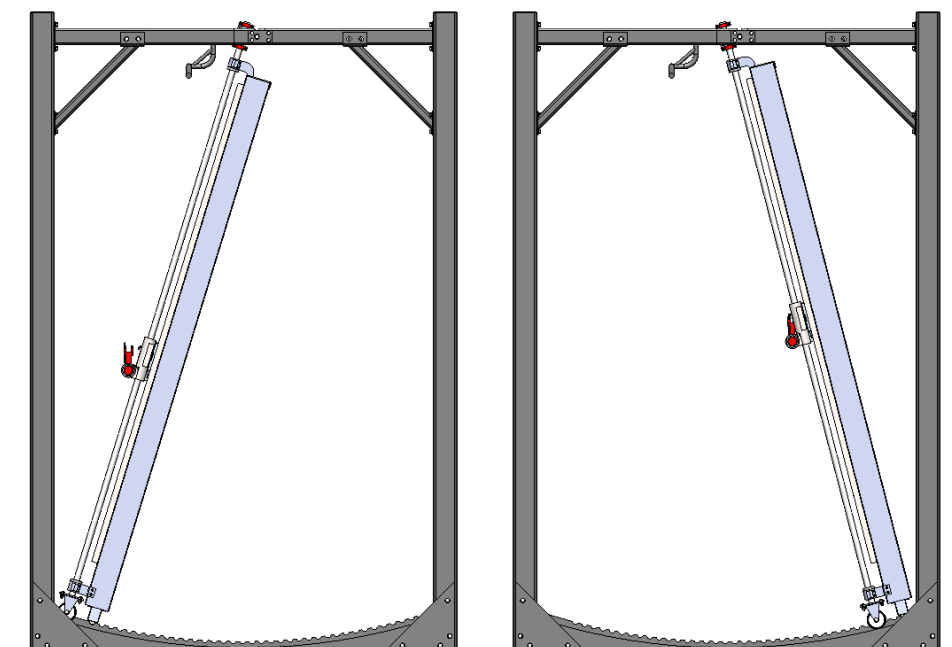
Slika 68. Okvir konstrukcije

5.8.10. Općenito o napravi

Za kraj, dani su neki podaci o napravi s obzirom na trenutnu konfiguraciju nosivosti. Navedeno prikazuje Tablica 8.

Tablica 8. Podaci o napravi

| Karakteristika | Vrijednost |
|------------------------------|------------|
| Visina naprave | 2705 mm |
| Dubina naprave | 2000 mm |
| Širina naprave | 2250 mm |
| Visina prostora za vježbanje | 2300 mm |
| Dubina prostora za vježbanje | 1600 mm |
| Širina prostora za vježbanje | 1250 mm |
| Nosivost | 250 kg |
| Masa naprave | 460 kg |
| Korak podešavanja kuta | 0,9° |
| Maksimalni prednji nagib | 17° |
| Maksimalni stražnji nagib | 14,5° |



Slika 69. Granični nagibi pokretnog dijela naprave
a) maksimalni prednji nagib, b) maksimalni stražnji nagib

6. ZAKLJUČAK

Ovim radom cilj je ponuditi novo konstrukcijsko rješenje naprave za kontrolirano terapijsko i sportsko sinergijsko vježbanje. Konkretno, želi se korisniku pružiti sigurno okruženje u kojemu on nesmetano može izvoditi pokrete s opterećenjem kao da naprava niti ne postoji. Dakle, težnja je u isto vrijeme i smanjiti i uvećati doprinos naprave vježbanju te interakciju vježbač – naprava. Slične naprave postoje na tržištu, no ne pružaju pogodnosti koje su u ovom radu izuzetno važne. Stoga je ponuđeno novo rješenje koje ima znatno izmijenjene glavne mehanizme te pruža veću fleksibilnost i sigurnost pri vježbanju, što su jedni od najbitnijih zahtjeva koji se postavljaju na ovakvu napravu.

U uvodnom dijelu rada obrađena je biomehanička pozadina iza općenitih pokreta pri vježbanju, odnosno složenih pokreta koji iziskuju pravilnu i pravovremenu interakciju između različitih dijelova tijela. Navedene su tvrdnje potkrijepljene vizualnim primjerima za lakše shvaćanje problematike. Problem koji se javlja je kako osmisлити napravu koja se što bolje prilagođava vježbaču bez da narušava samostalnost vježbača pri izvođenju pokreta. Stoga je potrebno prikupiti podatke iz analize biomehanike te kritički pristupiti sljedećem koraku – analizi tržišta.

Analiza tržišta dovela je do pronalaska naprave koja djelomično ispunjava kriterije i zahtjeve postavljene na željenu napravu. Ta naprava se naziva Smith mašina, te ona služi kao asistencija vježbaču pri izvođenju pokreta sa slobodnim utezima, odnosno šipkom. Postavlja dobre temelje i ideje za sigurnosne mehanizme, no neodgovarajući kritični dijelovi sustava te nepravilna biomehanička pozadina te naprave dovode do neiskorištenja potencijala. Stoga takva naprava ostavlja mnogo prostora za poboljšanje i potpunu rekonstrukciju. Nakon pregleda izabranih naprava, odabrana je jedna naprava kao referentna da bi se daljnja konstrukcijska razmatranja mogla usporediti s njom.

Uz analizu tržišta provedeno je i pretraživanje patentnih rješenja koja su relevantna za generiranje novog konstrukcijskog rješenja naprave. Kao i analiza postojećih uređaja na tržištu, analiza patenata također daje uvid u principe i primijenjene mehanizme sličnih uređaja koji (ne)ispunjavaju željene funkcije.

Konstrukcijska razrada obrađena je u petom poglavlju. Postavljanje tehničkog upitnika, definiranje cilja razrade i tehničkih i funkcionalnih zahtjeva dobra je podloga za kvalitetnu daljnju razradu. Nakon navedenoga, izrada funkcijske strukture dalje bolji uvid

u najbitnije dijelove naprave te na apstraktnoj razini prikazuje kakvim interakcijama se postiže ukupno djelovanje sustava. Funkcijskom strukturom je dobivena podloga za prikaz morfološke matrice s parcijalnim rješenjima za pojedine mehanizme. Time je olakšano generiranje koncepata, pa je tako, spajanje mehanizama u morfološkoj matrici dovelo do četiri koncepta. Nakon međusobnog uspoređivanja i ocjenjivanja te usporedbom s odabranom referentnom napravom, odabran je koncept koji ulazi u detaljniju fazu razrade. U programskom paketu Solidworks izrađen je CAD model cijele naprave koja ispunjava prethodno postavljene zahtjeve. Zatim je detaljno opisan svaki mehanizam koji predstavlja novinu u jednoj ovakvoj konstrukciji. Sigurnost pri vježbanju osigurana je mehanizmima koji dopuštaju vježbaču da u bilo kojem trenutku ispusti opterećenje, što kod postojećih rješenja nije moguće. Također, pravilna biomehanika pružena je pomoću konstruiranja naprave kod koje opterećenje ima slobodniju putanju u prostoru. Uz to, ponuđena je i mogućnost podešavanja fiksnog nagiba putanje opterećenja, čime je zapravo generirana dodatna vrijednost. Tom opcijom na ponuđenom konstrukcijskom rješenju moguće je izvoditi još više vježbi s raznim varijacijama. Sve u svemu, osmišljena naprava u potpunosti zamjenjuje postojeće uređaje, te objedinjuje sve njihove dobre karakteristike u jedno rješenje, tako da vježbač nema potrebe za korištenjem bilo koje druge naprave osim ponuđene naprave.

Ipak, neke mehanizme prisutne kod ove naprave treba svakako ispitati u realnim uvjetima kako bi se pokazalo jesu li oni u takvoj interakciji kakva je pokazana u prethodnom poglavlju. Ispitivanje i provođenje eksperimenata još je od veće važnosti kada se uzme u obzir da se radi o napravi koja može nositi ozbiljne negativne posljedice po korisnika ukoliko neki dio ne radi kako treba. Dakle, ovo konstrukcijsko rješenje je inovativno te treba proći daljnje testove kako bi se moglo komercijalizirati.

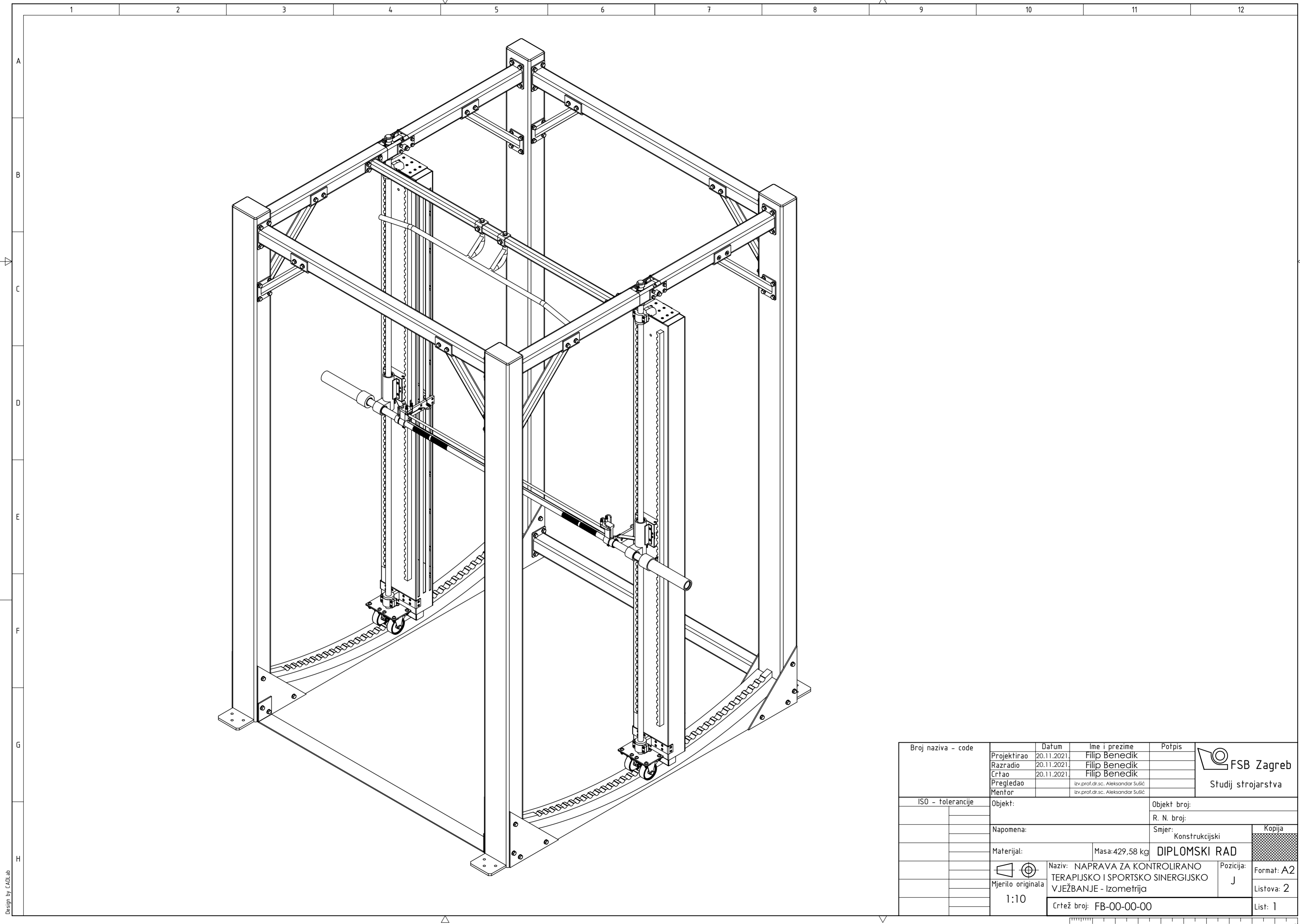
LITERATURA

- [1] *Smith mašina*, <https://www.fitness-shop.hr/trgovina/sprave-za-vjezbanje/stalci-kavezi/smith-masina/> (5.10.2021.)
- [2] *Precor Smith machine*, <https://www.precor.com/en/commercial/strength/plate-loaded/smith-machine-802> (5.10.2021.)
- [3] *Bodycraft Jones Light Commercial 3D Smith machine*, <https://www.powerhouse-fitness.co.uk/bodycraft-jones-smiths-machine.php> (5.10.2021.)
- [4] *Force USA VersaSmith XL – Folding Smith machine*, <https://www.fitnesswarehouse.com.au/store/strength/smith-machines/force-usa-versasmith-xl-folding-smith-machine/>
- [5] *Commercial Home Gym – Smith machine*, <https://www.commercialhomegym.com/> (5.10.2021.)
- [6] *Smith machine with adjustable angle and rotation ability*, <https://patents.google.com/patent/RU2683762C1/en?q=smith+machine&oq=smit+h+machine> (10.10.2021.)
- [7] *Dual action weightlifting machine*, <https://patents.google.com/patent/RU2683762C1/en?q=smith+machine&oq=smit+h+machine> (10.10.2021.)
- [8] *Compact weightlifting frame system*, <https://patents.google.com/patent/RU2683762C1/en?q=smith+machine&oq=smit+h+machine> (10.10.2021.)
- [9] *Weight bar slide assembly*, <https://patents.google.com/patent/RU2683762C1/en?q=smith+machine&oq=smit+h+machine> (10.10.2021.)
- [10] *Anthropometric data*, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/anthropometric-data> (2.11.2021.)
- [11] *SKF bushings, thrust washers and strips*, https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680090e01-SKF-bushings-thrust-washers-and-strips-1-EN_tcm_12-120169.pdf (10.11.2021.)
- [12] *DIN 472 – Retaining rings for bores*, <https://www.fasteners.eu/standards/DIN/472/> (10.11.2021.)

- [13] *DIN 471 – Retaining rings for shafts*, <https://www.fasteners.eu/standards/DIN/471/> (10.11.2021.)
- [14] *Technocables, Edition No. 7*, <https://www.carlstahl-technocables.com/gb/en/downloads/catalogues/> (11.11.2021.)
- [15] *Pull (bowden cable) adjustment screw*, <https://www.amazon.co.uk/Pull-bowden-cable-adjustment-screw/dp/B00XQ1P6V8> (11.11.2021.)
- [16] *Trgo-agencija – Ojačana vodilica za linearne ležajeve*, <https://www.trgo-agencija.hr/lezajevi/linearni-lezajevi/sipke/sipka-w-25-h6-2000mm-cf53-skf.html> (12.11.2021.)
- [17] *MISUMI – Linear Bushing*, <https://sg.misumi-ec.com/vona2/detail/221005196905/?HissuCode=LKBM25UU> (12.11.2021.)
- [18] *KAISER+KRAFT – Kotači*, <https://www.kaiserkraft.hr/kotaci/kotaci/poliamidni-kotac-u-bijeloj-boji/valjkasti-lezaj-od-2-kom/p/M7444760/?articleNumber=568144> (14.11.2021.)
- [19] *SKF – Rolling bearings*, <https://www.skf.com/us/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-4203%20ATN9> (15.11.2021.)
- [20] *MISUMI – Flat belts*, https://uk.misumi-ec.com/pdf/fa/p1_1087.pdf (18.11.2021.)

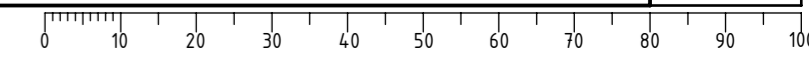
PRILOZI

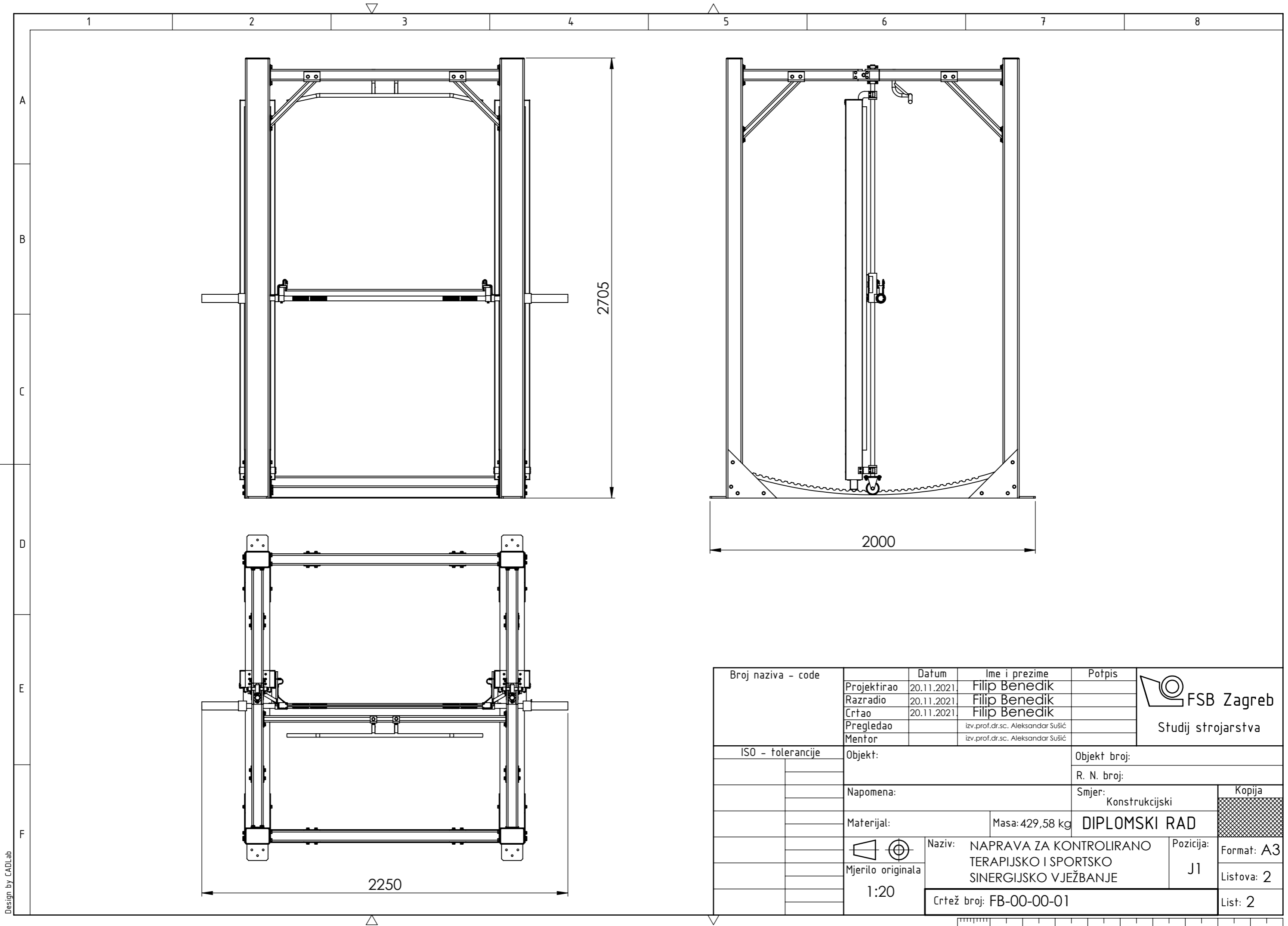
- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija



Design by CADLab

| | | | | | |
|--------------------|---|--|----------------------------------|-----------------------|---|
| Broj naziva - code | Projektirao | 20.11.2021. | Filip Benedik | Potpis |  FSB Zagreb Studij strojarstva |
| | Razradio | 20.11.2021. | Filip Benedik | | |
| | Crtao | 20.11.2021. | Filip Benedik | | |
| | Pregledao | | izv.prof.dr.sc. Aleksandar Sušić | | |
| | Menor | | izv.prof.dr.sc. Aleksandar Sušić | | |
| ISO - tolerancije | Objekt: | | | Objekt broj: | |
| | | | | R. N. broj: | |
| | Napomena: | | | Smjer: Konstrukcijski | Kopija |
| | Materijal: | Masa: 429,58 kg | DIPLOMSKI RAD | | |
| |  Mjerilo originala 1:10 | Naziv: NAPRAVA ZA KONTROLIRANO TERAPIJSKO I SPORTSKO SINERGIJSKO VJEŽBANJE - Izometrija Crtež broj: FB-00-00-00 | | | Pozicija: J Format: A2 Listova: 2 List: 1 |





Design by CADlab

| | | | | | |
|--------------------|--|-------------|---|-----------------------|---|
| Broj naziva - code | Projektirao | 20.11.2021. | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb Studij strojarstva |
| | Razradio | 20.11.2021. | Filip Benedik | | |
| | Crtao | 20.11.2021. | Filip Benedik | | |
| | Pregledao | | izv.prof.dr.sc. Aleksandar Sušić | | |
| | Mentor | | izv.prof.dr.sc. Aleksandar Sušić | | |
| ISO - tolerancije | Objekt: | | Objekt broj: | | Kopija |
| | Napomena: | | R. N. broj: | | |
| | Materijal: | | Masa: 429,58 kg | Smjer: Konstrukcijski | |
| |  Mjerilo originala | | Naziv: NAPRAVA ZA KONTROLIRANO TERAPIJSKO I SPORTSKO SINERGIJSKO VJEŽBANJE | | Pozicija: J1 |
| | 1:20 | | Crtež broj: FB-00-00-01 | | Format: A3 Listova: 2 List: 2 |

