



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LAUATENNISE TREENINGSEADME ARENDUS

DEVELOPMENT OF TABLE TENNIS TRAINING DEVICE

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kristjan Kuningas

Üliõpilaskood: 176857MATM

Juhendaja: Martin Eerme, professor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"25" mai 2021

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Kristjan Kuningas (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 25.07.1995)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Lauatennise treeningseadme arendus“,

mille juhendaja on Martin Eerme,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (*allkiri*)

25.05.2021 (*kuupäev*)

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kristjan Kuningas, 176857MATM (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MATM, Tootearendus ja tootmistehnika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Professor, Martin Eerme, 5111486 (amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Lauatennise treeningseadme arendus
(inglise keeles) Development of table tennis training device

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Turu-uuringu abil projekteeritava toote vajaliku funktsionaalsuse määramine.
2. Võimalikult erinevaid lauatennise lööke simuleeriva seadme projekteerimine.
3. Lõpptulemuseks peaks olema arendatud seade, mis oleks funktsionaalsuse poolest võimeline konkureerima turul olevate toodetega.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstitus ja turu-uuring	28.03.2021
2.	Turu-uuringu põhjal treeningseadme vajalike funktsioonide määramine, esialgsete konstruktsiooni kontseptsioonide väljatöötamine ning hindamine	26.04.2021
3.	Toote prototüübi projekteerimine ning ostutoodete valik	09.05.2021
4.	Seadme peamiste elektroonikakomponentide valik	14.05.2021
5.	Tootmisjoonised ja töö vormistamine	25.05.2021

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "26" mai 2021 a

Üliõpilane: Kristjan Kuningas "25" mai 2021 a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....20.....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
1. SISSEJUHATUS.....	8
2. LÄHTEANDMETE KOGUMINE JA ANALÜÜS	10
2.1 Turuanalüüs.....	10
2.1.1 Butterfly Amicus	10
2.1.2 Butterfly Practice Partner 20	13
2.1.3 IPong Trainer Motion.....	14
2.1.4 Oukei TW-2700-E1A.....	15
2.1.5 Paddle Palace Robot S4W Pro	16
2.1.6 Omron FORPHEUS	16
2.1.7 Turuanalüüsi kokkuvõte.....	17
2.2 Lauatennise robotite patendid	18
2.2.1 Lauatenniseroboti ja kasutamise meetodi patent	18
2.2.2 Parendatud söötepea liikumisega lauatenniseroboti patent.....	20
3. SEADME KONTSEPTSIOONIDE LOOMINE JA VALIK	21
3.1 Pallide seadmesse laadimine	24
3.1.1 Vertikaalne ketasmehhanism.....	24
3.1.2 Pöörleva tõukuriga lahendus	25
3.1.3 Horisontaalne ketasmehhanism tagastusega	27
3.1.4 Rihmülekandegaga lift	28
3.1.5 Pallide seadmesse laadimise kontseptsioonide võrdlus.....	28
3.2 Pallide ettesöötmine.....	29
3.2.1 Ümber kahe telje pööratav söötepea	29
3.2.2 Suunamistoruga söötepea.....	30
3.2.3 Suunamisplaadiga söötepea	31
3.2.4 Pallide ettesöötismoodulite võrdlus.....	32
4. SEADME PROTOTÜÜBI PROJEKTEERIMINE	33
4.1 Söötepea projekteerimine	33
4.1.1 Heiterullikute dimensioneerimine ja mootorite valik	33
4.1.2 Suunamisplaati juhtivate servomootorite valik.....	36
4.1.3 Söötepea konstruktsioon	37
4.2 Pallide kogumise ja seadmesse laadimise projekteerimine	41
4.2.1 Ketasmehhanismi ajami valik	41
4.2.2 Pallide kogumise ja seadmesse laadimise konstruktsioon	42
4.3 Elektroonikakomponentide valik	43
4.4 Seadme prototüübi terviklik konstruktsioon.....	46

KOKKUVÕTE	49
SUMMARY	50
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	51
LISAD	53

EESSÕNA

Magistritöö teema sai valitud autori isiklikust huvist erinevate spordialade vastu. Spetsiifiliselt lauatennise treeningseadme projekteerimine osutus valituks just seetõttu, et võrreldes paljude teiste spordialadega tundus müügil olevate lauatennise treeningseadmete osas näha veel arenguruumi. Töö lõpptulemusena sai väljaarendatud lauatennise treeningseadme prototüübi 3D mudel ja tootmisjoonised. Antud töö lisaväärtuseks on võimalus füüsiliselt prototüüp valmistada ning kasutada seda autori isikliku õppeplatvormina elektroonika, automaatika ja kasutajaliidese loomise vallas.

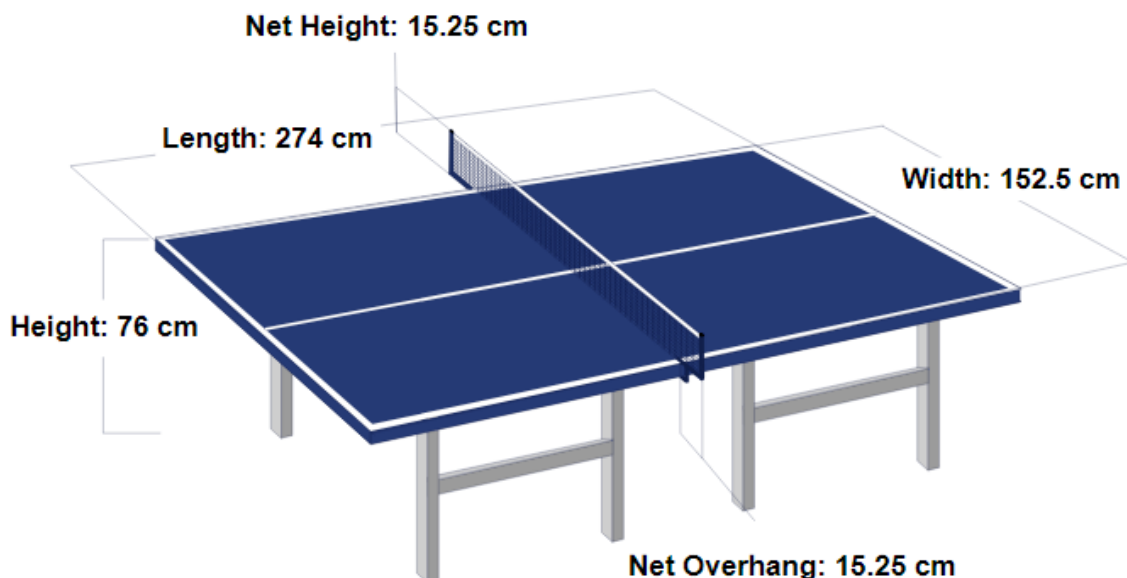
Töö autor soovib avaldada tänu magistritöö juhendajale Martin Eermele, kes oli töö tegemise käigus valmis probleemide ja lahenduste osas nõustama ning andis positiivset indu magistritöö valmis saamiseks.

Lauatennis, treeningseade, sport, magistritöö

1. SISSEJUHATUS

Lauatennis on spordiala, mida mängitakse väikese palli ja reketitega ristkülikukujulisel laual, mida poolitab võrk. Mängu formaatideks on üksikmäng (mõlemal pool lauda on üks mängija) ja paarismäng (mõlemal pool lauda on kaks mängijat). Iga mängu punkt algab serviga, kus serviv mängija peab vaba käega viskama palli vähemalt 16 cm kõrgusele ning lööma palli reketiga, nii et pall puutuks kõigepealt enda väljakupoolt ning siis vastase oma. Kõik punkti järgnevad löögid peavad olema sooritatud nii, et vastase löögist tulnud pall puutuks enda väljakupoolt maksimaalselt üks kord ning sooritav löök peab maanduma vastase väljakupoolel. Mängu võidab see, kes esimesena saab 11 punkti või kui mõlemal osapoolel on 10 punkti, siis mängitakse kuni punktide vahe on kaks. [1]

ITTF (*International Table Tennis Federatation*) käsiraamat määrab võistlustel kasutatavate mänguvahendite parameetrid. Mängulaud on 2,74 m pikk, 1,525 m lai ning laua ülemine horisontaalne pind peab asuma 76 cm kõrgusel põrandast. Mängulaua pind on matt ning võib olla ükskõik millisest materjalist, mis tagab ühtlase palli pörke ligikaudu 23 cm kõrgusele laua pinnast, kui palli kukutada 30 cm kõrguselt laua pinnast. Mängulaua pikemat külge poolitav võrgu ülemine serv peab olema kogu oma ulatuses 15,25 cm kõrgusel laua pinnast. Mängupall on plastikust, mati pinnaga, kera kujuline, läbimõõduga 40 mm ja massiga 2,7 g. [1]



Joonis 1.1 Lauatennise mängulaua standardmõõdud [2]

Lauatennises on mängu olemuse tõttu individuaalne treenimine pea võimatu. Individuaalne treening on tihtipeale vajalik, kas lihtsalt ennast mänguvormis hoidmiseks

või mõne spetsiifilise oskuse lihvimiseks. Magistritöö eesmärk on arendada toote prototüüp, mis annab lauatennise mängijatele võimaluse individuaalselt treenida. Toote sihtgrupiks on erinevad spordiklubid ning ka eraisikud. Uue toote arenduse aluseks on juba turul olemasolevate lahenduste analüüs, mille käigus tuvastatakse projekteeritava toote vajalikud funktsioonid ning hinnatakse nende olulisust. Peale toote funktsioonide ja eesmärkide kaardistamist luuakse toote erinevad kontseptsioonid. Kõiki lahendusi võrreldakse asjakohaste parameetrite ning nende tähtsuse alusel. Seejärel toimub kontseptsioonide arendus – valitakse vajalikud ostutooted, projekteeritakse 3D mudel, tehakse vajalikud arvutused ning vormistatakse tootmisjoonised.

Töö tulemusena sai projekteeritud lauatennise treeningseadme prototüüp, mis võimaldab mängijal harjutada erineva paigutuse, kiiruse ja vindiga pallide tagasilöömist. 3D mudeli loomiseks ning tootmisjooniste vormistamiseks kasutati Autodesk Inventor Professional 2019 tarkvara.

2. LÄHTEANDMETE KOGUMINE JA ANALÜÜS

Toote kontseptsioonide loomise jaoks kõigepealt uuritakse juba turul olemasolevaid lauatenise treeningseadmeid, nende funktsionaalsust ning kuidas on funktsionaalsus tehniliselt saavutatud. Turuanalüüsi põhjal on võimalik täpsemalt määratleda arendatava toote sihtgrupp, milliseid eesmärke peab toode minimaalselt täitma, kas antud funktsioone on võimalik paremini tehniliselt lahendada ning kas on veel lauatenise mängu aspekte, millega müügil olevad tooted ei arvesta. Lisaks uuritakse enne projekteeritava toote kavandamist veel asjakohaseid patente treeningseadme disaini ja tehnilise lahenduse osas.

2.1 Turuanalüüs

Turuanalüüsi käigus võetakse vaatluse alla erinevate konstruktsioonide ja funktsionaalsusega lauatenise treeningseadmed erinevatest hinnakategooriatest. Turuanalüüsi tulemusena on võimalik võrrelda erinevate toodete funktsionaalsust, kasutajasõbralikkust ning korrelatsiooni erinevate funktsioonide olemasolu ja toote hinna vahel.

2.1.1 Butterfly Amicus



Joonis 2.1 Butterfly Amicus lauatenise robot [3]

Jaapani päritoluga korporatsioon Tamasu Co., Ltd toodab ja müüb Butterfly brändinime all kõike lauatennisega seonduvat, alates riietest ja aksessuaaridest kuni mänguvahendite ning treeningrobotiteni. Euroopas tegeleb arenduse ja müügiga Tamasu Butterfly Europa GmbH. Butterfly Amicus tooteperekonda kuulub 3 mudelit – Amicus Start, Amicus Expert ja Amicus Prime. Kõik 3 mudelit on mehaanilise konstruktsiooni poolest samad. Mudelite erinevused seisnevad põhiliselt seadet juhtivas tarkvaras ning juhtpaneelis. [3]

Kõikidele Butterfly Amicus mudelitele iseloomulikud karakteristikud on:

- Kaasa tuleb transpordikott.
- Pallide kogumisvõrk koos automaatse pallide seadmesse laadimisega.
- Seade kaalub 6 kg.
- Start mudel on võimeline ette söötma kuni 100 palli minutis, Expert ja Prime kuni 120 palli minutis.
- Palli söötepea on võimalik seadistada neljale erinevale kõrgusele (203, 241, 279 ja 317 mm kõrgusele lauapinnast).
- Palli söötepea on kolme vedava vahtmaterjalist kattega rullikuga, mis võimaldavad palli ette sööta erinevat tüüpi vindiga ilma söötepead manuaalselt keeramata. Palli vindi määrab rullikute kiiruste erinevus üksteise suhtes. Start ja Expert mudelil pöörlevad rullikud ainult palli söötmise suunas, Prime mudelil ka vastupidises suunas.
- Erinevalt teistest robotitest, millel terve söötepea liigub üles-alla ja vasakule- paremale, on Amicuse söötepeal väike palli suunamisplaat, mis liigub vastavalt soovitud palli maandumisasukohale. See võimaldab ettesöötmise trajektoori muuta väga väikeste intervallidega tulevatel pallidel (alla 0,5 sekundi) ning söötepea staatiline asend erineva trajektooriga pallide puhul annab vägagi realistliku tulemuse löögi ettearvamatuses osas.
- Ettesöötmise kiirust, sagedust, vinti, vindi suurust ja paigutust on võimalik seadistada vastavalt Amicuse mudelile eraldiseisvalt juhtpuldil või nutiseadmest. [3]

Amicus Start mudeli hinnaks on Butterfly kodulehel 999 eurot. Amicus Start mudeli puhul on võimalik luua harjutusi kuni 6 palli harjutuse kohta, mis söödetakse ette sama kiiruse ja vindiga, pallide laua risti suunas paigutust on võimalik seada erinevaks harjutuse siseselt. Lisaks seadistatavatele harjutustele on Amicus Start mudeli puhul võimalik kasutada kolme tüüpi *Random* funktsiooni: pallid maanduvad 20 cm raadiuses valitud punktist, pallid maanduvad suvalises järjekorras valitud punktidesse ja kolmas

variant on kombinatsioon kahest eelnevast. Antud mudeliga tuleb kaasa väike ja kerge juhtpult. [3]



Joonis 2.2 Amicus Start juhtpult [3]

Amicus Expert mudeli hinnaks on Butterfly kodulehel 1499 eurot. Amicus Expert mudeli puhul on 7 palli harjutuse kohta, mille iga individuaalse palli puhul on võimalik määrata erinev vint, kiirus, trajektoor ja paigutus. Salvestada on võimalik 99 harjutust. Eelsalvestatud harjutusi on 20, mida on võimalik muuta või asendada. Lisaks on veel sel mudelil automaatne pallide ettesöötmise sageduse muutmise võimalus, mille idee on jäljendada võimalikult realistlikult iga järgneva löögi ajastust. *Sample* funktsiooniga on võimalik testida igat üksikut harjutuse lööki eraldi. Erinevalt Start mudelist on ka olemas servi funktsioon. Antud mudeliga tuleb samuti kaasa juhtpult. [3]



Joonis 2.3 Amicus Expert juhtpult [3]

Amicus Prime mudeli hinnaks on Butterfly kodulehel 1799 eurot. Amicus Prime mudeli puhul tuleb seadmega kaasa 7 tolline Androidi tahvelarvuti, läbi mille on Bluetoothiga

võimalik seadet kontrollida (võib kasutada mistahes Android või iOS seadet). Harjutuste salvestamismaht on põhimõtteliselt piiramatult. Pallide ettesöötmise sagedust on võimalik seadistada individuaalselt iga palli kohta harjutuses. Erinevaid salvestatud harjutusi on võimalik tööle panna ka järjestikku. *Random* funktsiooni korral on võimalik Prime mudeliga varieeruvaks muuta kõiki löögi karakteristikuid. Lisaks on veel peegeldamise funktsioon, mis hõlbustab sama harjutuse kasutamist vasaku- ja paremakäelisel mängijal. [3]

Amicus Prime Amazoni tootelehel on kasutajate kommentaarid toote kohta, mis üldiselt kiidavad toote funktsionaalsust. Kriitikanäide on väljatoodud seadme ülesseadmise ja tagasi kokkupaneku juhised, mille puhul on info kohati puudulik, eriti just kokkupaneku osas. Eraldi on ära mainitud, et lauatenise robot on ikkagi seade, mida on tarvis tihti üles seada ja maha võtta, kui on soov teiste mängijate vastu vahepeal mängida. Lisaks on veel väljatoodud, et tagasilöödud pallid võivad mõnikord jääda kogumisvõrgu servale ning ei jõua seadmesse tagasilöökimise mehhanismini. [4]

2.1.2 Butterfly Practice Partner 20



Joonis 2.4 Butterfly Practice Partner 20 lauatenise robot [5]

Butterfly Practice Partner 20 on Butterfly lauatenise robotitest odavam versioon, Amazonis on selle seadme hinnaks 327 eurot. Seade toetub laua peale, pallid laetakse seadmesse pealpool asuva pallide kogumiskambrisse. Practice Partner 20 robotit iseloomustavad näitajad on:

- võimalik palle ette sööta erineva vindiga, kuid vindi tugevust pole võimalik muuta ning täiesti ilma vindita ettesöötmine pole ka võimalik;

- 9 ettesöötmise kiiruse valikut;
- 9 ettesöötmise sageduse valikut (25-80 palli minutis);
- ettesöötmine toimub kas kindlalt ühte kohta või seade annab palle ette vaheldumisi kahte erinevasse kohta;
- võimalik seadistada, millisesse lauapoolle veerandisse pallid maanduvad;
- seadmesse on võimalik panna kuni 200 palli;
- seade kaalub 7 kg.

Kiiruse ja sageduse muutmine toimub kontrollpuldist, kõik teised seadistused toimuvad mehaaniliste nuppude ja söötmisspea keeramise abil. [5]

2.1.3 IPong Trainer Motion



Joonis 2.5 iPong Trainer Motion [6]

IPong on USA kaubamärk, mis erinevalt Butterflyst tegeleb ainult iPong lauatenise treeningseadmete arendusega. Trainer Motion on iPongi uusim mudel, mis on eelnevalt populaarseima iPongi mudeli V300 edasiarendus. Trainer Motioni hinnaks on iPongi ühe edasimüüja Megaspin kodulehel 160 eurot. Seade koosneb kolmest moodulist – statsionaarne alumine osa, millega seade toetub lauale; kahe rullikuga ning roteeruva eraldusplaadiga keskmine osa, mis söötab palle ette; pealmine moodul kust laetakse pallid seadmesse. Seade tarnitakse eelnevalt mainitud kolme moodulina, mille kokkupanek võtab vaid mõni sekund. Seadmega tuleb kaasa lihtne kontrollpult, kust on võimalik seadistada pallide ettesöötmise sagedust, ettesöötmise vasak-parem liikumist,

edaspidi ja tagurpidi vindi tugevust ning salvestada valitud sätted. Lisaks kontrollpuldile tuleb seadmega veel kaasa 80 palli, pallide üleskorjamise võrk ja eraldiseisev detail, mille saab ettesöötmise nurga muutmiseks seadme alumise osa alla panna. Trainer Motion kaalub 1,2 kg, ülemisse moodulisse on võimalik panna kuni 100 palli, ettesöötmise sagedus on kuni 70 palli minutis. [6]

2.1.4 Oukei TW-2700-E1A



Joonis 2.6 Oukei TW-2700-E1A [7]

Oukei on Hiina päritolu lauatenise mänguvahendite ja treeningrobotite tootja. Oukei TW-2700-E1A on kompaktse disainiga lauapealne lauatenise treeningseade, mis kaalub 7 kg ning maksab Oukei USA kodulehel 217 eurot. Antud seade on kahe vedava rullikuga, mis võimaldavad edaspidi, tagurpidi või ilma vindita palle ette sööta. Pallide ettesöötmise sagedus on 35-70 palli minutis ning kiirus 3-30 m/s. Pallide maandumist on võimalik määrata kolme erinevasse kohta mängulaual ning on ka võimalik palle ette sööta suvalisse kohta terve laua laiuse ulatuses (pallide maandumiskaugust pole võimalik muuta). Erinevad pallide maandumispunktid saavutatakse seadme jalgadel pööramisega. Kõike eelnevalt mainitut on võimalik seadistada robotiga kaasatuleva pisikese juhtpuldiga. Tootelehel on veel väljatoodud, et seade tuvastab ära, kui katkine pall või mõni muu võõrkeha on sattunud robotisse, mis võiks tekitada roboti kinnikiilumist. [7]

2.1.5 Paddle Palace Robot S4W Pro



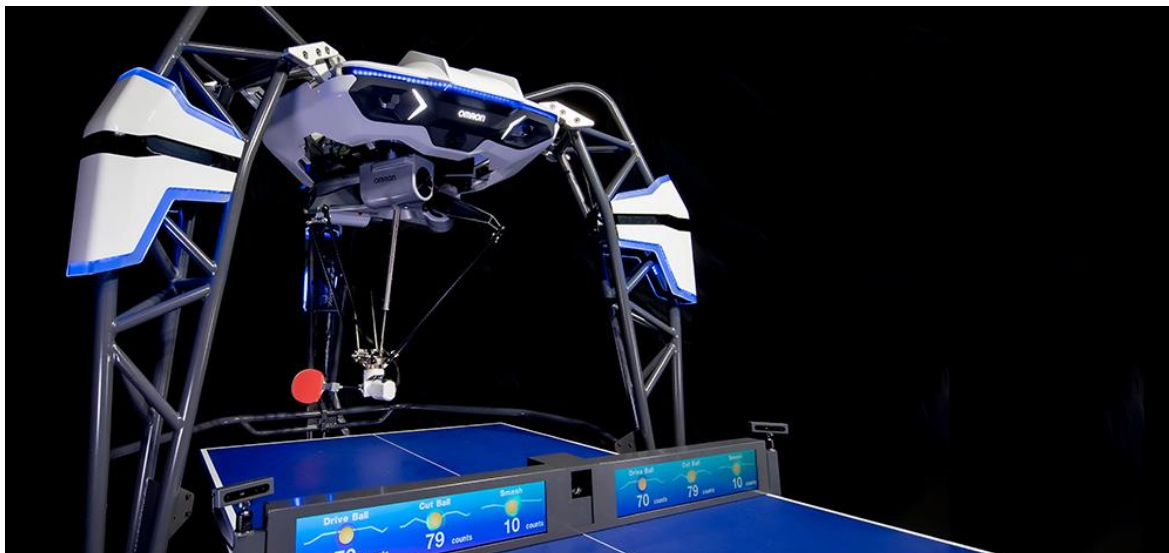
Joonis 2.7 Paddle Palace Robot S4W Pro [8]

Paddle Palace Robot S4W Pro on ratastel seisev kahe söötepeaga lauatennise treeningseade, mis maksab 1252 eurot. Mõlemat söötepead ja mõlemas neis olevat kahte vedavat ratast on võimalik iseseisvalt seadistada. Ühte harjutusse on võimalik salvestada erinevat tüüpi vindi (kahe vedava rullikuga söötepeal on näiteks võimalik seadistada üks neist edaspidi ja tagurpidi vindiga palle söötma ning teine söötepea külgvindiga), sageduse, kiiruse (kuni 50 m/s), maandumiskoha (laua külgsuunas söötmisspead pöörlevad ning erinevad löögi kaugused saavutatakse kahe söötepea abil) ja kõrgusega lööke. Kahe söötepea eeliseks on veel see, et ühest tuleb serv ja teisest tuleb niiöelda vastase esimene tagasilöök, mille abil on võimalik servimisolukorda realistlikumalt harjutada. Sarnaselt ka teistele sama hinnaklassi robotitele on ka S4W Pro-l *random* funktsioon. Pallid laetakse seadmesse lauapinnast veidi allpool asetsevast pallide kogumispunkrist, mis mahutab ca 100 palli. Kogumispunkrisse kogutakse tagasilöödud pallid sarnaselt Butterfly Amicus robotitele võrguga, millel on punkri kohal ava sees. Ettesöötmist on võimalik seadistada juhtmega kontrollpaneelist. [8]

2.1.6 Omron FORPHEUS

Jaapani elektroonikaettevõtte Omroni lauatenniserobot FORPHEUS on aastal 2013 alustatud projekt, mille arendus kestab siiani. FORPHEUS jäljendab reaalselt vastast lauatennise mängus. Antud robot pole arendatud müügiks, vaid näitlikustamiseks võimalikku harmooniat inimeste ja masinate vahel. Selle projekti idee on koostöörobotite kontseptsioon viia uuele tasemele. FORPHEUS on küll eelnevalt

loetletud lauatennise treeningseadmetest tohutult keerulisem ning käesoleva töö eesmärgi mõistes liialdus, kuid ideede genereerimise tarbeks on mõistlik tema võimekust ja kasutatud tehnoloogiaid siiski vaatluse alla võtta. [9]



Joonis 2.8 Omron FORPHEUS [9]

Seadme keskmise korpuse külgedel olevad kaks kaamerat jälgivad palli liikumist, keskmine kaamera jälgib mängija reketi liikumist ning seadme külgedel asuvad liikumisandurid tuvastavad mängija enda liikumist. Reketit hoiab ja liigutab kuueteljeline robotkäsi, mis võimaldab sooritada lööke sarnaselt inimesele. Kaameratelt ja anduritelt kogutud info põhjal suudab FORPHEUS eeldada mängija löögitrajektoori enne löögi sooritamist. Lisaks tuvastab seade kui osav mängija on ning kohandab enda löökide kiirust ning paigutust vastavalt mängijale ning võrdleb mängija tehnikat professionaalse mängija omaga ja annab spetsiifilisi soovitusi arenemiseks. [9]

2.1.7 Turuanalüüsi kokkuvõte

Turuanalüüsi käigus vaadeldi kaheksat erinevat lauatennise treeningseadet, millest esimesed seitse on realselt saadaolevad ning vastavates hinnakategooriates populaarseimad. Odavamad seadmed Butterfly Practice Partner 20, iPong Trainer Motion ja Oukei TW-2700-E1A on lauapealsed treeningseadmed, mis on pigem mõeldud harrastussportlastele. Nende seadmetega on reaalseste mänguolukordade loomine piiratud ja pallide tagasi seadmesse kogumine toimub käsitsi, kuid positiivne külg on see, et antud seadmeid on lihtne transportida, üles seada ning kasutada. Kallimad Butterfly Amicus ja Paddle Palace Robot S4W Pro seadmed annavad võimaluse treenida üksi ka juba edasijõudnutele ja professionaalidele. Nad võimaldavad harjutada laiemat

valikut löökide variatsioone ning erineva vindi, kiiruse ja maandumisasukohaga löökide jaoks ei ole vahepeal tarvis seadet manuaalselt ümberseadistada.

Turuanalüüsi käigus paistis teiste seast kõige rohkem välja Butterfly Amicus robotite tootepere. Butterfly Amicus kompaktne kolme rulliku ja suunamisplaadiga disainiga on saavutatud vähemalt sama funktsionaalne võimekus, mis on samas hinnaklassis olevatel kahe söötepeaga robotitel.

Tabel 2.1 Turuanalüüsi käigus vaadeldud seadmete võrdlus

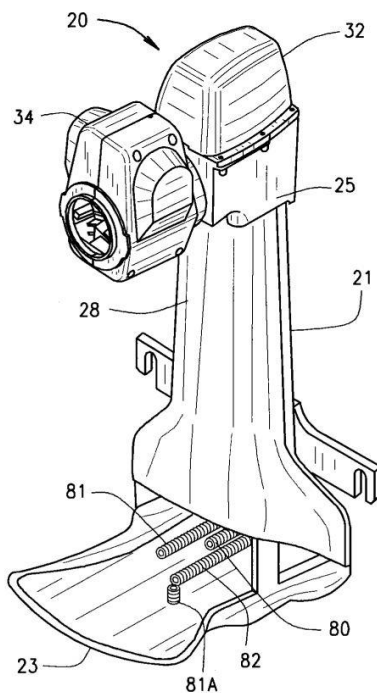
Toode	Hind (EUR)	Pallide seadmesse laadimine	Järjestikuste löökide varieerimise võimalus
Amicus Start	999	Kogumisvõrguga	Laua risti suunas paigutus
Amicus Expert	1499	Kogumisvõrguga	Vint, kiirus ja paigutus
Amicus Prime	1799	Kogumisvõrguga	Vint, kiirus, paigutus ja sagedus
Practice Partner 20	327	Käsitsi	Paigutus risti suunas kahte kohta
Trainer Motion	160	Käsitsi	Paigutus risti suunas kahte kohta
TW-2700-E1A	217	Käsitsi	Paigutus risti suunas kolme kohta
S4W Pro	1252	Kogumisvõrguga	Vint, kiirus, paigutus ja sagedus

2.2 Lauatennise robotite patendid

Enne lauatennise treeningseadme kontseptsioonide loomist on tarvis lähemalt uurida kehtivaid patente, et välja selgitada kas on mõni disain või tehniline lahendus patenteeritud. Erinevate patentide läbitöötamine aitab vältida juriidilisi konflikte ning samuti annab võimaluse tutvuda erinevate lahendustega, mis võiks anda inspiratsiooni loodava toote arendusprotsessiks. Lauatennise roboti disaini ja tehnilise lahenduse osas on leitavad kaks Euroopas kehtivat patenti.

2.2.1 Lauatenniseroboti ja kasutamise meetodi patent

Lauatennise roboti tehnilise lahenduse ja kasutamise meetodi suhtes on Euroopas kehtiv patent EP 2 493 583 B1. Patendi taotlus anti sisse 27.10.2010 ning patent sai heakskiidu 17.06.2015. Patendiga esitatakse nõuded seadme terviklahenduse ning 11 detailse tehnilise osalahenduse osas. [10]



Joonis 2.9 Patendi EP 2 493 583 B1 skeem 1 [10]

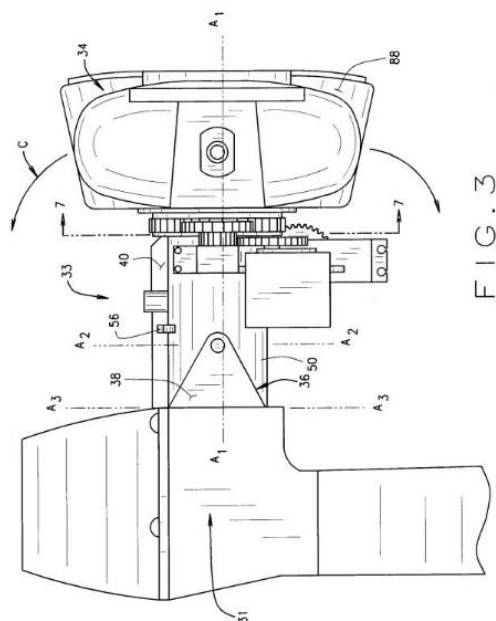
Seadme alumises otsas on korpusedetail, mis kogub ja suunab pallid ülesvõtumehhanismi poole. Ülesvõtumehhanismiks on mootori jõul pöörlev hammastega detail, mille küljes on omakorda 3 erineva pikkusega vedru, mis aitavad palle mehhanismi tõmmata. Kirjeldatud mehhanismist pallid liiguvad omakorda korpuse esi- ja tagapaneeli vahel moodustuvat juhtteed mööda järgmisse sektsiooni, mis liigutab söötepead servomootori jõul parem-vasak suunal. Söötepea koostu põhielementideks on korpusedetailid, vähemalt üks mootoriga käitav rullik ning väljasöötetoru. Söötepea nurka horisontaaltasapinna suhtes on võimalik muuta manuaalselt. [10]

Patendiga kaitstakse kogu eespool kirjeldatud terviklahendust ning lisaks 11 detailset alamlahendust, millest antud töö kontekstis olulisemad on:

- Seadme korpuse läbipaistev esipaneel.
- Väljasöötetoru lahendus, kus on vähemalt üks avaus osaliselt sisseulatava rulliku jaoks.
- Rullik, millel on mõlemas servas kõrgendus, mis on kaetud kõrge hõõrdetakistusega materjaliga.
- Hammaste ja erinevate pikkuste vedrudega pallide ülesvõtumehhanism.
- Seadme kasutamiseks mõeldud juhtpult ning arvutitarkvara, kus on võimalik harjutusi luua ja muuta. [10]

2.2.2 Parendatud söötepea liikumisega lauatenneroboti patent

Parendatud söötepea liikumisega lauatenneroboti suhtes on Euroopas kehtiv patent EP 3 113 853 B1. Patendi taotlus anti sisse 09.02.2015 ning patent sai heakskiidu 04.09.2019. Patendiga esitatakse nõuded seadme terviklahenduse ja 8 detailse tehnilise osalahenduse osas. [11]



Joonis 2.10 Patendi EP 3 113 853 B1 skeem 3 [11]

Antud seade põhineb eelnevas patendis kirjeldatud seadme konstruktsioonil. Edasiarendused on tehtud söötepea konstruktsioonis ja liikumise võimalustes. Lisandunud on servomootor koos hammasratastega söötepea pööramiseks ümber palli liikumissuuna, mis annab võimaluse erinevate palli vintide jaoks. Veel on võimaldatud teise servomootori ja hammasrataste abil söötepea horisontaaltasapinnas nurga muutmine. Ka söötepea külgsuuna muutmiseks kasutatakse servomootorit ning hammasrattaid. Söötepeal on kaks vastastikku asetsevat plastikust motoriseeritud rullikut, millest üks on kitsam ja lameda profiiliga ning teine laiem ja palli kuju võtva profiiliga. [11]

Patendiga kaitstakse seadme terviklahendust ning lisaks 8 detailselt kirjeldatud alamlahendust, millest antud töö kontekstis olulisemad on:

- Kõiki patendis kirjeldatud söötepea liikumisi on võimalik teostada samaaegselt.
- Väljasöötetorul on eesmine ja tagumine sektsioon, mis saavad üksteise suhtes pöörelda.
- Indikaatoritud, mis näitavad vindi suunda ja tugevust. [11]

3. SEADME KONTSEPTSIOONIDE LOOMINE JA VALIK

Lähtuvalt turuanalüüsist, patendiuringust ning töö autori hinnangust koostatakse projekteeritavale seadmele tootespetsifikatsioon, millest on võimalik lähtuda edasises seadme arendustöös. Seadme fikseeritud nõuded ning soovitud funktsioonid ja omadused on toodud tabelis 3.1.

Tabel 3.1 Tootespetsifikatsioon

Funktsioon/Omadus	Nõue	Soov
Seadme kiire ülesseadmine ja kokkupakkimine	x	
Mänguolukordade tõetruu simuleerimine		x
Pallide ettesöötmise sagedus ja kiirus muudetav	x	
Võimalus valida edaspidi, tagurpidi, külgsuunas ja ilma vindita pallide vahel	x	
Laua risti- ja pikisuunas maandumisasukoha muutmise võimalus	x	
Erinev järjestikuste pallide ettesöötmise kiirus ja sagedus ilma ümberseadistamiseta	x	
Erineva vindiga järjestikuste pallide ettesöötmine ilma ümberseadistamiseta	x	
Järjestikuste pallide erinev maandumiskoht ilma ümberseadistamiseta	x	
Ettesöödetavate pallide trajektoori ettearvamatus		x
Tagasilöödud pallide automaatne uuesti seadmesse laadimine	x	
Madal seeriatoote hind vastavalt funktsionaalsusele		x
Maksimaalne ettesöötmise sagedus vähemalt 70 palli minutis	x	
Maksimaalne ettesöötmise kiirus vähemalt 30 m/s	x	
Seadme juhtimine/seadistamine nutiseadmega	x	
Liikumisi teostavad elektriajamid	x	
Seadme pallidest tühjaks saamise võimekus seadme seiskamisel	x	

Tootespetsifikatsioonis kaardistatud soovid ja nõuded on määratud nii, et arendatav seade peaks funktsionaalsuse poolest olema suuteline konkurentsi pakkuma turul olevate keskmise ja kallima hinnaklassi seadmetele. Peamised nõuded funktsionaalsusele, mis seadme kontseptsioonilise struktuuri määravad on tagasilöödud pallide automaatselt uuesti seadmesse laadimine ning erineva vindiga pallide ettesöötmise võimalus.

Selleks, et tagasilöödud palle automaatselt uuesti seadmesse laadida, on mõistlik pallide seadmesse sisestamine teostada lauapinnast ning seega ka pallide söötismoodulist allpool. Tagasilöödud pallide uuesti seadmesse suunamiseks on tarvilik kasutada laua külge kinnitatavat kogumisvõrku, mis piirab mängija vastas oleva lauapoolse külgedelt ja tagumisest servast ning mis kogub pallid laua tagumise serva

taha, kus on ka avaus mille alla oleks võimalik projekteerida pallide seadmesse laadimise konstruktsioon. Antud töö kontekstis ei käsitleta kogumisvõrgu projekteerimist, vaid seadme prototüübi testimiseks on ettenähtud kasutada ostutoodet ning vajadusel seda modifitseerida prototüübitud seadmega kasutamiseks sobivaks. Kui prototüübist on väljaarendatud seeriatoode, siis oleks mõistlik seadmele juurde pakkuda ka oma pallide kogumisvõrku. Prototüübi testimisel võiks kasutada näiteks joonisel 3.1 kujutatud Joola pallikogujat.



Joonis 3.1 IPONG Catch Net [12]

Eri tüüpi vindiga pallide ettesöötmiseks on mõistlik kasutada sarnaselt konkureerivatele toodetele elektrimootorite jõul pöörlevaid rullikuid. Lauatennise pallide söötmiseks on võimalik kasutada ka muid meetodeid, kuid rullikute kasutamine annab lihtsa võimaluse nende omavaheliste pöörlemiskiiruste ja ka pöörlemissuundade manipuleerimisega saavutada eri tüüpi vint (vindi all mõistetakse pallimängudes palli pöörlemist ümber oma telje). Ühe motoriseeritud rullikuga lahenduste puhul on rulliku asetust palli suhtes muutes võimalik saavutada edaspidi, tagurpidi ja külgsuunas vint, kuid pole võimalik teostada ilma vindita lööke ning ei ole võimalik ka löögi kiirust muuta vindi tugevust muutmata. Kahe rullikuga lahenduste puhul on võimalik igat tüüpi vindiga ja ilma vindita palle ette sööta ning seda erinevate kiiruste ja vindi tugevuste juures. Kahe rullikuga lahenduste miinuseks on külgsuunalise vindi saavutamiseks palli suhtes rullikute asetuse muutmise vajadus, seda kas siis manuaalselt või automaatselt. Lähtuvalt tootespetsifikatsioonis esitatud nõudele, erineva vindiga pallide saavutamine ilma manuaalse ümberseadistamiseta, tuleks kahe rullikuga lahendust arendades

arvestada ka ajamiga mehhanismi projekteerimist rullikute asetuse muutmiseks palli suhtes. Kolme rullikuga lahenduste puhul on üksikute rullikute pöörlemiskiirust ja pöörlemissuunda muutes võimalik saavutada kõiki soovitud vindi tüüpe ilma rullikute asetust muutmata. Seega lähtuvalt tootespetsifikatsioonist kaalutakse kahe ning kolme rullikuga pallide söötepea variante.

Maksimaalne ettesöötmise sagedus vähemalt 70 palli minutis ning kiirus 30 m/s on valitud sarnaselt konkureerivatele toodetele. Turuanalüüsi käigus konkureerivate toodete arvustustest selgus, et antud parameetrid on piisavad ka professionaalide jaoks. Lisaks tasub ära mainida, et antud ettesöötmise sagedus on ka määrav aspekt, miks on otsustatud tagasilöödud pallide automaatselt uuesti seadmesse laadimise kasuks. Ilma sellise funktsionaalsuseta oleks tarvis pallid uuesti manuaalselt koguda ja seadmesse laadida 70 palli minutis ettesöötmissageduse ning näiteks 100 pallise mahutavuse puhul iga 85 sekundi järel (eeldusel, et seade on võimeline ennast täiesti tühjaks söötma). Lisaks on automaatse juurdelaadimisega seadme pidevaks kasutamiseks tarvis vähem palle.

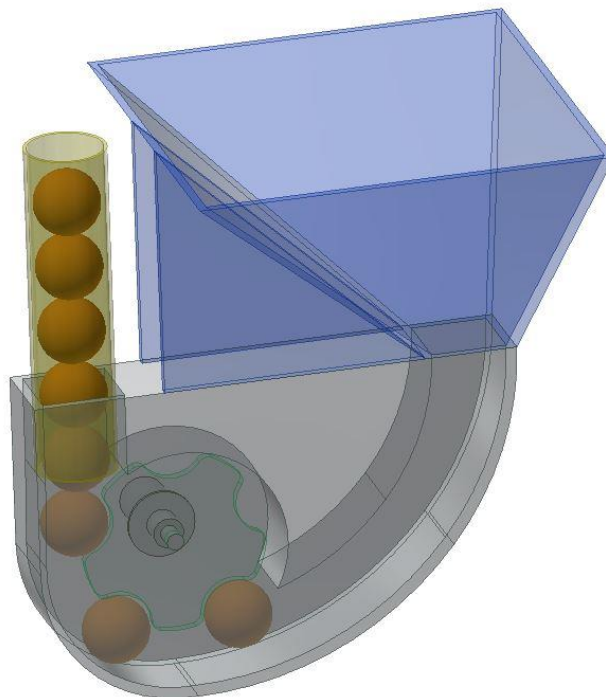
Järjestikuste ettesöödetavate pallide erineva maandumiskoha nõue määrab ära, et on tarvis projekteerida ajamitega mehhanismid, mis siis muudavad kas terve seadme või seadme osa nurka nii horisontaalselt ja vertikaalselt või muudavad palli trajektoori peale sööterullikute vahelt väljumist. Laua ristisuunas maandumisasukoha muutumine on oluline ees- ja tagakäe löökide vaheldumisi harjutamiseks ning pikisuunas maandumisasukoha muutumine on oluline eriti just serviolukordade harjutamiseks.

Vastavalt eelpool loetletud nõuetele ja soovidele teostatakse ajurünnak toote funktsioone täitvate alamlahenduste genereerimiseks. Ideede genereerimisel lähtutakse esmalt tootespetsifikatsioonis kirjeldatud nõuetest ning seejärel soovidest. Ajurünnaku tulemuseks on plokkudelitel kujul alamlahendused koos hinnanguga nende eeliste ja puuduste osas. Peale toote esialgsete tehniliste lahenduste loomist võrreldakse võimalikke lahendusi ning samuti erinevate funktsionaalsete elementide integreerimise võimalikkust. Võrdluse tulemuseks on esialgse disaini ja tehnilise lahenduste põhimõtteline valik, mille põhjal on võimalik seadme prototüüpi detailsemalt projekteerida hakata.

3.1 Pallide seadmesse laadimine

Tagasilöödud pallide kogumise ja uuesti seadmesse laadimise põhilised nõuded on töökindlus, väikesed mõõtmed, pallide seadmesse laadimise kiiruse reguleerimise võimalus, seadme pallidest täielikult tühjendamise võimekus, tõrgete korral vajalike osade lihtne lahti võtmine ning süsteemi lihtne tootmine ja madal hind.

3.1.1 Vertikaalne ketasmehhanism



Joonis 3.2 Vertikaalne ketasmehhanism

Joonisel 3.2 on kujutatud pallide kogumis ja seadmesse laadimise mehhanismi plokkudel, mis koosneb palle seadmesse suunavast kolust, vertikaalse asetusega kettast ning korpusest, mida mööda pallid ketasmehhanismini ja sealt edasi pallide söötismoodulini liiguvad. Vertikaalse ketta pöördliikumist teostatakse väikse reduktormootori jõul. Antud mehhanismi korral määrab ära pallide ettesöötmise sageduse mootorireduktori väljundkiirus ning pörleava ketta avauste arv. Kuna pallide maksimaalne ettesöötmise sagedus on lähtuvalt tootespetsifikatsioonist ligikaudu 70 palli minutis, siis on mõistlik valida just reduktoriga mootor, mille pöörlemissagedus nominaalpinge juures oleks sobilik antud ettesöötmise sageduse jaoks. Alalisvoolumootori korral on elektrivoolu pinget alandades võimalik siis ka reguleerida ettesöötmise sagedust madalamaks. Antud lahenduse puhul oleks mõistlik esmalt leida sobiv ajam hinna, suuruse, saadavuse ning pöörlemissageduse järgi ning seejärel

määrata vastav ketta avauste arv. Mootori võimsus pole antud ülesande täitmiseks määrav, kuna pöörata on vaja ainult ketta massi ning tõsta kettale toetuvaid palle.

Antud lahenduse plussiks on peamiselt konstruktsiooni ning selle tootmise lihtsus ja hind. Selleks, et antud lahendus saaks olema töökindel, tuleb projekteerimise käigus kindlasti dimensioneerida sobivalt pallide liikumisteed, ketas ning tema avased ning konstrueerida sobivad üleminekud pallide liikumistee detailide ühenduskohtades. Lisaks tuleb arvestada, et pallid ei jääks kinni suunamiskolu väljundsuudmele. Seega on tarvilik projekteerida kolule kinnitus ka pallide segamist või liigutamist teostava mootori või solenoidi jaoks. Segamismehhanismi vajadus selgitatakse välja prototüübi testimise käigus. Veel on tarvis arvestada seadme pallidest tühjaks laadimisega seadme seiskamisel. Antud lahenduse puhul on ketast teistpidi pöörlema pannes võimalik pallid tagasi viia maksimaalselt joonisel 3.2 kujutatud halli korpusesse, seega oleks tarvilik hall korpus ühest küljest kiiresti lahtivõetav konstrueerida.

3.1.2 Pöörleva tõukuriga lahendus



Joonis 3.3 Pöörleva tõukuriga lahendus

Joonisel 3.3 on kujutatud pallide kogumise ja seadmesse laadimise lahenduse plokkmudel, mis koosneb pallide kogumisanumast, kogumisanumas olevast mootori jõul pöörlevast kettast, kogumisanuma põhja külge kinnituvast pallide liikumisteedest

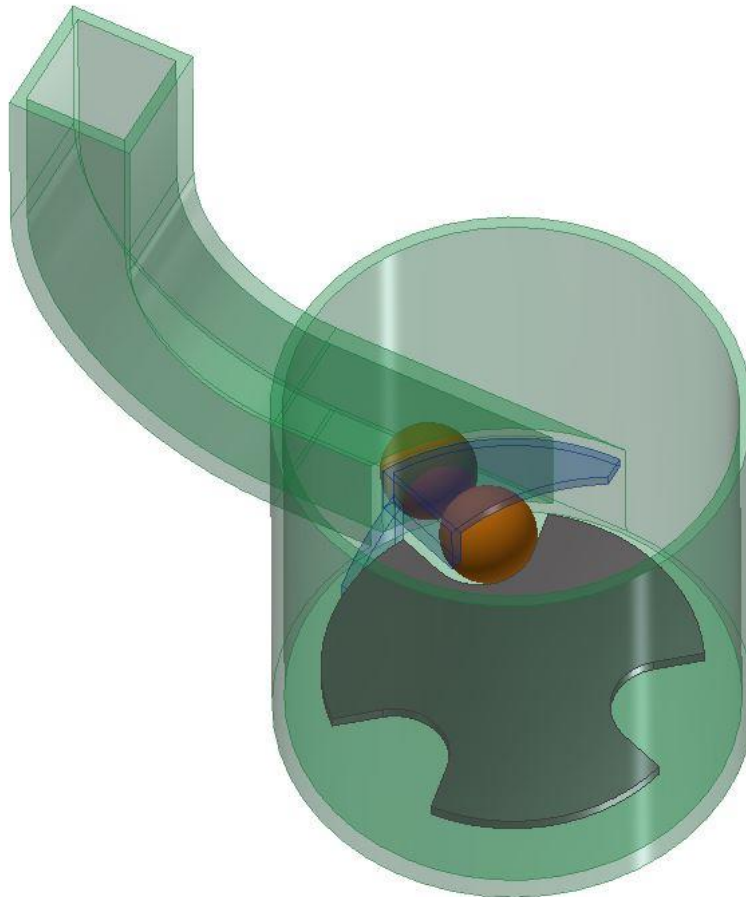
ning liikumistee alguses mootori jõul pöörlevast vertikaalsest pallide tõukurist. Kogumisanumas pöörlev ketas ning ketta kohal olev statsionaarne takistusdetail tagavad selle, et pallid kindlasti järgnevasse juhttesse jõuavad. Juhttee alguses paikneva tõukuri pöörlemissagedus määrab ära pallide ettesöötmise sageduse. Tõukurist mööda läinud pallid lükatakse mööda juhtteed tõukuri poolt edasi samal ajal kui kogumisanumast alla liikuv pall tõukuri pealt juhttesse kukub. Sellisel kujuga kogumisanuma puhul oleks kindlasti tarvis kasutada pöörlevat ketast anuma põhjas. Lahenduse töökindluse määrab suuresti ära kogumisanuma ketasmehhanismi töökindlus. Samuti võib keerukaks osutuda seadme seiskamisel pallide kättesaamine seadmest. Lahenduse plussideks on eeldatavalt madal hind ning tõukuriga pallide seadmesse söötmise töökindluse tagamise lihtsus.



Joonis 3.4 Pöörleva tõukuriga lahenduse variatsioon

Joonisel 3.4 on kujutatud pöörleva tõukuriga lahenduse variatsioon, kus on kaks horisontaaltasapinnas paralleelselt asetsevat detaili, mis pöörlevad ühe mootori jõul, on omavahel ühendatud ning nad on omavahel asetatud nii, et nende väljalõiked paiknevad vastaspooltel. Läbi ülemise ketta väljalõike kukkudes maandub pall alumise detaili peale ning 180 kraadi päripäeva edasi pööreldes lükkab alumine detail juba juhttees olevad pallid edasi ja alumise detaili peal olev pall kukub läbi detailis oleva väljalõike juhttesse. Antud variatsiooni eeliseks joonisel 3.3 kujutatud lahenduse ees on see, et on võimalik kasutada ainult ühte ajamit ning pallide juhttese laskumine on kontrollitum.

3.1.3 Horisontaalne ketasmehhanism tagastusega

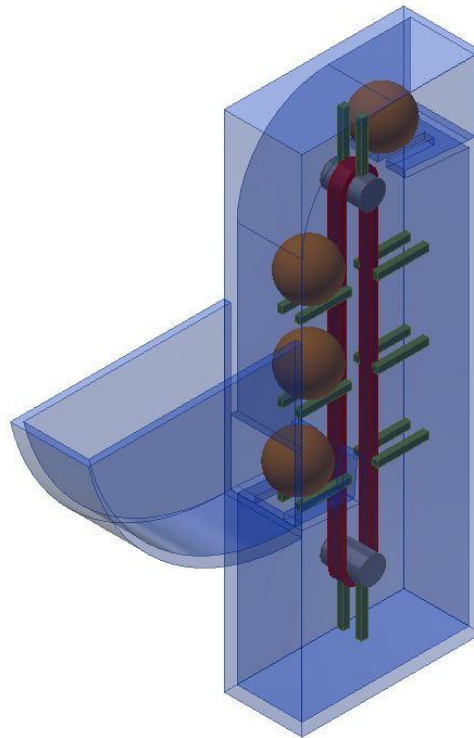


Joonis 3.5 Horisontaalne ketasmehhanism tagastusega

Joonisel 3.5 kujutatud lahendus koosneb elektrimootori jõul pöörlevast kettast, pallide juhtteest, kogumisanumast ning kogumisanuma väljundsuudme juures asuvatest lisadetailidest. Siniselt kujutatud lisadetailide eesmärgiks on:

- Juhtida ketta väljalõigete vahele jõudnud pallid juhttesse.
- Hoida ära tõrgete võimalus väljundsuudme juures.
- Ketast päripäeva pöörlema pannes on võimalik seadme seiskamisel kõik pallid seadmest kogumisanumasse tagasi tuua.

3.1.4 Rihmülekanedega lift



Joonis 3.6 Rihmülekanedega lift

Joonisel 3.6 on kujutatud pallide kogumise ja seadmesse laadimise lahendus, kus pallide kogumisanumast liiguvad pallid edasi seadme korpuses paikneva rihmülekanedega söötepeasse. Palle vedava rihma külge tuleks kinnitada haaratsdetailid, millele korpusesse sisenenud pallid toetuda saavad ja rihma liikumisega söötepeasse jõuavad. Antud lahendus on võrreldes teistega eeldatavasti kallim kuna komponente on rohkem ning töökindlust tagada keerulisem.

3.1.5 Pallide seadmesse laadimise kontseptsioonide võrdlus

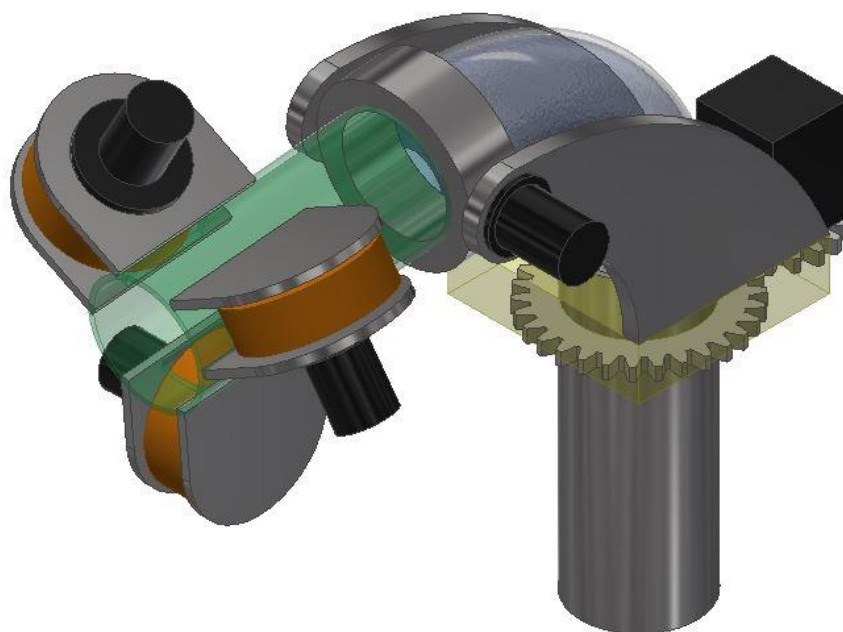
Kuna funktsioon, mida täita vaja, on üsna otsekohene ja mitte väga keerukas, on ka pakutud pallide automaatselt seadmesse laadimise lahendused oma olemuselt võrdlemisi sarnased. Kõige rohkem erineb rihmülekanedega lifti tüüpi lahendus, mille hind ja teostuse keerukuse tase on aga teistest kõrgem. Küll aga võiks kaaluda antud lahenduse pallide kogumisanuma üldkuju ka teiste lahenduste juures, kuna ühe pallirea laius kogumisanumaga väheneb pallide omavahelise takerdumise oht ning antud kuju juures mõningaid modifikatsioone tehes võib olla võimalik kogumisanumast palle seadmesse laadimise mehhanismini viia ilma pallide segamise lisafunktsioonita. Pöörleva tõukuriga lahenduse teise variatsiooni eeliseks on ühe ajamiga pallide segamise ja seadmesse söötmise teostamine. Kuid esialgsel hinnangul täidab kõige paremini ja ka lihtsamini ettenähtud nõudeid tagastusega horisontaalne

ketasmehhanism. Kui antud lahenduse juures kogumisanuma disain ja selles pöörlev ketas sobivalt mõõtmestada, siis on võimalik ühe pöörleva ketta ja statsionaarse korpusega koguda kogumisvõrgust kukkuvad pallid, laadida need seadmesse ning ka seadme seiskamisel need tagasi välja tuua. Seega sobivaim lahendus pallide seadmesse laadimiseks on tagastusega horisontaalne ketasmehhanism.

3.2 Pallide ettesöötmine

Vastavalt eelpool kirjeldatud tootespetsifikatsioonile on pallide ettesöötismooduli peamiseks nõueteks järjestikuste pallide kiiruse, maandumisasukoha ning vindi muutmise võimalus. Ettesöötismoodulist väljuvate pallide kiirust on võimalik reguleerida sööterullikuid käitavate mootorite pöörlemissageduse reguleerimisega. Vindi tugevust on samuti võimalik reguleerida mootorite pöörlemissageduse muutmisega. Vindi suuna muutmiseks kahe sööterullikuga lahenduste puhul oleks tarvilik rullikute positsiooni palli suhtes muuta, kolme sööterullikuga lahenduste puhul on vindi suuna muutmine jällegi võimalik rullikute omavahelise kiiruse muutmisega. Seega on seadmest väljuvate pallide kiiruse ja vindi reguleerimise tarbeks mõistlik kasutada kolme motoriseeritud sööterullikut. Seadmest väljuva palli trajektoori muutmiseks on tarvilik kas terve pallide söötismooduli nurka muuta horisontaal- ja vertikaalsuunas või muuta palli trajektoori peale sööterullikute vahelt väljumist.

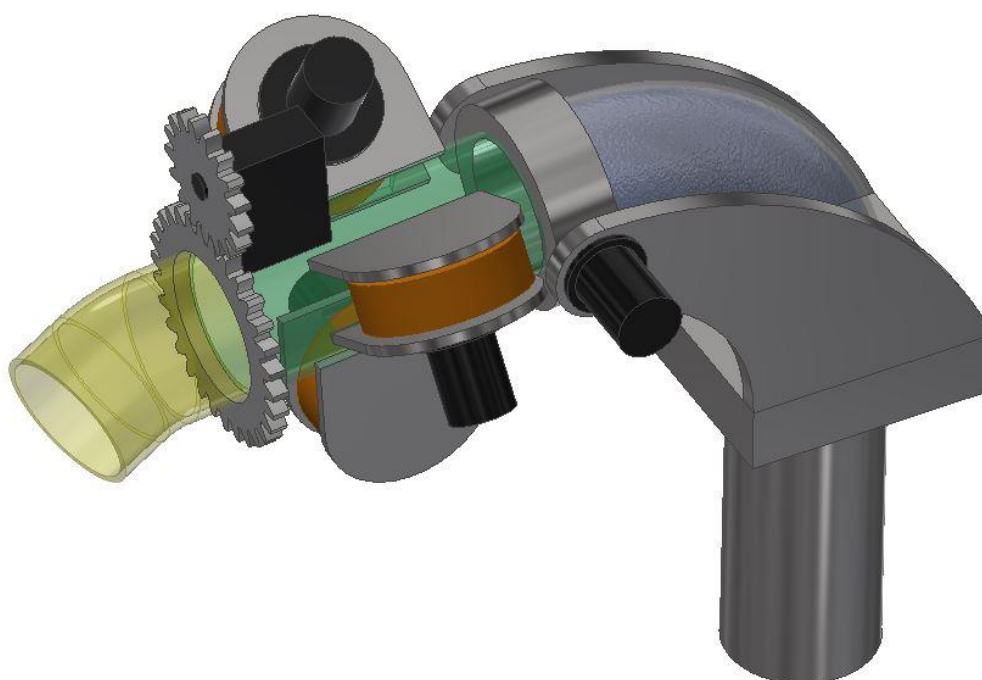
3.2.1 Ümber kahe telje pööratav söötepea



Joonis 3.7 Ümber kahe telje pööratav söötepea

Joonisel 3.7 on kujutatud söötepea lahendus, kus pallide söötismoodulid pööratakse ühe servomootori ja hammasülekandega ümber pallide juhttee ning teise servomootoriga muudetakse seadmest väljuva palli nurka horisontaaltasapinna suhtes. Antud lahendusega on tagatud järjestikuste pallide maandumisasukoha muutmise võimalus ning kuna peale palli sööterullikute vahelt väljumist enam palli trajektoori ei muudeta, siis on kindlat palli trajektoori ja maandumisasukohta võimalik üpris täpselt tagada, kuid samas on palli trajektoori ka mängijale visuaalselt vägagi etteaimatav. Kuna pallide söötepea ja juhttee vahelist nurka muudetakse, siis peaks antud lahenduse korral olema joonisel 3.7 siniselt kujutatud juhttee osa olema elastne. Samuti peavad palli trajektoori muutvad servomootorid olema võimelised tervet söötepead liigutama piisavalt kiiresti ja stabiilselt. Lisaks oleks tarvis ära lahendada ka pallide söötismooduli fikseerimine pallide vertikaalse juhttee külge aksiaalsuunas.

3.2.2 Suunamistoruga söötepea

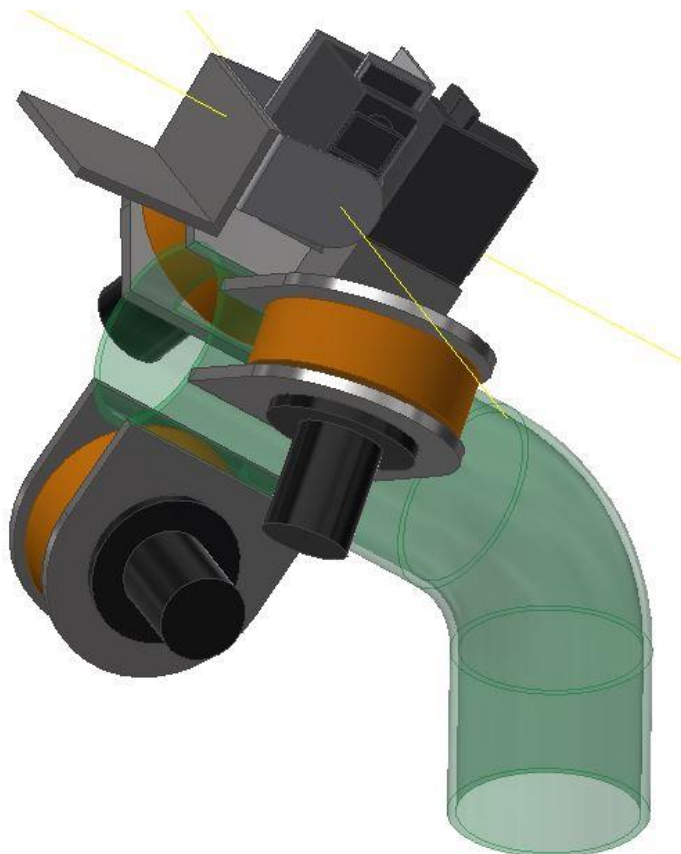


Joonis 3.8 Suunamistoruga söötepea

Joonisel 3.8 on kujutatud pallide söötismooduli lahendus, kus sarnaselt eelneva variandiga muudetakse palli heiterullikute nurka horisontaaltasapinna suhtes servomootoriga ning juhttee ja söötismooduli vahel on tarvilik kasutada elastset osa. Põhiline erinevus seisneb selles, et palli trajektoori muudetakse antud lahenduse juures peale heiterullikute vahelt väljumist painutatud suunamistoruga, mida liigutatakse servomootori ja hammasülekandega, ning terve söötismooduli nurka muutes. Antud kontseptsiooni juures võib, lisaks eelneva lahenduse juures mainitule, probleeme

tekkida soovitud palli vindi tagamisega, kuna peale heiterullikute vahelt väljumist on pall kontaktis veel väikese teekonna jagu suunamistoruga. Samuti võib osutuda keeruliseks konstruktsiooni reaalse tehnilise lahenduse saavutamine.

3.2.3 Suunamisplaadiga söötepea



Joonis 3.9 Suunamisplaadiga söötepea

Joonisel 3.9 on kujutatud pallide seadme heitmise lahendus, kus palli trajektoori muutmine toimub peale palli heiterullikute vahelt väljumist. Palli trajektoori muutmiseks kasutatakse suunamisplaati, mida pööratakse kahe telje suhtes. Suunamisplaadi pööramine teostatakse kahe üksteise suhtes risti asetseva servomootoriga, mille omavaheliseks ning suunamisplaadiga ühendamiseks kasutatakse standardseid servomootorite kinnituskronsteine. Suunamisplaadi poolse servomootoriga on võimalik varieerida palli maandumisasukohta laua pikisuunas ning tagumise servomootoriga on võimalik varieerida palli maandumisasukohta laua ristisuunas. Antud lahendusega on servomootorid asetatud ruumis just niipidi, kuna siis on võimalik varieerida pallide trajektoori laua ristisuunas ilma suunamisplaadile külgsuunalisi pörkepindu lisamata. Seega on võimalik palli trajektoori muuta ainult ühe pörkega suunamisplaadist, mis teeb mootorite juhtimise märksa lihtsamaks. Käesoleva kontseptsiooni plussideks on konstruktsioonilise teostatavuse lihtsus ja hind ning lisaks on suunamisplaat võimalik

mingil määral ära katta, et pallide lennutrajektor ei ole mängijale intuiivselt aimatav. Antud lahenduse keerukam pool on tõenäoliselt seadme programmeerimine, et tagada soovitud pallide maandumisasukohad soovitud kiiruste ja vintide juures.

3.2.4 Pallide ettesöötismoodulite võrdlus

Pakutud kontseptsioonide erinevus seisneb palli trajektoori muutmise tööpõhimõttes. Kõik eelpool kirjeldatud lahendused nõuavad väikeseid servomootoreid, et tagada pallide soovitud maandumisasukoht võimalikult täpselt. Esimese kahe lahenduse peamiseks eeliseks on seadmest väljuva palli kindla trajektoori tagamine, kuid konstruktsiooni reaalne tehniline lahendus on mõnevõrra keerulisem ja kallim kui suunamisplaadiga variandil. Suunamisplaadiga lahenduse puhul on palli lennutrajektoori veidi keerulisem reguleerida, kuid läbi seadme prototüübi testimise on see teostatav. Suunamisplaadiga lahenduse peamiseks eelisteks teise kahe lahenduse ees, on mõnevõrra lihtsam konstruktsioon ning ka tootespetsifikatsioonis väljatoodud pallide trajektoori ettearvamatus võimaldamine, mis on lauatennise mängus oluline faktor. Seega sobivaimaks lahenduseks osutub suunamisplaadiga söötepea.

4. SEADME PROTOTÜÜBI PROJEKTEERIMINE

Järgnevat alapeatükkides käsitletakse seadme projekteerimist prototüübi testimise tarbeks. See tähendab, et seadme konstruktsioonis on mõistlik kasutada võimalikult palju ostutooteid ja standardkomponente ning detailid projekteeritakse levinud prototüüpimise meetoditele kohaselt (näiteks 3D printimine). Esimesena on mõistlik ära valida funktsioone täitvad ajamid vastavalt tootespetsifikatsioonis esitatud nõuetele. Seejärel projekteeritakse üksikud detailid ja koostud, määratakse neile materjalid ja tootmismeetodid ning peale seda sobitatakse seadme erinevad osad ühtseks tervikuks.

4.1 Söötepea projekteerimine

Pallide söötepea projekteeritakse kolme heiterullikuga ja palli trajektoori muutmiseks kasutatakse pörget suunamisplaadilt. Heiterullikute pöörlema panekuks kasutatakse tavalisi alalisvoolu elektrimootoreid, suunamisplaadi liigutamiseks kasutatakse väikesed servomootoreid tagamaks võimalikult täpset palli lennutrajektoori.

4.1.1 Heiterullikute dimensioneerimine ja mootorite valik

Lauatennise keskmine löögi kiirus on ligikaudu 11 m/s ning maailmarekord on 31 m/s. 31 m/s palli lennukiiruseni reaalses mänguolukorras mitte kunagi sisuliselt ei jõuta [13]. Seega vastavalt tootespetsifikatsioonile peab olema heiterullikute vahelt väljumise hetkel olema tagatud pallide kiirus vähemalt 30 m/s. Kuna pallide kiirus, vint ja lennutrajektoori on reguleeritav, siis mootori valiku arvutuste lihtsustamiseks arvestatakse kiirusega just heiterullikute vahelt väljumise hetkel ning arvestatakse, et kõik rullikud pöörlevad sama kiiresti ning seega ka pall väljub rullikute vahelt ilma vindita. Reaalse palli kiiruse leidmiseks maandumise hetkel oleks tarvilik arvestada ka õhutakistusega, kiiruse kaoga suunamisplaadiga kokkupõrkel, palli heitenurga, palli heitmise kõrguse ning rullikute erineva kiiruse korral ka Magnuse efektiga.

Seega palli kiirus rullikute vahelt väljumise hetkel sõltub mootorite pöörlemissagedusest ja rullikute läbimõõdust tulenevast rullikute joonkiirusest. Mida suurem on rullikute läbimõõt, seda väiksemat mootorite pöörlemissagedust on tarvis, kuid samas on suurema massiga rulliku kiirendamiseks vaja ka suurema väändemomendiga mootorit. Kuna lauatennise palli mass on vaid 2,7 grammi, siis võib ka arvestada, et palli kokkupuutel rullikutega muutub palli liikumise kiirus koheselt võrdseks rullikute

joonkiirusega. Iteratiivsete arvutuste käigus Excelis, muutes rullikute läbimõõtu, osutus sobivaimaks mootoriks alalisvoolumootor RS-775 [14].



Joonis 4.1 Mootor RS-775 [14]

Mootori RS-775 parameetrid [14]:

- Nominaalpinge: 12 V
- Nominaalne voolutugevus: 0,65 A
- Maksimaalne pöörlemissagedus: 7000 min⁻¹
- Nominaalne väändemoment: 0,07 Nm
- Mass: 0,35 kg

Palli kiirus rullikute vahelt väljumise hetkel mootori maksimaalse pöörlemissageduse ning valitud rulliku läbimõõdu 90 mm juures on arvutatav valemiga:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}, \quad (4.1)$$

kus v – rulliku joonkiirus, m/s

d – rulliku läbimõõt, m

n – rulliku pöörlemissagedus, min⁻¹

$$v = \frac{\pi \cdot 0,09 \cdot 7000}{60} \approx 33 \text{ m/s}$$

Kontrollarvutusest selgub, et mootori pöörlemissagedus on piisav 90 mm läbimõõduga rullikute korral vähemalt 30 m/s algkiiruse andmiseks pallile.

Lisaks kontrollitakse veel kui kiiresti on mootorid võimelised saavutama maksimaalset pöörlemiskiirust. Seega esmalt arvutatakse 90 mm läbimõõduga ning 20 mm laiussega

rulliku inertsmoment. Kui antud mõõtudega rullik valmistatakse POM plastikust, siis võib arvestada rulliku massiks 0,1 kg. Rulliku inertsmoment on arvutatav järgnevalt:

$$I = 0,5 \cdot m \cdot r^2, \quad (4.2)$$

kus I – rulliku inertsmoment, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
 m – rulliku mass, kg
 r – rulliku raadius, m

$$I = 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,045^2 = 0,00010125 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Järgmisena arvutatakse rulliku inertsmomenti ja mootori nominaalse väändemomendi kaudu nurkkiirendus, mida on mootorid võimelised tagama:

$$\alpha = \frac{T}{I}, \quad (4.3)$$

kus α – nurkkiirendus, rad/s^2
 T – mootori nominaalne väändemoment, Nm

$$\alpha = \frac{0,07}{0,00010125} \approx 691 \text{ rad/s}^2$$

Mootori ja rulliku nurkkiirus arvutatakse järgnevalt:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}, \quad (4.4)$$

kus ω – mootori ja rulliku nurkkiirus, rad/s

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 7000}{60} \approx 733 \text{ rad/s}$$

Nurkkiirenduse ja mootori ning rulliku maksimaalse nurkkiiruse kaudu arvutatakse välja aeg, kui kiiresti on mootor võimeline saavutama maksimaalset pöörlemissagedust antud rulliku massi ja läbimõõdu juures:

$$t = \frac{\omega}{\alpha}, \quad (4.5)$$

kus t – mootori maksimaalse pöörlemissageduse saavutamiseks kuluv aeg, s

$$t = \frac{733}{691} \approx 1,06 \text{ s}$$

Arvutustest selgus, et mootori maksimaalse pöörlemissageduse saavutamiseks kuluv aeg on ligikaudu 1 s, mis on piisavalt lühike aeg pallide ettesöötmise kiiruse ja vindi muutmiseks järjestikku heidetavate pallide vahel.

4.1.2 Suunamisplaati juhtivate servomootorite valik

Palli trajektoori muutmiseks osutus sobivaimaks lahenduseks kasutada suunamisplaati, mida liigutatakse kahe omavahel ühendatud servomootoriga. Erinevaid servomootoreid ja nende külge kinnitatavaid standardseid kronsteine otsides osutus parimaks valikuks kinnitusplaatide ja servomootorite komplekt *Lynxmotion Pan and Tilt Kit / Aluminium* [15].

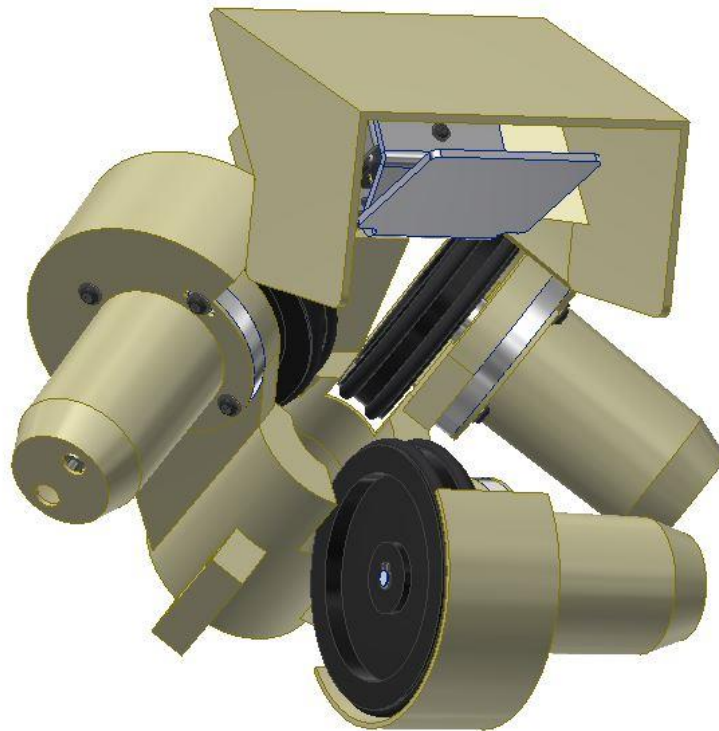


Joonis 4.2 *Lynxmotion Pan and Tilt Kit / Aluminium* [15]

Komplekti kuulub kaks alumiiniumist kronsteini, kinnitusvahendid ning kaks Hitec HS-422 standard suuruses servomootorit. Hitec HS-422 servomootori parameetrid [16]:

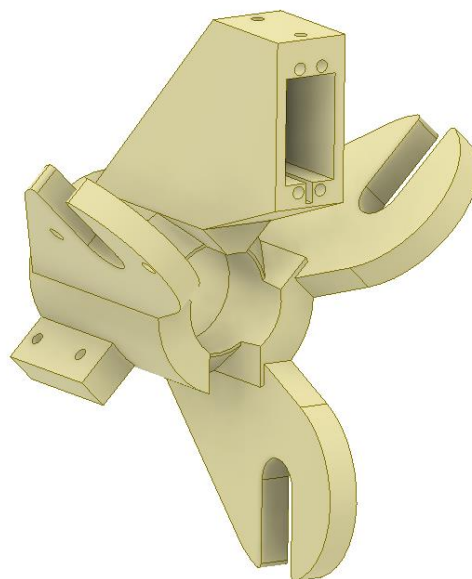
- Mõõtmed: 41 x 20 x 37 mm
- Mass: 45,5 g
- Nominaalne voolutugevus: 0,15 A
- Pinge: 4,8-6 V
- Pöörämiskiirus 4,8 V juures: 0,21 s/60°
- Väändemoment 4,8 V juures: 0,32 Nm

4.1.3 Söötepea konstruktsioon



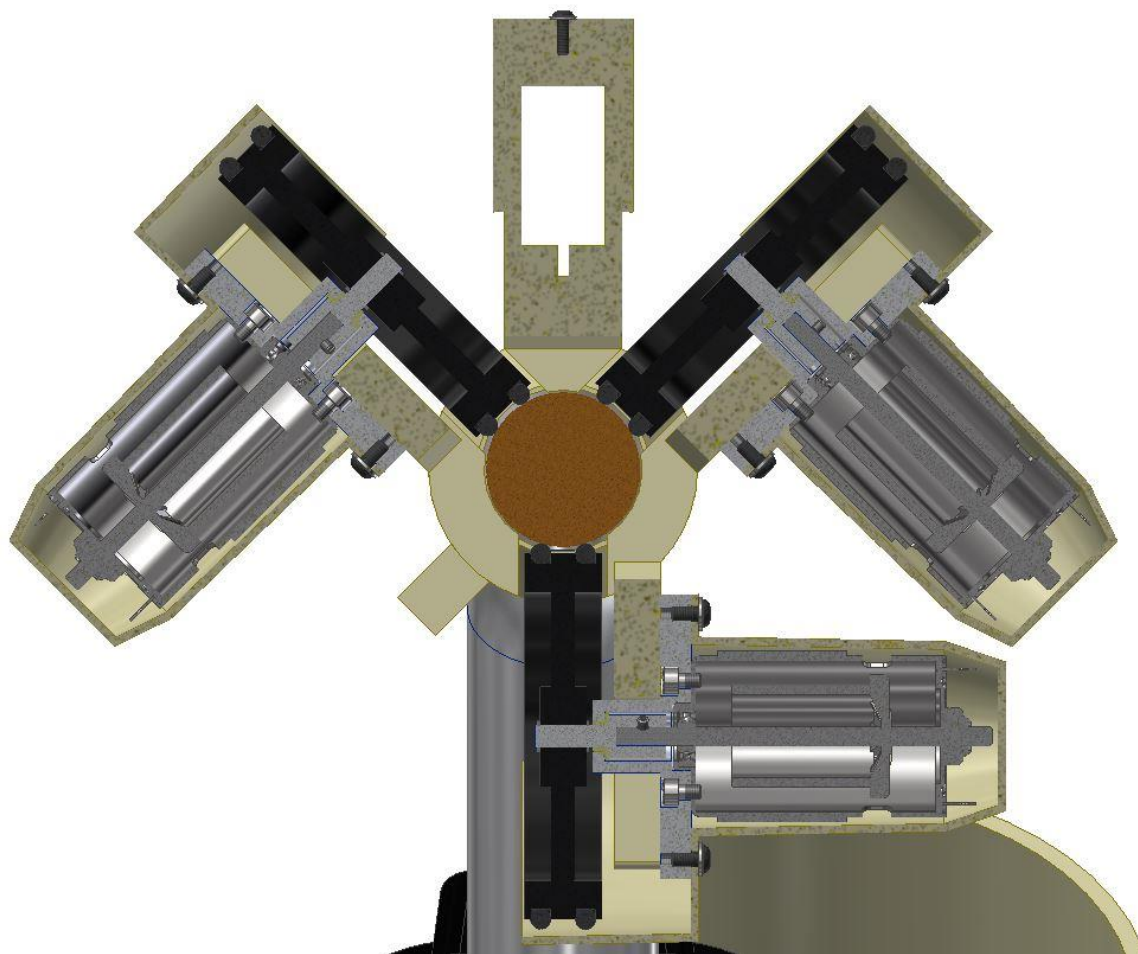
Joonis 4.3 Söötepea koost

Joonisel 4.3 on kujutatud seadme prototüübi söötepea koost. Söötepea koost koosneb kolmest mootori ja rulliku koostust, kahest servomootorist, mis juhivad suunamisplaati, katetest ning detailist, mis suunab pallid rullikute vahele ning mille külge kinnituvad kõik eelnevalt mainitud detailid ja koostud.



Joonis 4.4 Söötepea kinnitusdetail

Joonisel 4.4 on näidatud söötepea keskne detail, millega fikseeritakse terve söötepea pallide juhttoru külge ning mille enda külge kinnitatakse mootorikoostud, suunamisplaati juhtivad servomootorid ning suunamisplaadi kate. Antud detail on projekteeritud istuma 50 mm läbimõõduga ning 2 mm seinapaksusega alumiiniumtoru otsa. Detaili suue on tehtud kooniline, et palli täpsemini heiterullikute vahele suunata. Prototüübi tarbeks detail 3D prinditakse, seeriatootmiseks oleks tarvilik antud detaili kohandada suuremat tootmismahu võimaldavale tootmismeetodile vastavaks.



Joonis 4.5 Söötepea läbilõige

Joonisel 4.5 on näidatud söötepea läbilõige palli heitmise hetkel. Mootorikoostu koostamiseks esmalt paigaldatakse alumiiniumist võll mootori võlli otsa ning fikseeritakse kahe M3 seadekruviga. Seejärel paigaldatakse momenti ülekandva võlli peale liugelaager koos alumiiniumist laagrikorpusega, mis kinnitatakse mootori külge kahe M4 poldiga. Järgmisena paigaldatakse võllile esimene lukustusrõngas, liistusoonega POM plastikust rullik ning teine lukustusrõngas. Parema rullikute haarde tagamiseks kasutatakse prototüübi puhul rullikutele paigaldatavaid standardseid rõngastihendeid. Seeriatootes puhul on mõistlik katta rullikute pinnad eraldi

kummikattega. Viimasena kinnitatakse laagrikorpuse külge kahe M4 poldiga prototüübi tarbeks 3D prinditud mootori ja rulliku kattedetail. Seeriatootes puhul on antud detail mõistlik toota survevaluga.



Joonis 4.6 Igus H1FM-0608-04 [17]

Joonisel 4.6 on toodud mootorikoostus võlli toestav liugelaager Igus H1FM-0608-04. Igus H1FM-0608-04 flantsiga liugelaager on 6 mm siseläbimõõduga, hooldevaba ja madala hõõrdeteguriga. Antud liugelaagri maksimaalne pideva pöörlemise joonkiirus on 2 m/s ning lühiajaliselt 2,5 m/s. Järgnevalt kontrollitakse liugelaagri sobivust maksimaalse mootori pöörlemissageduse juures:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}, \quad (4.6)$$

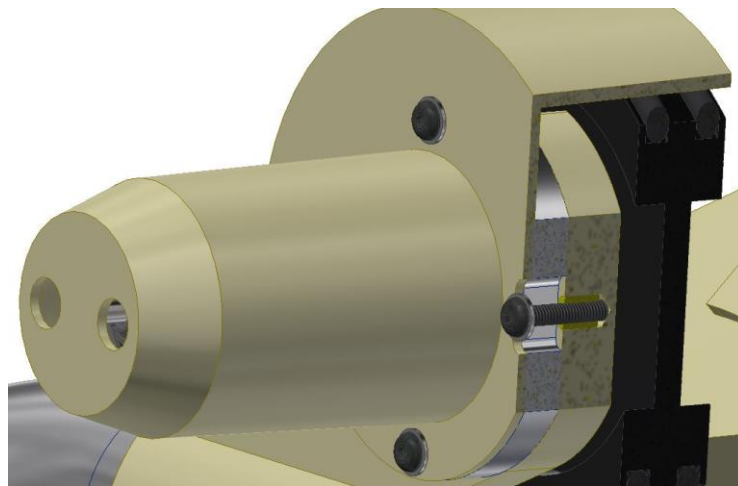
kus v – võlli joonkiirus, m/s

d – liugelaagri siseläbimõõt, m

n – mootori maksimaalne pöörlemissagedus, min^{-1}

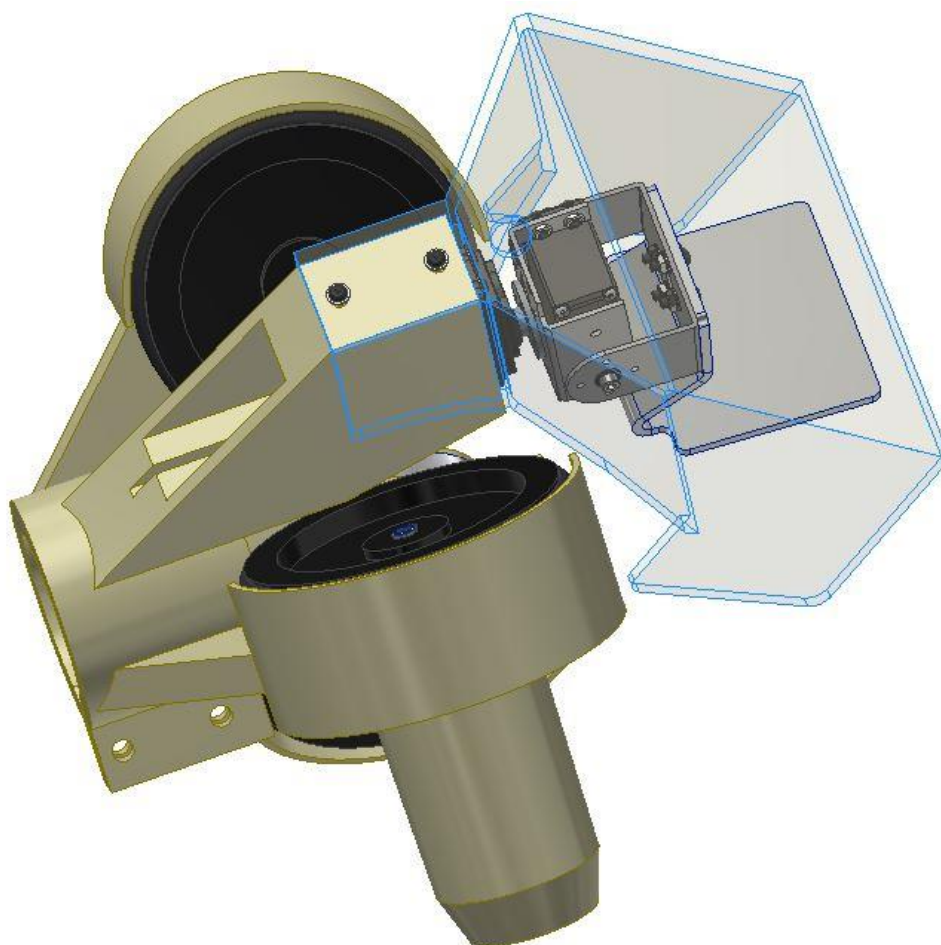
$$v = \frac{\pi \cdot 0,006 \cdot 7000}{60} \approx 2,2 \text{ m/s}$$

Kuna seadet kasutatakse maksimaalse kiiruse juures väga harva ja lühikest aega, siis on valitud liugelaager sobilik.



Joonis 4.7 Mootorikoostu kinnitamine

Joonisel 4.7 on näidatud mootorikoostu fikseerimine söötepea kinnitusdetaili külge. 3D prinditud kinnitusdetaili avadesse paigaldatakse iselõikuvad muhvid poltliite tugevuse tagamiseks. Prototüübi 3D prinditud detailide puhul kasutatakse pea kõikides liides, kus on tarvis keermestatud ava olemasolu, Ensat 302 iselõikuvaid meeterkeermega muhve [18]. Mootorikoost kinnitatakse söötepea kinnitusdetaili külge kahe M4 poldiga läbi kattedetaili ja laagrikorpuse ovaalsete avade. Ovaalse kujuga avad annavad võimaluse reguleerida rullikute omavahelist kaugust parima haarde tagamiseks palliga.



Joonis 4.8 Servomootorite ja suunamisplaadi kinnitamine

Palli suuna muutmiseks kasutatakse 3 mm paksust painutatud alumiiniumist plaati. Plaat kinnitatakse välimise servomootori küljes oleva kronsteini külge M3 poltide ja mutritega. Kahest servomootorist ja kinnituskronsteinidest koosnev ostutoode kinnitatakse söötepea kinnitusdetaili külge nelja M3 poldiga. Servomootorid ja suunamisplaat varjatakse 3D prinditud kattedetailiga. Seeriatoote puhul on kattedetail mõistlik toota survevaluga.

4.2 Pallide kogumise ja seadmesse laadimise projekteerimine

Seadme prototüübi puhul kasutatakse tagasilöödud pallide kogumiseks ja seadmesse suunamiseks joonisel 3.1 kujutatud Joola pallikogumisvõrku. Kogumisvõrgu põhjas oleva ava alla projekteeritakse pallide kogumisanum, mille põhjas on pöörlev ketas, mis tagasilöödud palle juhttorusse ja sealt edasi heiterullikute vahele lükkab.

4.2.1 Ketasmehhanismi ajami valik

Kogumisanuma pöörleva ketta pöörlema panemiseks kasutatakse alalisvoolu mootorreduktorit. Mootori valikuga on oluline tagada tootespetsifikatsioonis määratud ettesöötmissagedus 70 palli minutis. Mida rohkem on pöörleval kettal pallide kaasahaaramiseks väljalõikeid, seda aeglasemini on kettal vaja pöörelda. Madalam pöörlemiskiirus tagab ka selle, et pallid alati kettas olevate väljalõigete vahele kukuksid. Ketta väljalõigete arvuks valitakse neli. Järgnevalt arvutatakse vajalik mootorreduktori pöörlemiskiirus:

$$n = \frac{f}{N}, \quad (4.7)$$

kus n – mootorreduktori pöörlemissagedus, min^{-1}

f – pallide ettesöötmissagedus, min^{-1}

N – ketta väljalõigete arv

$$n = \frac{70}{4} = 17,5 \text{ min}^{-1}$$

Valituks osutus alalisvoolu mootorreduktor 4632WG-370CA-340 [19].

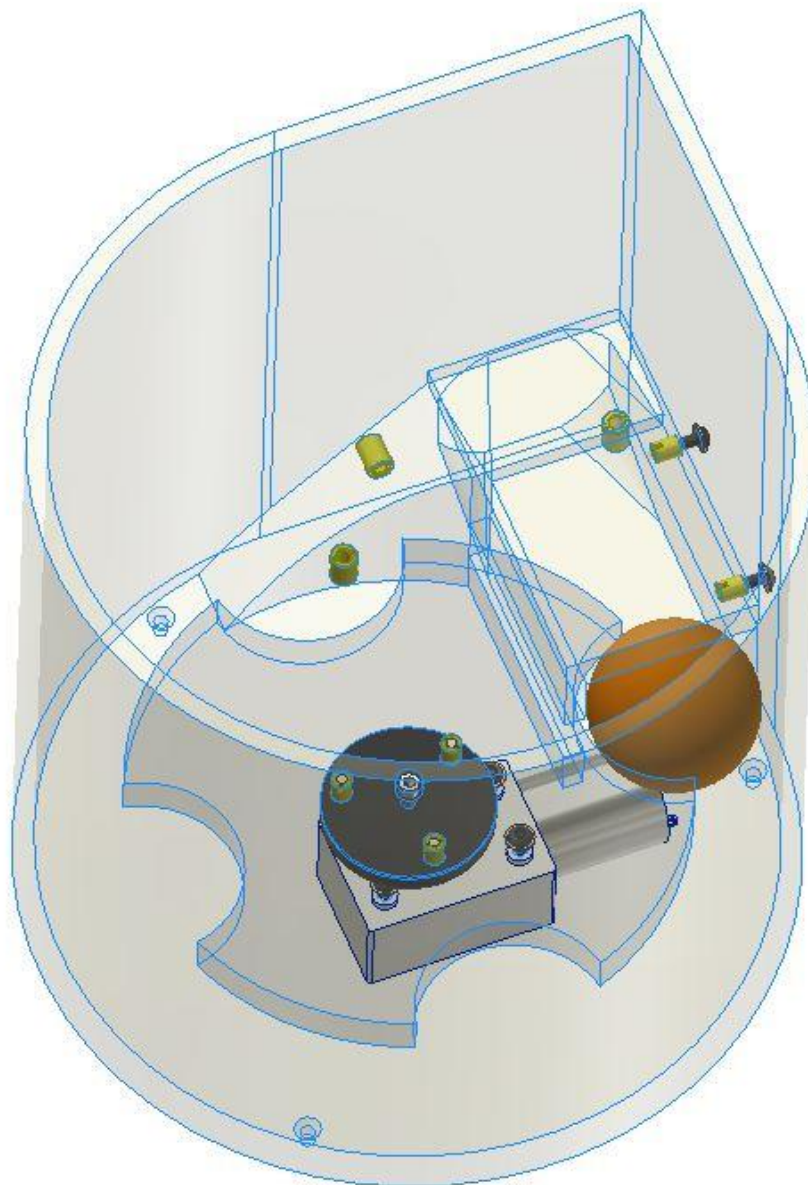


Joonis 4.9 Mootorreduktor 4632WG-370CA-340 [19]

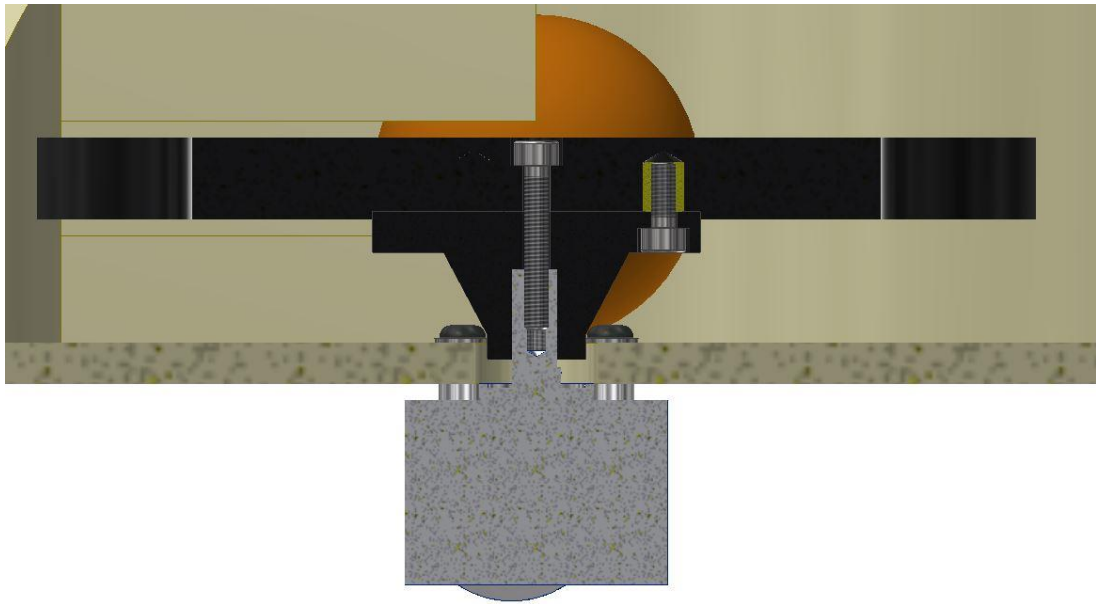
Valitud ostutootel on 6 mm läbimõõduga väljundvõll, millel on aste jõu ülekandmiseks ning M3 sisekeere vajaliku detaili võllile fikseerimiseks. Mootorreduktor 4632WG-370CA-340 parameetrid on [19]:

- Maksimaalne väljundvõlli pöörlemissagedus: 18 min^{-1}
- Väändemoment: 1,18 Nm
- Nominaalpinge: 12 V
- Voolutugevus: 0,5 A

4.2.2 Pallide kogumise ja seadmesse laadimise konstruktsioon



Joonis 4.10 Pallide kogumisanum



Joonis 4.11 Kogumisanuma läbilõige

Joonistel 4.10 ja 4.11 on näidatud pallide kogumise ja seadmesse laadimise lahenduse konstruktsioon. Korpus koosneb kahest detailist, et anuma põhja oleks võimalik paigaldada palle liigutav ketas. Korpusedetailid prototüübi jaoks 3D prinditakse, seeriatoote puhul on mõistlik detaile kohandada ja toota korpusedetailid survevaluga. Pallide väljumisava on kaetud nii, et palli väljundsuudme juures ei oleks võimalik pallidel kinni jääda. Lisaks on anuma põhja projekteeritud kaldtee, mille eesmärk on ketast teistpidi pöörlema pannes ja pallid juhttorust välja tuues ketta väljalõigete vahelt pallid üles tuua. Mootorreduktor kinnitatakse läbi korpuse põhja nelja M3 poldiga. Palle ringi ajav ketas valmistatakse 10 mm paksusest POM plastikust. Reduktori väljundvõllilt kantakse momenti üle POM plastikust treitud vahedetailiga, mis fikseeritakse ketta külge kolme M3 poldiga. Ketas ja vahedetail fikseeritakse aksiaalsuunas reduktori väljundvõllile M3 poldiga.

4.3 Elektroonikakomponentide valik

Järgnevalt valitakse põhilised elektroonikakomponendid, mis on seadme kasutamiseks tarvilikud. Esimesena teostatakse kontrolleri valik, läbi mille toimub ajamite juhtimine. Valituks osutus Arduino Uno kontrolleri, kuna see on laialdaselt levinud kontrolleri sarnastes kasutusvaldkondades ning selle kasutamise kohta leidub palju erinevaid juhiseid [20].



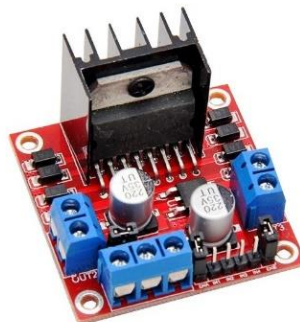
Joonis 4.12 Arduino Uno Rev3 [20]

Arduino Uno Rev3 parameetrid [20]:

- Mõõtmed: 68,6 x 53,4 mm
- Soovituslik toitepinge: 7-12 V
- Väljundpinge: 5 V
- Voolutarve: 50 mA
- Digitaalseid sisendeid/väljundeid: 16, millest kuut on võimalik kasutada PWM (*Pulse Width Modulation*) väljundina.
- Analoogsisendeid: 6

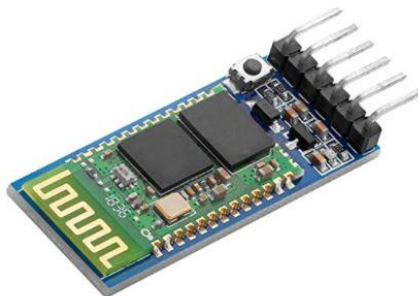
Valitud kontrollerial on piisavalt sisendeid ja väljundeid nelja alalisvoolumootori ja kahe servomootori juhtimiseks. PWM väljundpesade signaali kasutatakse alalisvoolumootorite puhul kiiruse reguleerimiseks.

Alalisvoolumootorite kiiruse reguleerimiseks ja pöörlemissuuna muutmiseks kasutatakse kahte L298N mootori draiverit. Ühe L298N draiveriga on võimalik juhtida kahte alalisvoolumootorit. L298N voolutarve on kuni 36 mA. [21]



Joonis 4.13 Mootori draiver L298N [21]

Selleks, et võimaldada seadme juhtimist läbi nutiseadme kasutatakse HC-05 bluetooth moodulit. HC-05 Bluetooth moodulil on kasutusdistants kuni 10 m. [22]



Joonis 4.14 HC-05 Bluetooth moodul [22]

Seadme sisse ja välja lülitamiseks kasutatakse fikseeruvat LED tulega nuppu, et kasutajal oleks ka indikatsioon kas seade on sisse või välja lülitatud.



Joonis 4.15 Keenso 19 mm 12 V pressure switch [23]

Järgnevalt arvutatakse seadme elektroonikakomponentide voolutarve, et valida seadme prototüübi toiteallikas. Seadme voolutarbe kalkulatsioon arvestatakse, et kui seade on sisselülitatud, siis kõik valitud komponendid tarbivad voolu.

Tabel 4.1 Voolutarbe arvestus

Tarbija	Kogus (tk)	Voolutugevus (A)	Voolutarve kokku (A)
Söötepea mootor	3	0,65	1,95
Kogumisanuma mootor	1	0,5	0,5
Arduino Uno	1	0,05	0,05
LED lüliti	1	0,012	0,012
Suunamisplaadi servo	2	0,15	0,15
L298N mootori draiver	2	0,036	0,072
HC-05 Bluetooth moodul	1	0,02	0,02
KOKKU			2,754

Kuna tarbijate kõrgeim nominaalpinge on 12 V ning seadme voolutarve on ligikaudu 2,8 A, siis seadme prototüübi jaoks osutus valituks 12 V ja 6 A toiteplokk. Prototüübi puhul piisab seinapistikuga ühendusest, seeriatoote puhul oleks mõistlik leida sobiv aku.



Joonis 4.16 Toiteplokk 12 V 6 A [24]

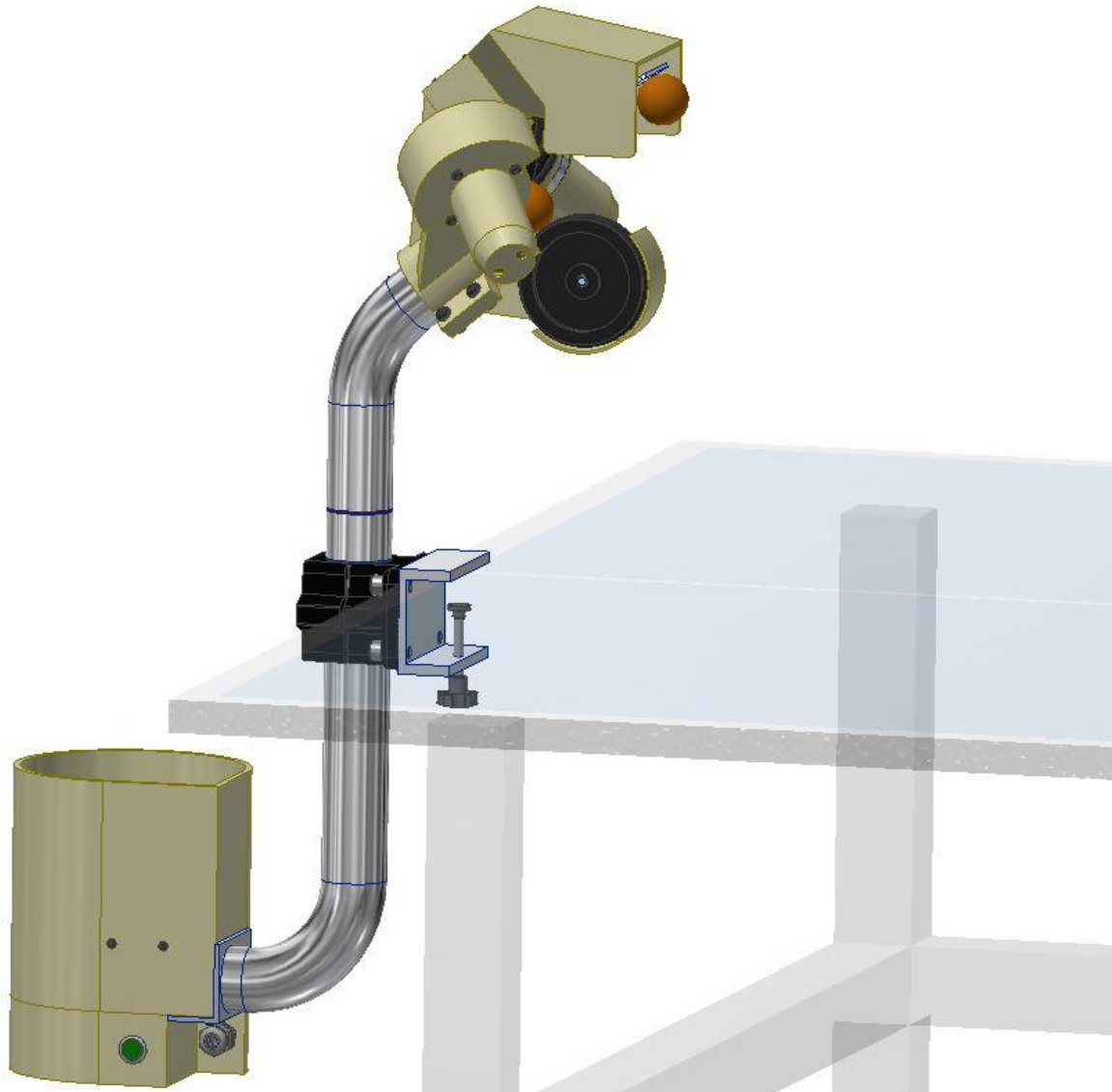
4.4 Seadme prototüübi terviklik konstruktsioon



Joonis 4.17 Juhttee keeviskoost

Pallide kogumisanumast juhtimiseks söötepeasse kasutatakse 50 mm läbimõõduga ja 2 mm seinapaksusega painutatud alumiiniumtoru. Kogumisanuma kinnitamiseks pallide

juhttoru külge keevitatakse toru alumisse otsa alumiiniumist 60x40x4 mm nurkprofiil. Söötepea kinnitamiseks ning kindla söötepea nurga fikseerimiseks keevitatakse juhttoru ülemise otsa külge 3 mm paksusest lehtmaterjalist detail. Kogumisanum kinnitatakse nurkprofiili külge kolme M4 poldiga, söötepea kinnitatakse lehtdetaili külge kahe M6 poldi ja mutriga.



Joonis 4.18 Seadme prototüübi terviklik konstruktsioon

Joonisel 4.18 on näidatud seadme prototüübi konstruktsioon ning kinnitus laua külge. Seadme prototüübi testimise käigus määratakse juhttoru fikseerimiseks erinevad kõrgused, mis valmis toote puhul markeeritakse juhttoru peal ära. Seadme kinnitamiseks laua külge kasutatakse kahest osast koosnevat Eles-Ganteri torude kinnitusklambrit GN 147-B50-2-SW [25], mille üks pool kinnitatakse nelja M10 poldiga 80x40 mm alumiiniumist U-profiili külge.



Joonis 4.19 Eles-Ganter GN 147-B50-2-SW kinnitusklamber [25]

Alumiiniumist U-profiili alumisele küljele on tehtud M8 keermestatud ava, läbi mille fikseeritakse keermestatud nupuga seade laua külge.



Joonis 4.20 Keermega nupp Eles-Ganter VC.692/32-SST-p-M8x50-SV18 [26]

Läbi pallide kogumisanuma põhja kinnitatakse kolme M3 poldiga 3D prinditud kogumisanuma mootori kate, mille sisse paigutatakse ka kõik seadme elektroonikakomponendid. Seeriatootel on antud kate mõistlik toota survevaluga. Läbi kattedetaili paigaldatakse LED valgustusega lüliti ning ka toitekaabli läbiviik.

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärk oli arendada prototüüp tootele, mis annaks lauatennise mängijatele võimaluse individuaalselt treenida. Esmalt võeti vaatluse alla juba müügil olevad lauatennise treeningseadmed ning uuriti ka kehtivaid patente. Taustauuringu käigus selgitati välja kasutajate jaoks olulised funktsioonid ning probleemid olemasolevate seadmete juures.

Taustauuringu tulemusena koostati tootespetsifikatsioon, kus määratleti ära olulisemad nõuded ja soovid arendatavale tootele. Tootespetsifikatsioonist lähtuvalt genereeriti pallide heitmise, suunamise ning seadmesse tagasi laadimise kontseptsioonid plokkudelitel kujul. Neist valiti välja sobivaimad lahendused, mille põhjal oli võimalik toote prototüüpi detailsemalt projekteerima hakata.

Järgnevalt teostati funktsioone täitvate ajamite ning muude tähtsamate ostukomponentide valik koos vajalike kontrollarvutustega. Peale ajamite ja ostukomponentide valikut loodi pallide seadmesse laadimise ning söötepea moodulite 3D mudelid ning integreeriti nad ühtseks tervikuks.

Lõputöö tulemusena valmis lauatennise treeningseadme prototüübi 3D mudel koos tootmisjoonistega. Töö eesmärk valmis arendada lauatennise treeningseadme prototüüp sai täidetud. Loodud seade võimaldab mängijal harjutada erineva sageduse, kiiruse, vindi ja trajektooriga maanduvate pallide löömist.

Antud töös ei käsitletud seadme füüsilise prototüübi valmistamist. Seega mitmed olulised teemad, nagu näiteks tarkvaraarendus ning kasutajaliidese loomine, on mõistlik võtta ette alles prototüübi katsetamise käigus. Kui testimise käigus on seade piisavalt hästi toimima saanud, siis oleks tarvis järgmise sammuna kohandada seadme konstruktsiooni seeriatootmise jaoks ning teostada hinnakalkulatsioonid, et välja selgitada toote konkurentsivõimelisus turul.

SUMMARY

The aim of the master's thesis was to develop a prototype for a product that would give table tennis players the opportunity to train individually. Firstly, the table tennis training robots already on sale were examined and valid patents were taken into consideration. The background study identified important features for users and problems with existing products.

As a result of the background study, a product specification was prepared, which defined the most important requirements for the product being developed. Based on the product specification, the concepts of throwing and directing table tennis balls and also reloading the balls back into the device were generated in the form of block models. From them, the most suitable solutions were selected, on the basis of which it was possible to start designing the product prototype in more detail.

Subsequently, the selection of the actuators performing the functions and other important purchased components was performed together with the necessary calculations. After selecting the drives and purchased parts, 3D models of the ball recycling and ball throwing modules were created and integrated to make a whole.

As a result of the work, a 3D model of a table tennis training device prototype was made together with production drawings. The aim of the thesis to develop a table tennis training device prototype was fulfilled. The created device allows the player to practice hitting balls that land at different frequencies, speeds, spins and trajectories.

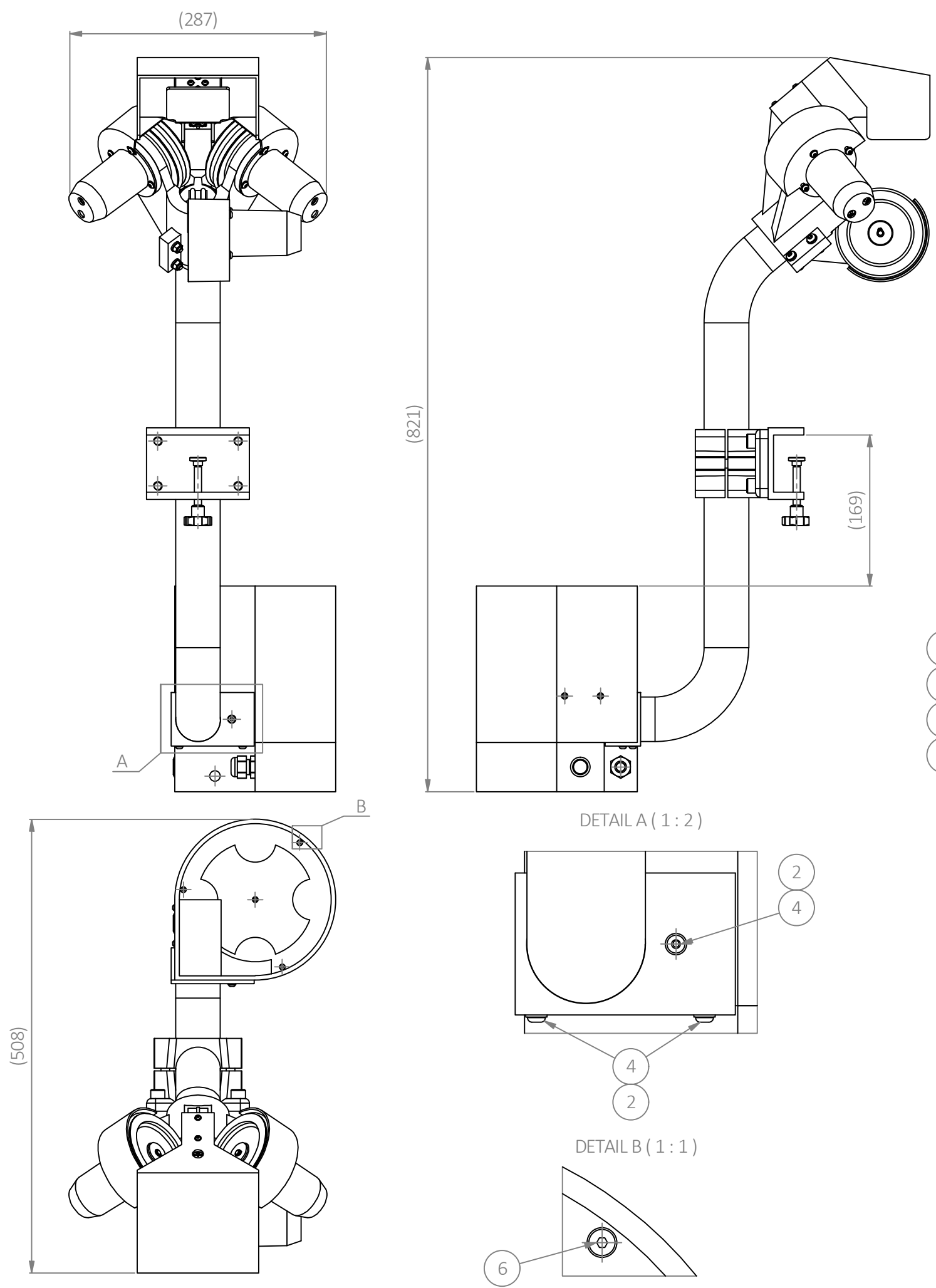
This thesis did not address the production of a physical prototype of the device. Thus, a number of important issues, such as software development and user interface creation, should be undertaken during prototype testing. Once the device has been tested to perform well enough, the next step would be to adapt the design of the device for series production and perform cost calculations to determine the competitiveness of the product.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

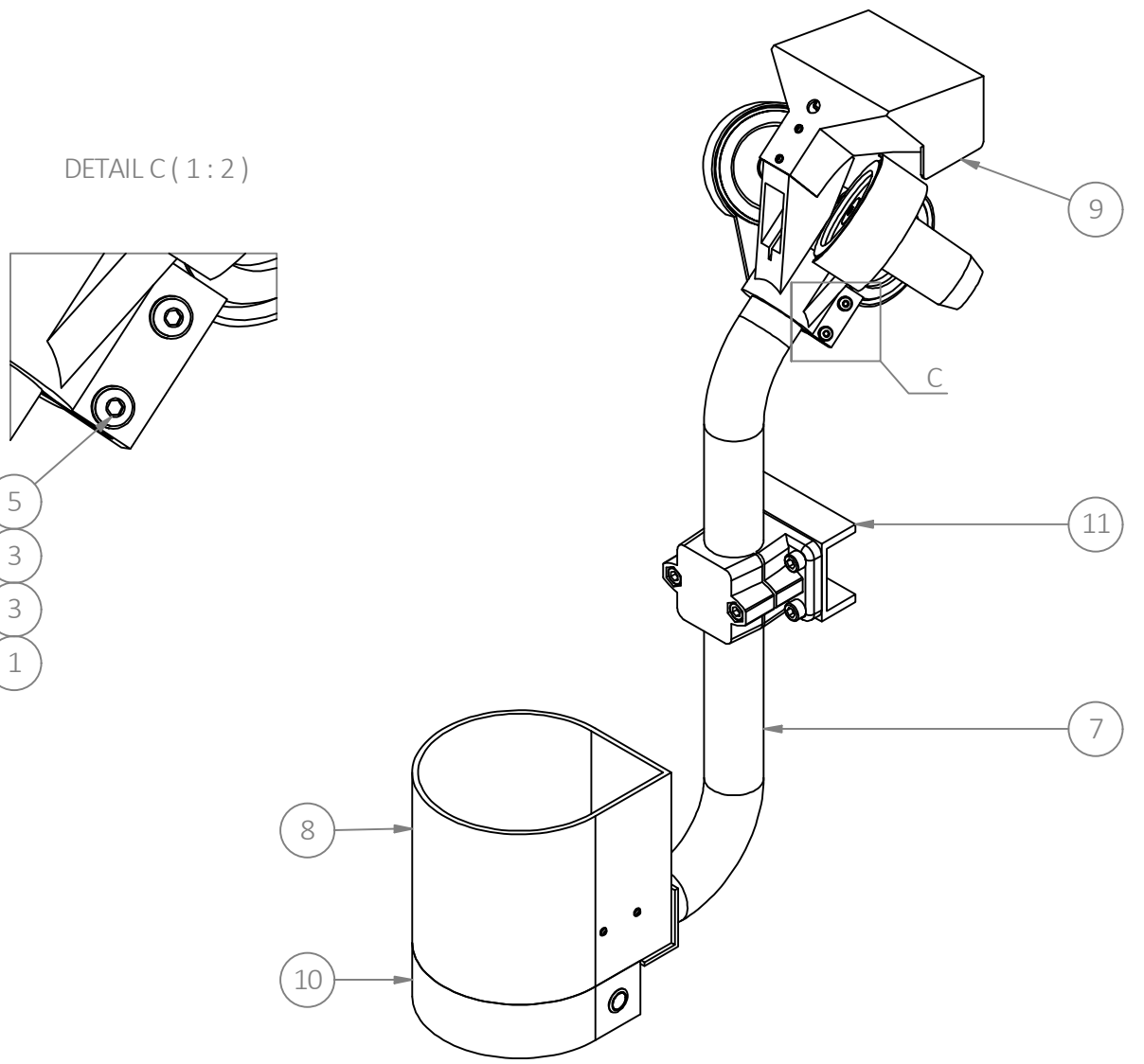
1. The International Table Tennis Federation Handbook 2020. [*Online*]
https://www.ittf.com/wp-content/uploads/2020/04/2020ITTFHandbook_v1.pdf
(04.11.2020)
2. PingPongBros. [*Online*]
<https://pingpongbros.com/blog/ping-pong-table-dimensions/> (04.11.2020)
3. Butterfly kodulehekülg. [*Online*]
<https://en.butterfly.tt/> (10.01.2021)
4. Butterfly Amicus Prime Amazoni tooteleht. [*Online*]
<https://www.amazon.com/Butterfly-Android-Available-Multiple-Placements/dp/B07FGK5LRP> (14.02.2021)
5. Butterfly Practice Partner 20 Amazoni tooteleht. [*Online*]
https://www.amazon.com/Practice-Partner-Topspin-Backspin-Sidespin/dp/B07CQ73KKH/ref=sr_1_3?dchild=1&keywords=butterfly+practice+partner&qid=1614070311&sr=8-3 (23.02.2021)
6. IPong Trainer Motion. [*Online*]
<https://www.megaspin.net/store/default.asp?pid=ipong-trainer-motion>
(01.03.2021)
7. Oukei TW-2700-E1A. [*Online*]
<https://oukeiusa.com/shop/product/e1a/> (20.03.2021)
8. Paddle Palace Robot S4W Pro. [*Online*]
<https://www.megaspin.net/store/default.asp?pid=pp-s4w-pro> (21.03.2021)
9. Omron FORPHEUS. [*Online*]
https://www.omron.com/global/en/technology/information/forpheus/forpheus_about.html (21.03.2021)
10. Table tennis robot and method of operation. [*Online*]
<https://patentimages.storage.googleapis.com/56/48/3d/8cadb20b153c70/EP2493583B1.pdf> (03.04.2021)
11. Table tennis robot with improved serving head movement. [*Online*]
<https://patentimages.storage.googleapis.com/15/3e/52/a1ecffe65eb77c/EP3113853B1.pdf> (05.04.2021)
12. IPONG Catch Net. [*Online*]
<https://www.megaspin.net/store/default.asp?pid=ipong-catch-net> (27.04.2021)
13. Liveabout. [*Online*]
<https://www.liveabout.com/ping-pong-ball-maximum-speed-3974874#:~:text=Given%20that%20the%20world's%20fastest,players%20stand%20so%20far%20back.> (16.05.2021)

14. RS-775 Motor 7000rpm 12V 10oz-in. [*Online*]
<https://www.robotshop.com/eu/en/rs-775-motor-7000rpm-12v-10oz-in.html#product-reviews> (10.05.2021)
15. Lynxmotion Pan and Tilt Kit / Aluminium. [*Online*]
<https://www.robotshop.com/eu/en/lynxmotion-pan-and-tilt-kit-aluminium2.html> (17.05.2021)
16. Hitec HS-422 Servo Motor. [*Online*]
<https://www.robotshop.com/eu/en/hitec-hs-422-servo-motor.html> (18.05.2021)
17. Iglidur H1, sleeve bearing with flange, mm. [*Online*]
<https://www.igus.ee/product/97?artNr=H1FM-0608-04> (18.05.2021)
18. Ensart 302. [*Online*]
<https://www.bossard.com/eshop/global-en/threaded-inserts-selfcutting/ensart-302/p/902/?variants-query=%3Arelevance%3AF527C156-7E58-11D4-97D3-0000E8601B71%3AM4> (18.05.2021)
19. 12V 18RPM Reversible High torque Worm Gear DC Motor. [*Online*]
<https://www.robotshop.com/eu/en/12v-18rpm-reversible-high-torque-worm-gear-dc-motor.html> (19.05.2021)
20. Arduino Uno Rev3. [*Online*]
<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> (19.05.2021)
21. Mootori draiver L298N. [*Online*]
<https://robolabor.ee/et/mootorite-juhtmoodulid/265-mootori-draiver-l298n.html> (19.05.2021)
22. AZDelivery HC-05 HC-06 Bluetooth wireless RF module parent. [*Online*]
https://www.amazon.de/dp/B0722MD4FY/ref=as_li_ss_tl?&linkCode=sl1&tag=howtomde-21&linkId=ab30b2ccc04f79dc6629fe634beb8d97&language=en_GB (19.05.2021)
23. Keenso 19 mm 12 V Car Power Pressure Switch. [*Online*]
<https://amzn.to/3wmXtn7> (20.05.2021)
24. Toiteplokk 12 V 6 A. [*Online*]
<https://robolabor.ee/et/toide/996-toiteplokk-12v-6a.html> (20.05.2021)
25. Elesa-Ganter GN 147. [*Online*]
<https://www.elesa-ganter.com/en/www/products/tube-clamp-connectors--1/Tube-Clamp-Connectors--Flanged-connector-clamps--GN147#sortby=0&facetvalue=> (21.05.2021)
26. Elesa-Ganter VC.692-SST-p-SV. [*Online*]
<https://www.elesa-ganter.com/en/www/products/clamping-knobs--1/star-and-lobe-knobs--1/Clamping-knobs--Lobe-knobs-with-locking-thrust-pad--VC692-SST-p-SV#sortby=0&facetvalue=> (21.05.2021)

LISAD



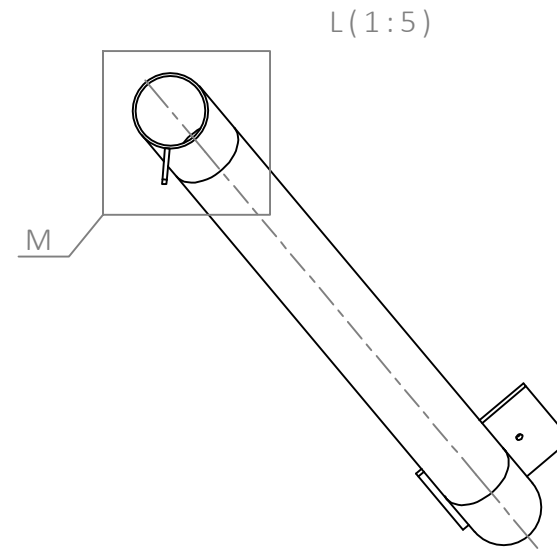
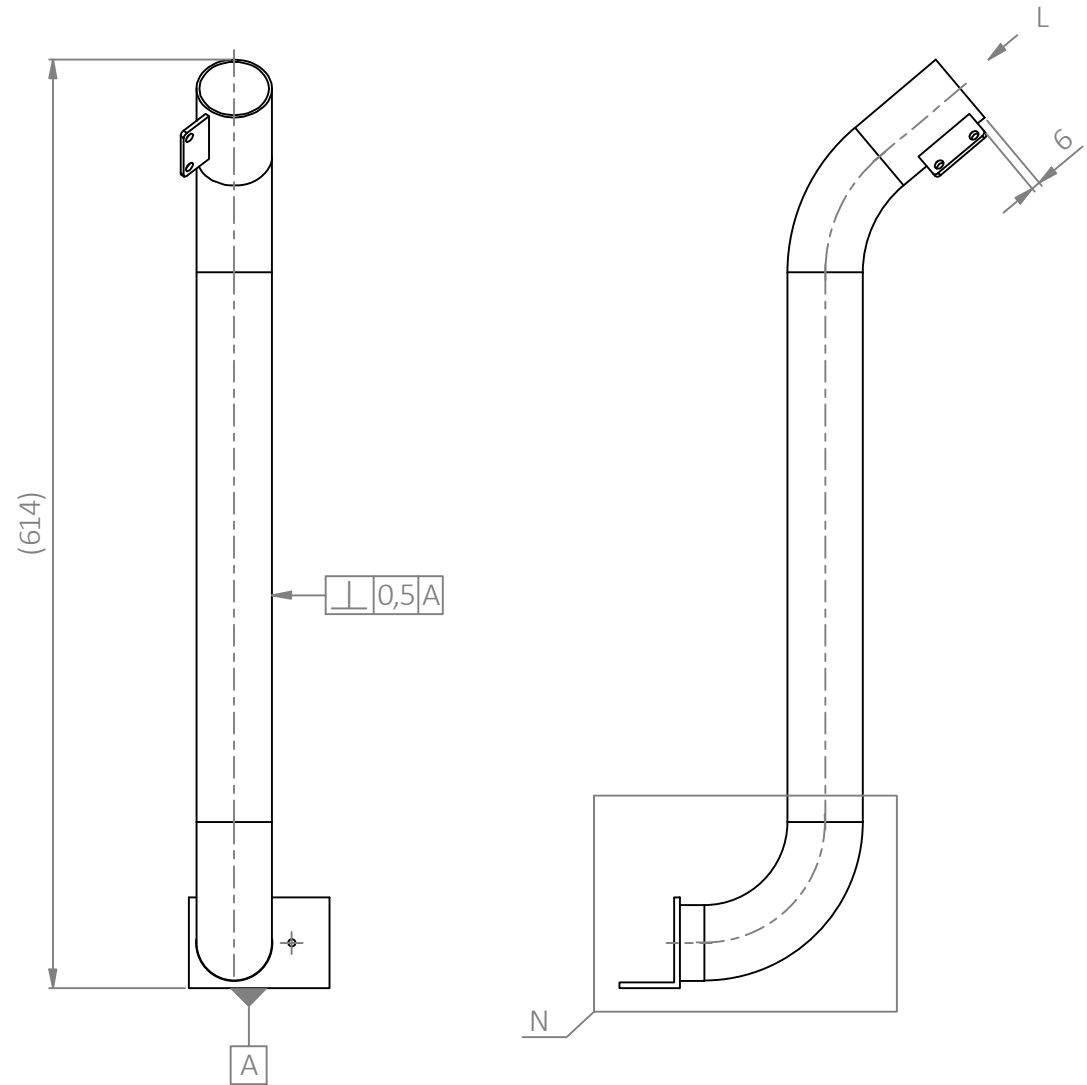
Pos.	Tähis	Nimetus	Mass, kg	Hulk
1	ISO 4032 - M6	Mutter	0,0	2
2	ISO 7089 - 4	Seib	0,0	3
3	ISO 7089 - 6	Seib	0,0	4
4	ISO 7380-1 - M4 x 12	Ümarpea sisekuuskantpolt	0,0	3
5	ISO 7380-1 - M6 x 25	Ümarpea sisekuuskantpolt	0,0	2
6	ISO 10642 - M3 x 10	Peitepeaga sisekuuskantpolt	0,0	3
7	KK.01.01.00	Juhttee keeviskoost	0,6	1
8	KK.01.02.00	Pallide kogumiskoost	1,1	1
9	KK.01.03.00	Söötepea koost	2,9	1
10	KK.01.04.00	Elektronikakomponentide koost	0,2	1
11	KK.01.05.00	Seadme kinnitusdetailide koost	1,1	1



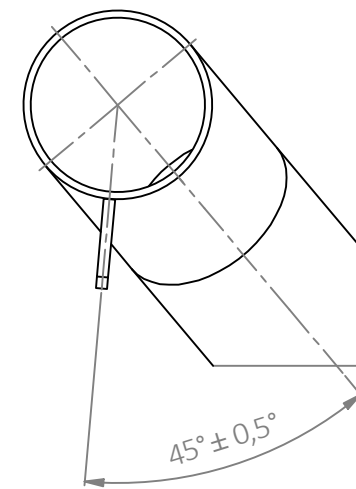
- Seadme kinnitusdetailide koostu fikseerimise kõrgused määrata prototüübi testimise käigus.
- Palli heiterullikute omavaheline kaugus määrata prototüübi testimise käigus.

	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
		ISO 2768-mK	5.9 kg	1 : 5
Teostas:	Kristjan Kuningas	Nimetus:		
Kontrollis:		Lauatennise treeningseade		
Kinnitas:				
TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Leht:	Formaat:	Tähis:
		1 / 1	A3	KK.01.00

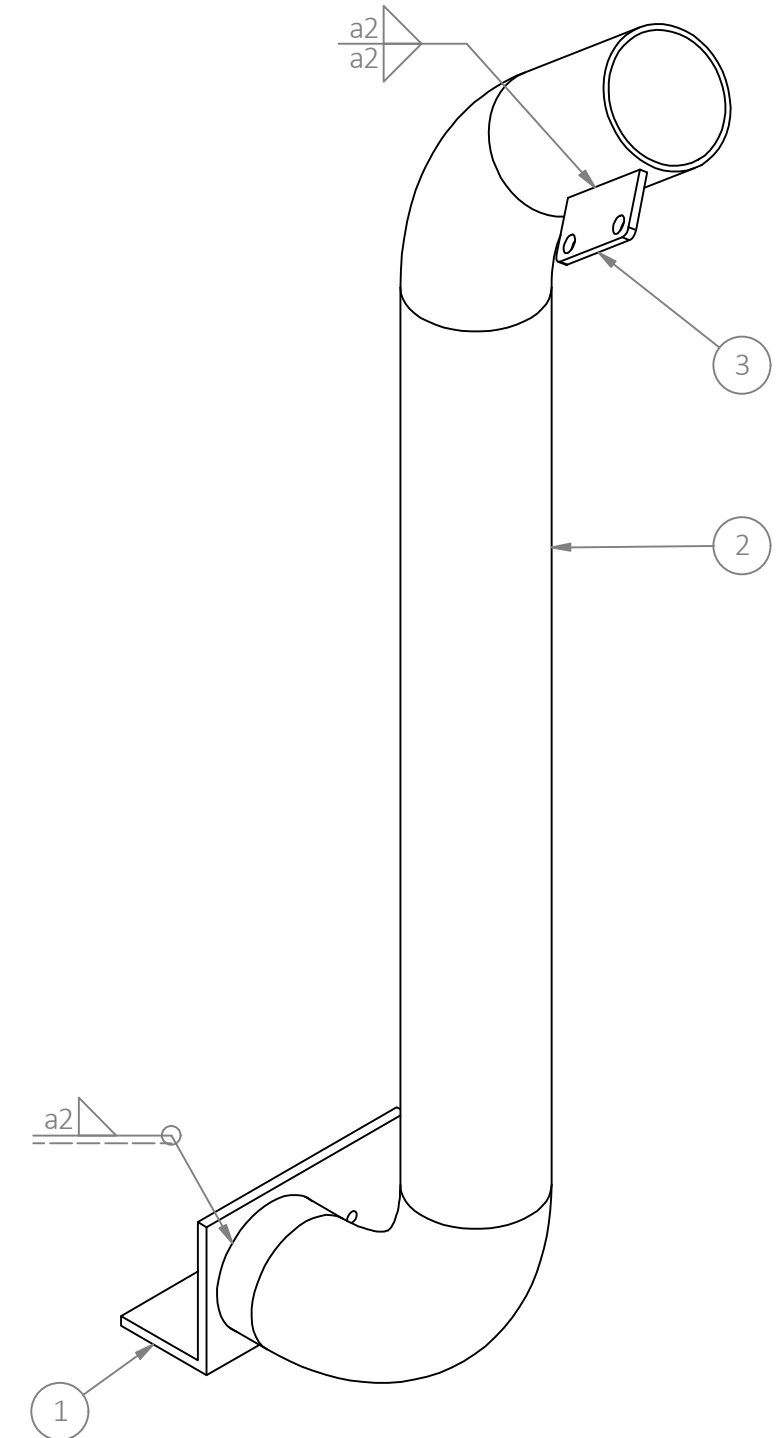
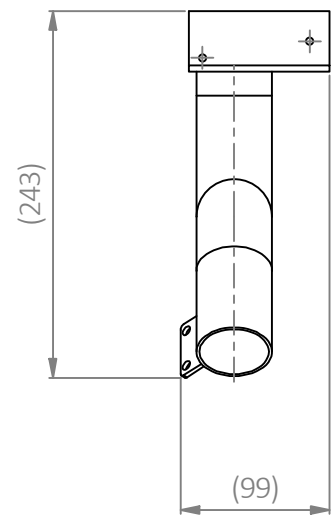
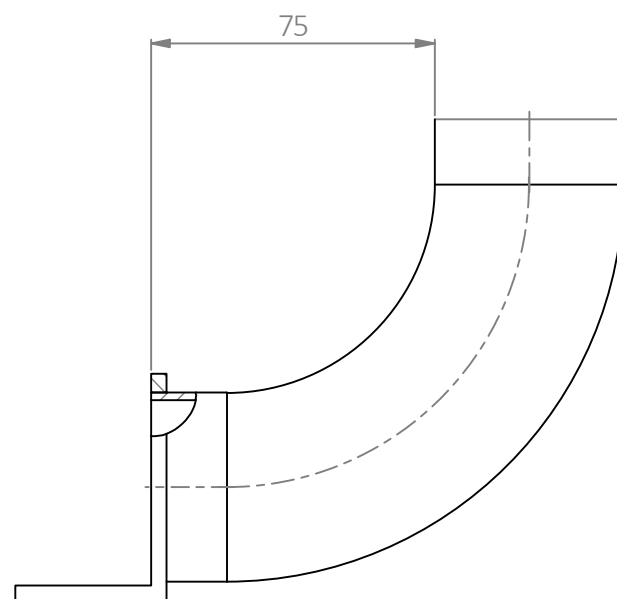
Pos.	Tähis	Nimetus	Mass, kg	Hulk
1	KK.01.01.01	Nurkprofiil 60x40x4	0,1	1
2	KK.01.01.02	Painutatud ümartoru; $\varnothing 50 \times 2$	0,5	1
3	KK.01.01.03	Lehtdetail; s=3	0,0	1



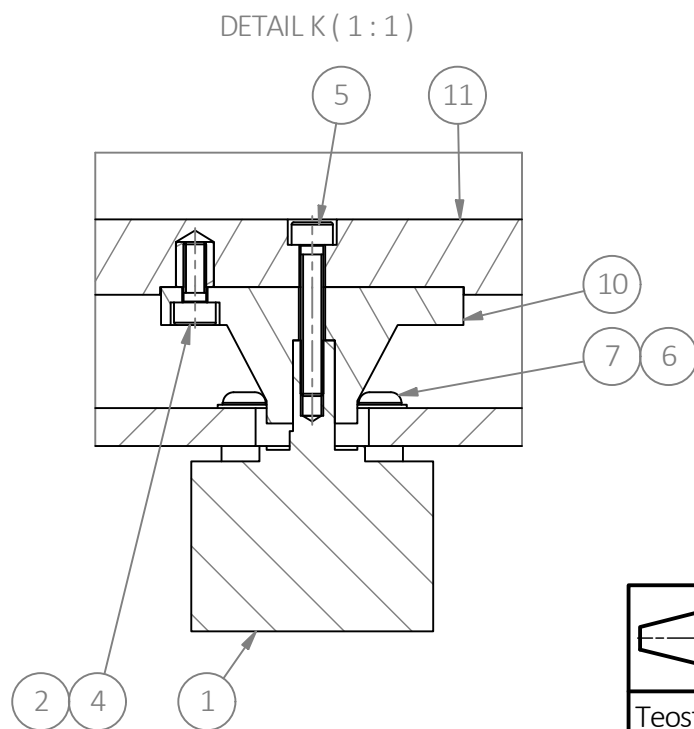
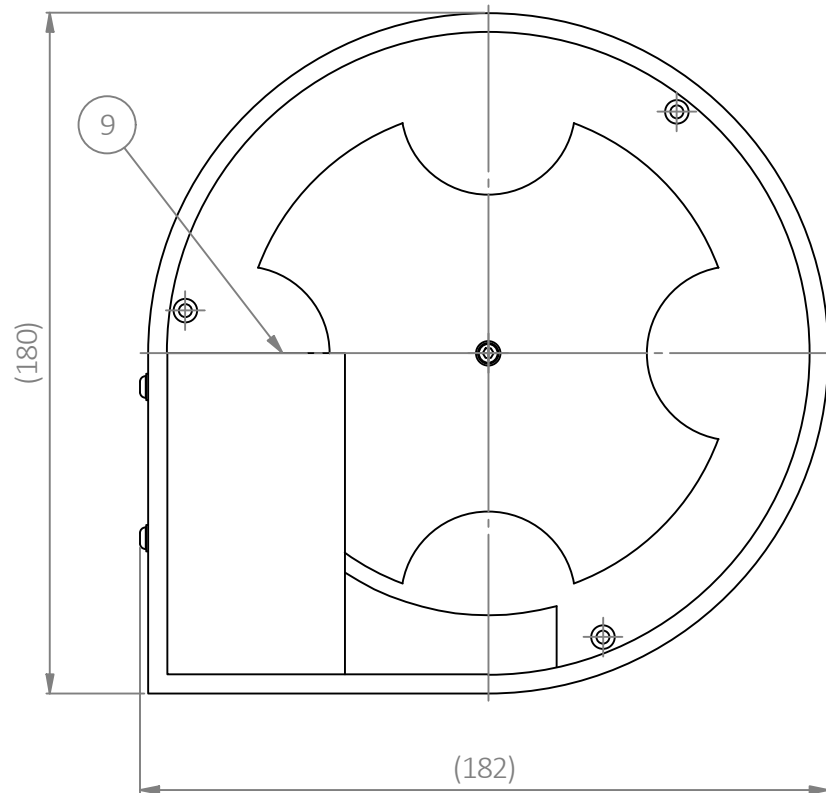
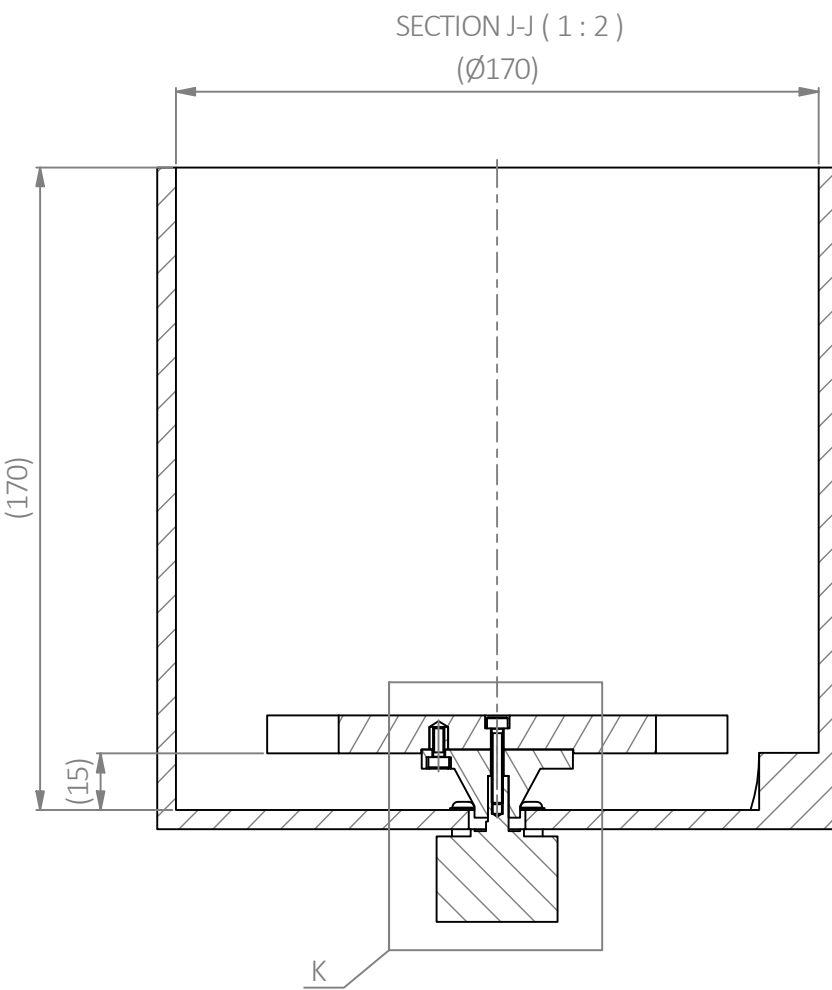
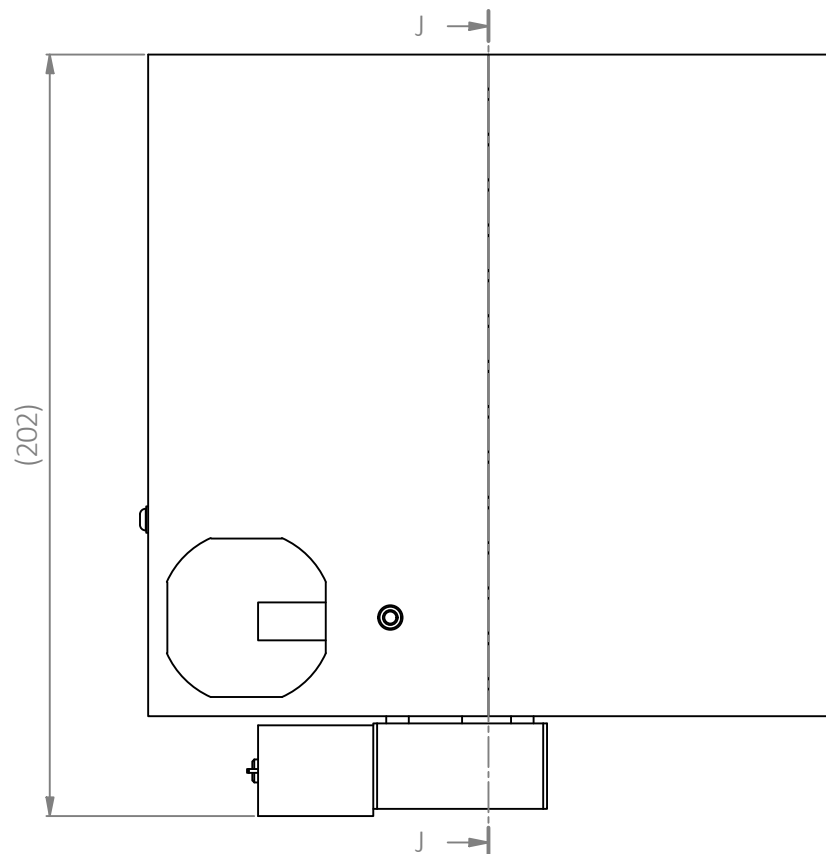
DETAIL M (1:2)



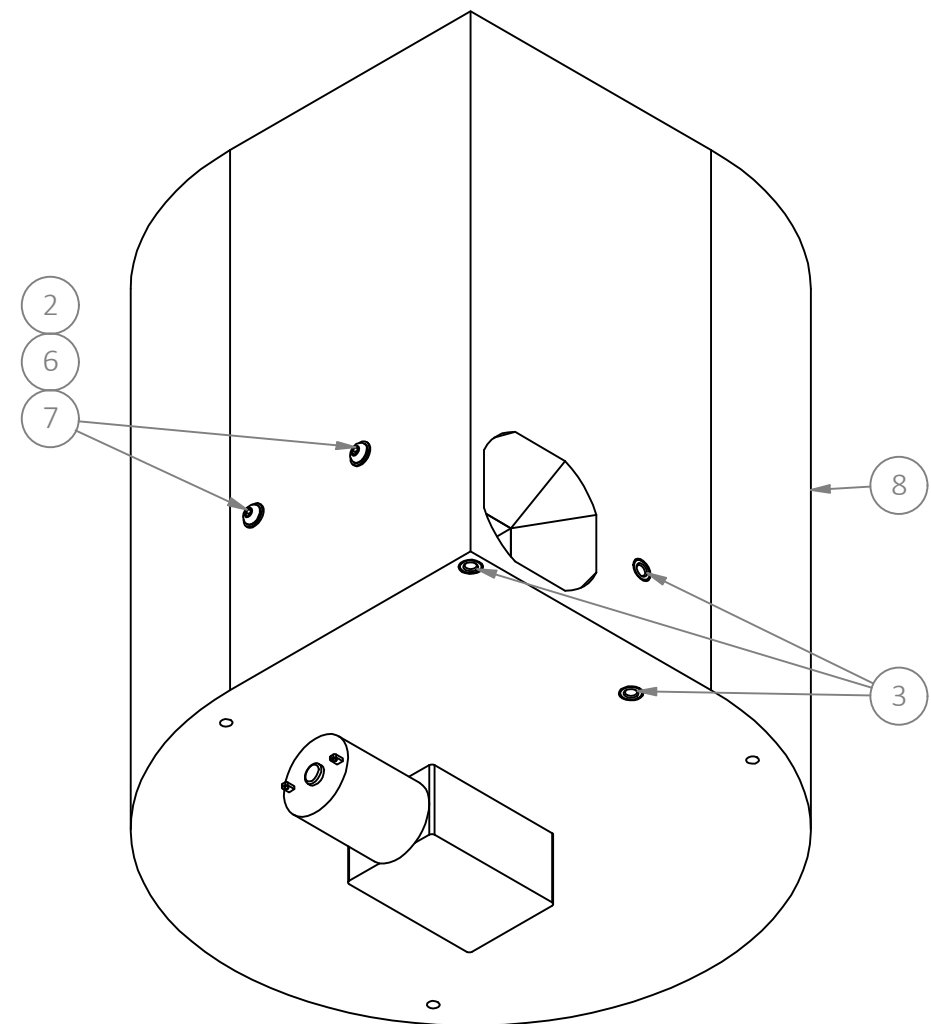
DETAIL N (1:2)



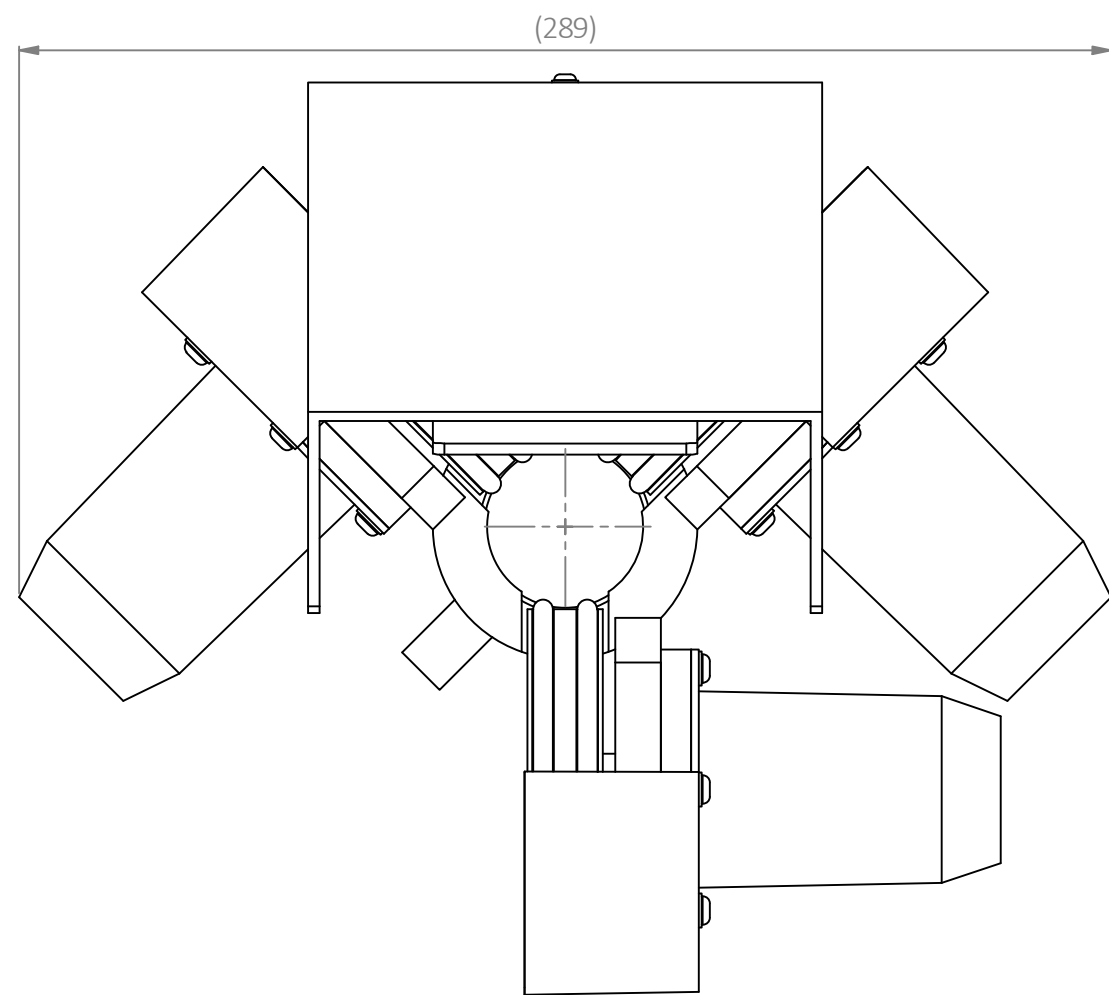
	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mööd:
		ISO 2768-mK	0.6 kg	1 : 5
Teostas:	Kristjan Kuningas	Nimetus:	Juhttee keeviskoost	
Kontrollis:				
Kinnitas:				
TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Leht:	Formaat:	Tähis:
		1 / 1	A3	KK.01.01.00



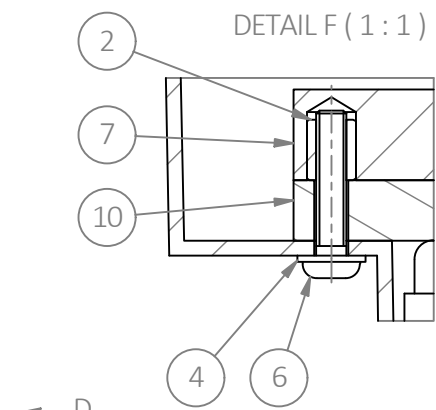
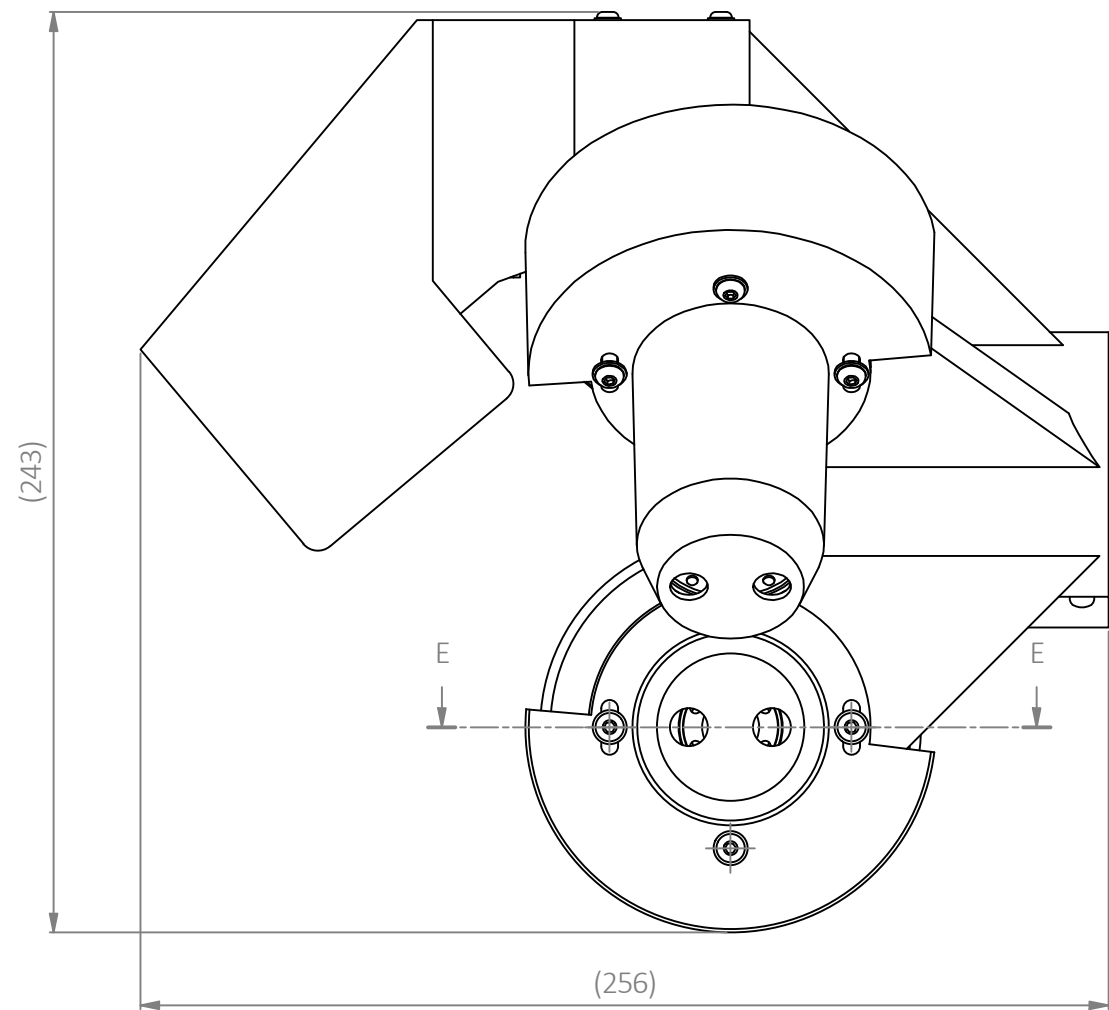
Pos.	Tähis	Nimetus	Mass, kg	Hulk
1	4632WG-370CA-340 (Robotshop)	Mootorreduktor	0,1	1
2	BN 902 1088122 (Bossard)	Iselõikuv keermeatud muhv M3x6	0,0	5
3	BN 902 1088394 (Bossard)	Iselõikuv keermeatud muhv M4x8	0,0	3
4	ISO 4762 - M3 x 8	Sisekuuskantpolt	0,0	3
5	ISO 4762 - M3 x 20	Sisekuuskantpolt	0,0	1
6	ISO 7089 - 3	Seib	0,0	6
7	ISO 7380-1 - M3 x 10	Ümarpeaga sisekuuskantpolt	0,0	6
8	KK.01.02.01	3D prinditud detail	0,8	1
9	KK.01.02.02	3D prinditud detail	0,0	1
10	KK.01.02.03	Võlli adapter	0,0	1
11	KK.01.02.04	Pallide seadmesse laadimise ketas	0,1	1



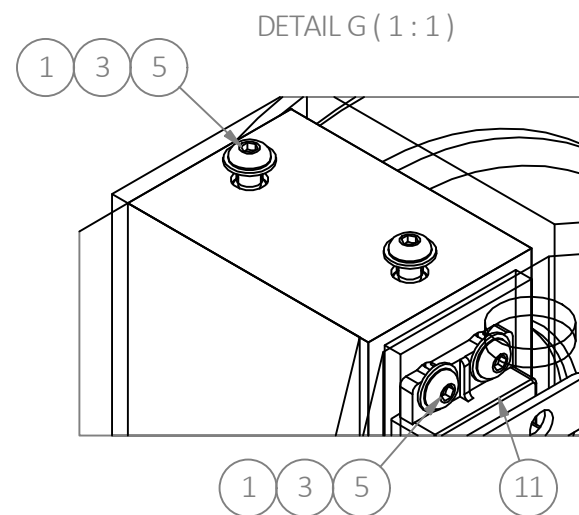
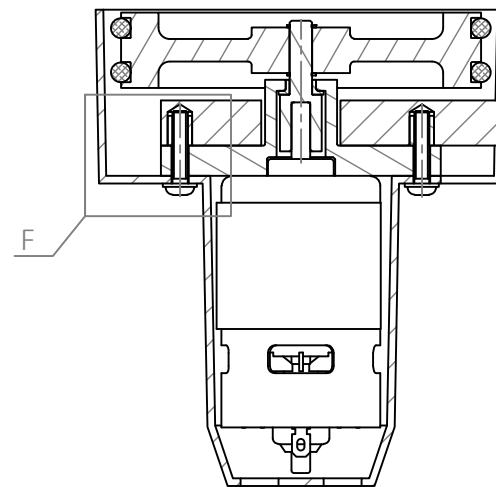
	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
		ISO 2768-mK	1.1 kg	1 : 2
Teostas:	Kristjan Kuningas	Nimetus:	Pallide kogumiskoost	
Kontrollis:				
Kinnitas:				
TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Leht:	Formaat:	Tähis:
		1 / 1	A3	KK.01.02.00



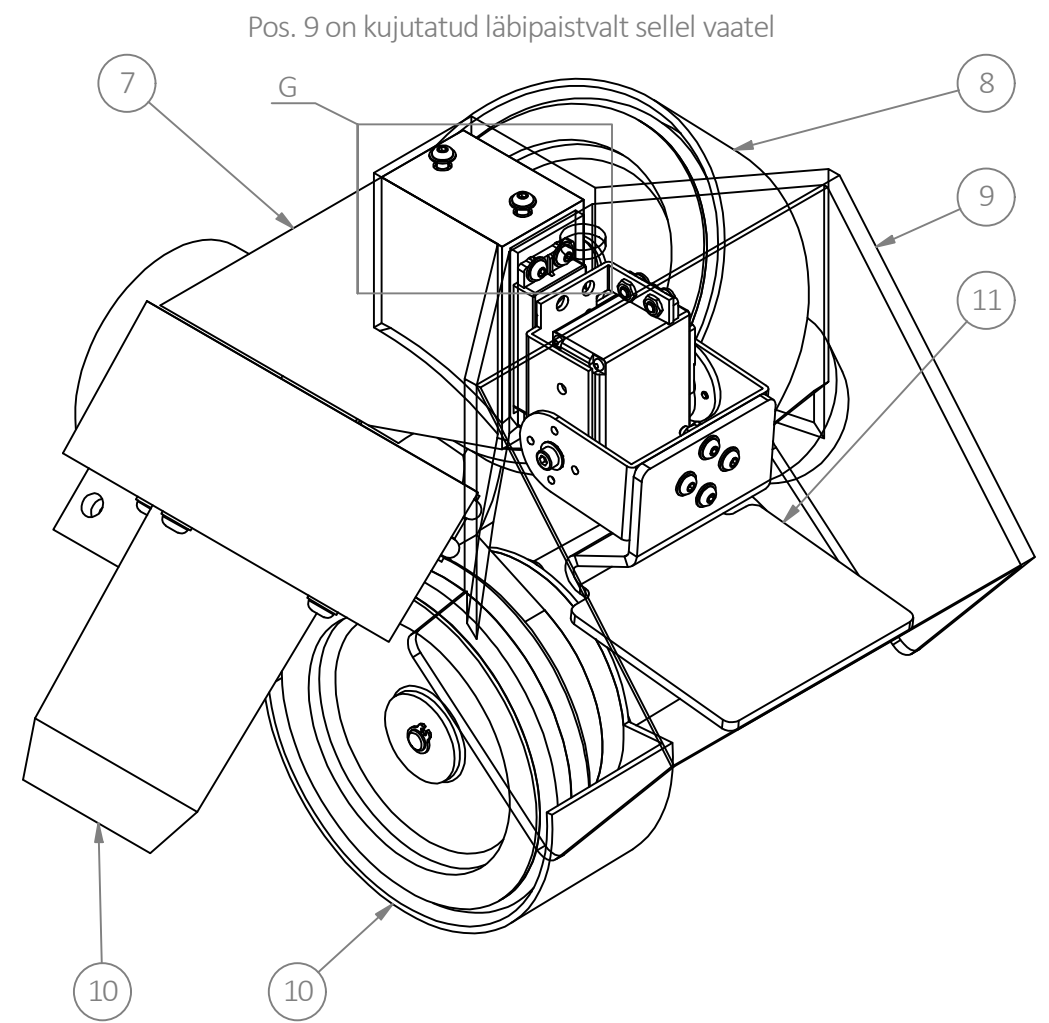
D (1:2)



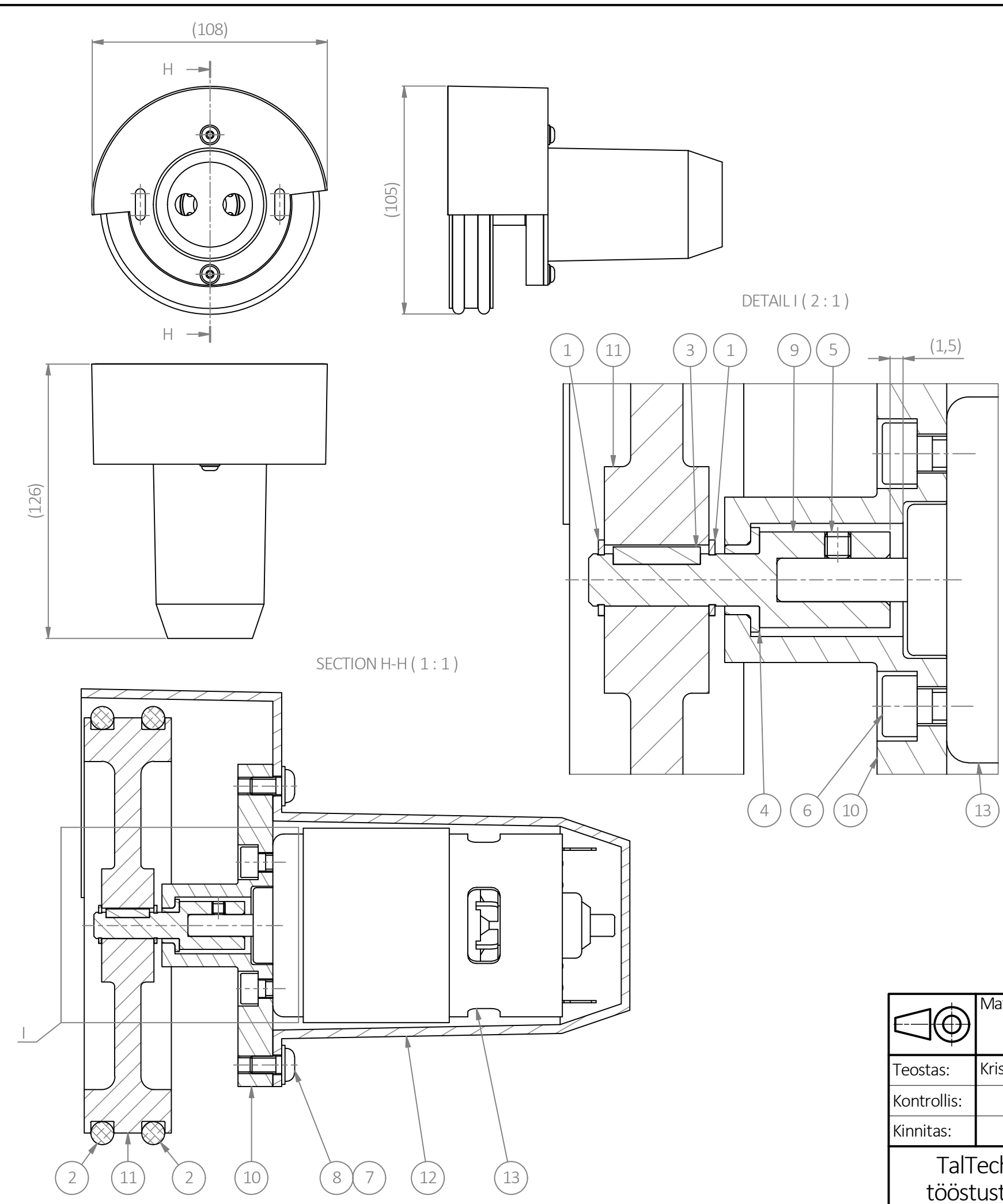
SECTION E-E (1:2)



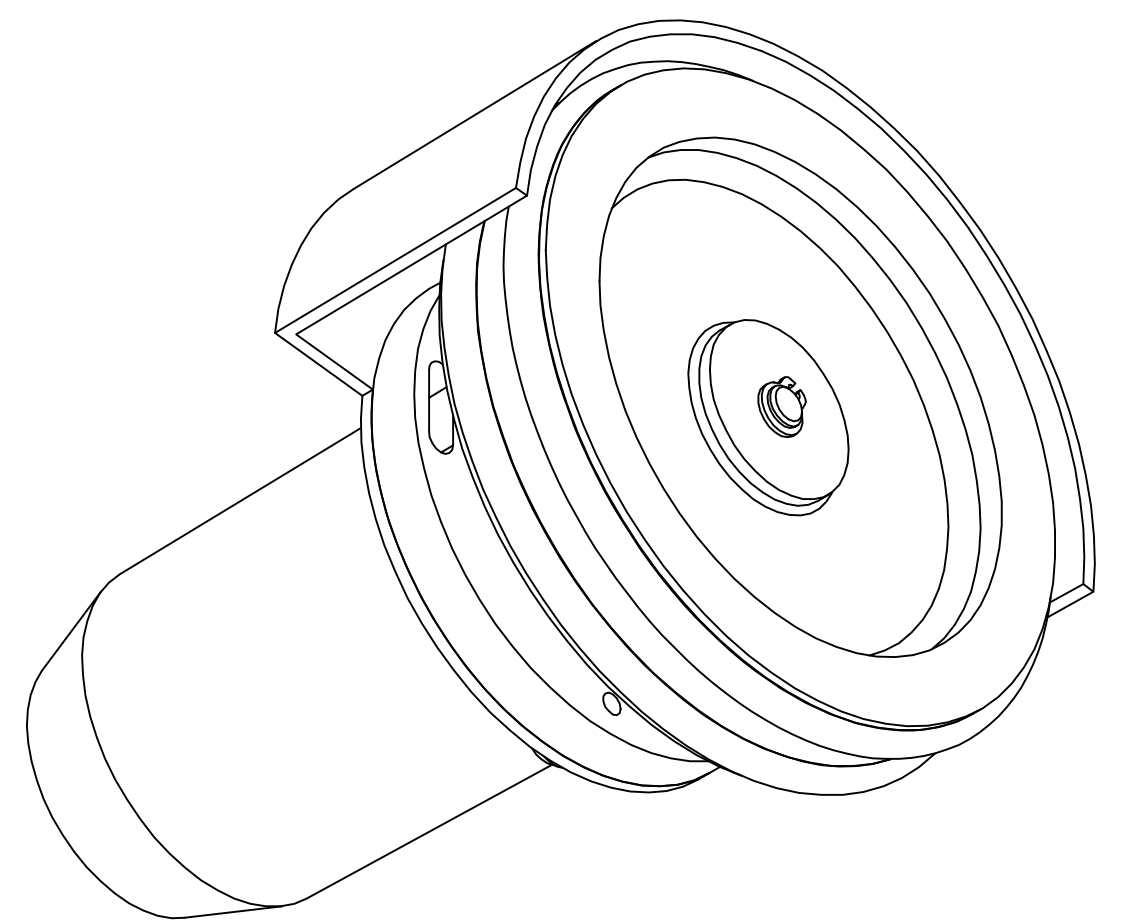
Pos.	Tähis	Nimetus	Mass, kg	Hulk
1	BN 902 1088122 (Bossard)	Iselõikuv keerrestatud muhv M3x6	0,0	6
2	BN 902 1088394 (Bossard)	Iselõikuv keerrestatud muhv M4x8	0,0	6
3	ISO 7089 - 3	Seib	0,0	6
4	ISO 7089 - 4	Seib	0,0	6
5	ISO 7380-1 - M3 x 10	Ümarpeaga sisekuuskantpolt	0,0	6
6	ISO 7380-1 - M4 x 20	Ümarpeaga sisekuuskantpolt	0,0	6
7	KK.01.03.01	3D printitud detail	0,6	1
8	KK.01.03.01.00	Rullikukoost	0,6	1
9	KK.01.03.02	3D printitud detail	0,2	1
10	KK.01.03.02.00	Rullikukoost	0,6	2
11	KK.01.03.03.00	Suundamisplaadi koost	0,3	1



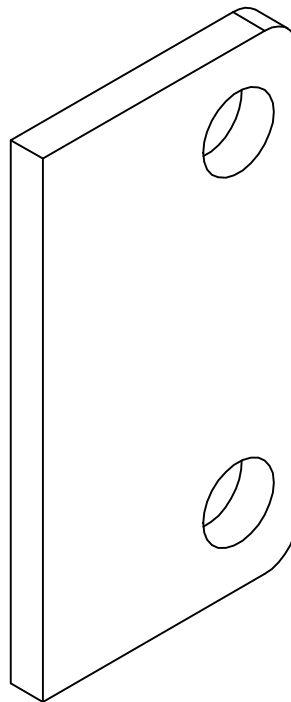
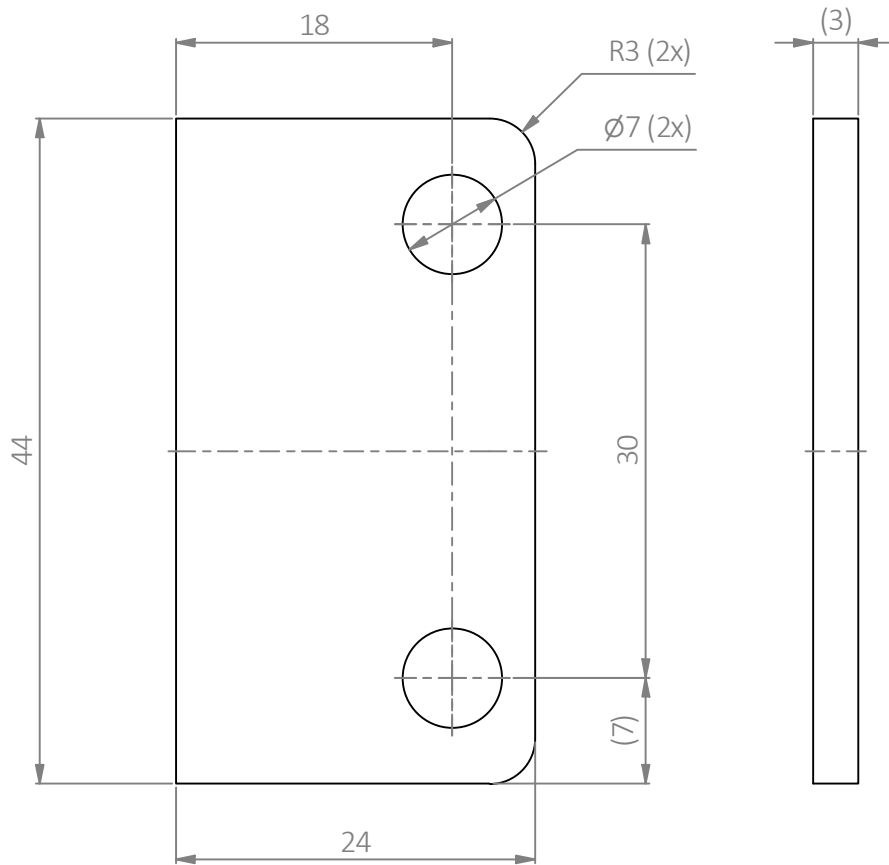
	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
		ISO 2768-mK	2.9 kg	1 : 2
Teostas:	Kristjan Kuningas	Nimetus:	Söötepea koost	
Kontrollis:				
Kinnitas:				
TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Leht:	Formaat:	Tähis:
		1 / 1	A3	KK.01.03.00




Pos.	Tähis	Nimetus	Mass, kg	Hulk
1	DIN 471 - Ø6x0.7	Lukustusrõngas	0,0	2
2	DIN 3771 - Ø90X5,3	Rõngastihend	0,0	2
3	DIN 6885 - A - 2x2; L=10	Prismaliist	0,0	1
4	H1FM-0608-04 (lgus)	Liugelaager	0,0	1
5	ISO 4026 - M3 x 3	Seadekruvi	0,0	2
6	ISO 4762 - M4 x 6	Sisekuuskantpolt	0,0	2
7	ISO 7089 - 4	Seib	0,0	2
8	ISO 7380-1 - M4 x 8	Ümarpeaga sisekuuskantpolt	0,0	2
9	KK.01.03.01.01	Võll	0,0	1
10	KK.01.03.01.02	Laagrikorpus	0,1	1
11	KK.01.03.01.03	Rullik	0,1	1
12	KK.01.03.01.04	3D prinditud detail	0,1	1
13	RS-775 (Robotshop)	Mootor	0,4	1

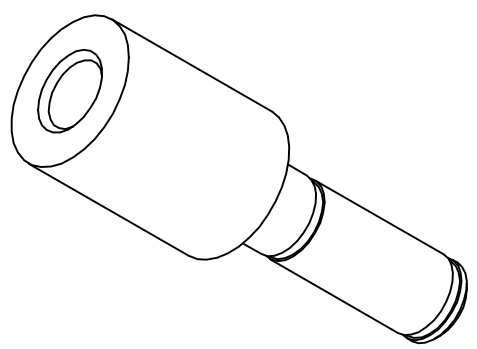
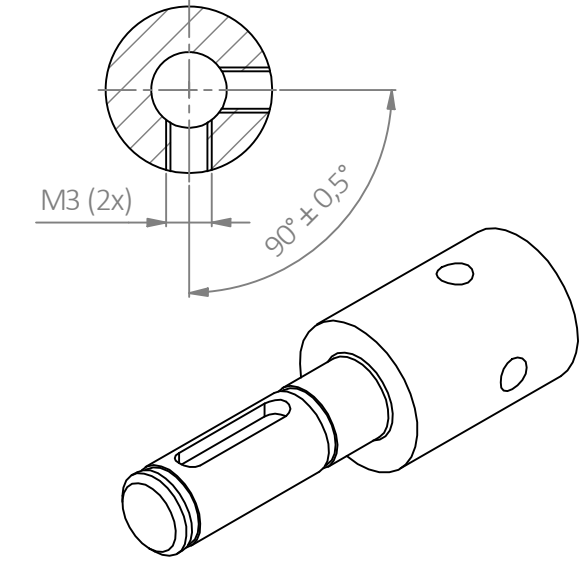
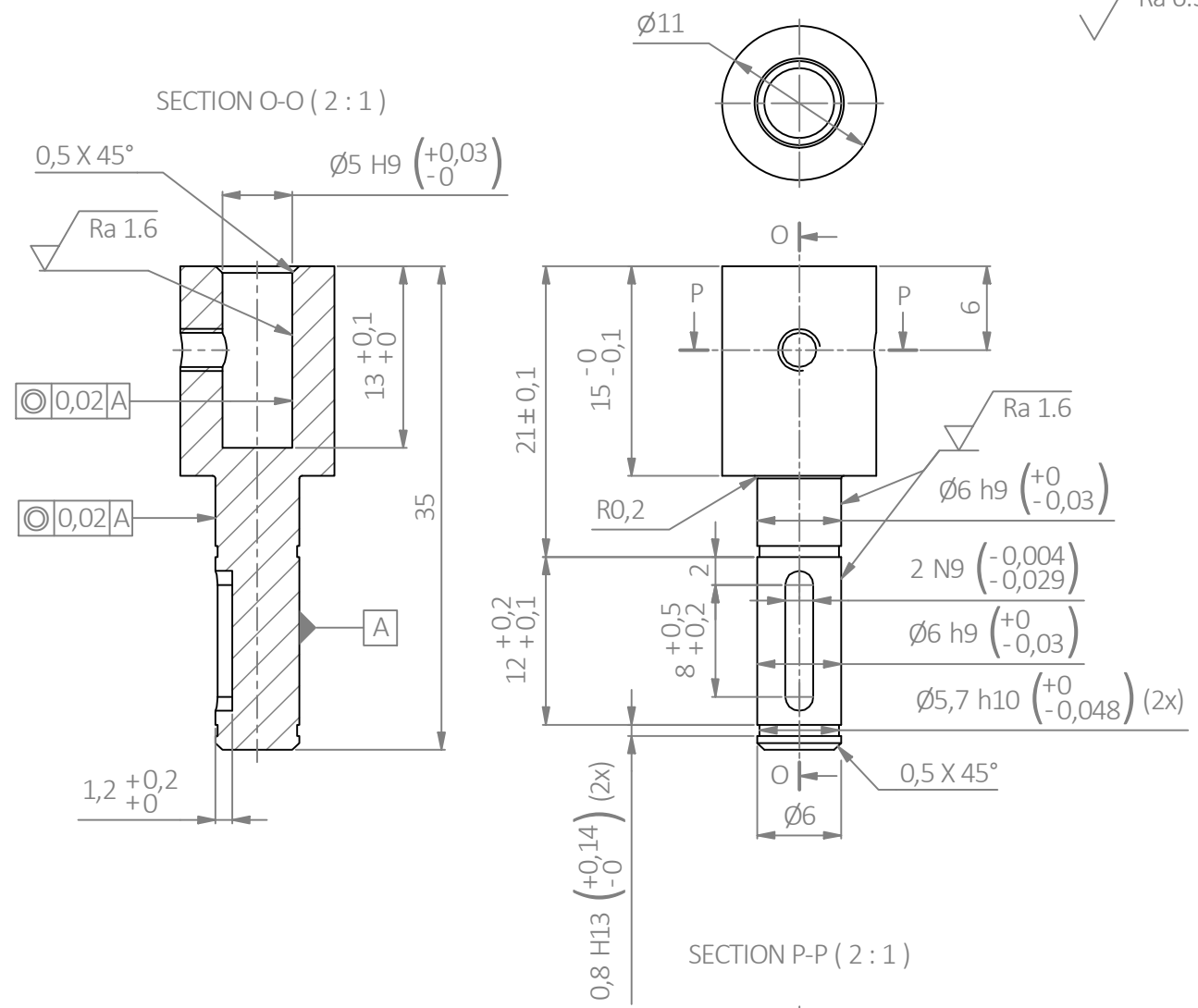


	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
		ISO 2768-mK	0.6 kg	1 : 2
Teostas:	Kristjan Kuningas	Nimetus:	Rullikukoost	
Kontrollis:				
Kinnitas:				
TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Leht:	Formaat:	Tähis:
		1 / 1	A3	KK.01.03.01.00



	Materjal: Alumiinium 5754		Märkimata piirhälbed: ISO 2768-mK		Mass: 0.0 kg	Mõõt: 2 : 1
	Teostas: Kristjan Kuningas	Nimetus: Lehtdetail; s=3				
Kontrollis:						
Kinnitas:						
TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Leht: 1 / 1	Formaat: A4	Tähis: KK.01.01.03		

✓ Ra 6.3



	Materjal: Alumiinium 6082		Märkimata piirhälbed: ISO 2768-mK		Mass: 0.0 kg	Mõõt: 2 : 1
	Teostas: Kristjan Kuningas	Nimetus: Võll				
Kontrollis: 						
Kinnitas: 						
TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituut		Leht: 1 / 1	Formaat: A4	Tähis: KK.01.03.01.01		