



Ruudi Rang

HARJADETA ALALISVOOLUMOOTORITE RAKENDAMINE PAKIROBOTIS

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Masinaehituse eriala

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina Ruudi Rang tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teoste on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Tavo Kangru

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Ruudi Rang sünnikuupäev: 03.09.1999 annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Harjadeta alalisvoolumootorite rakendamine pakirobotis

1. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
2. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas, kuupäev digiallkirjas.

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. ETTEVÕTTE JA TOOTE TUTVUSTUS	6
1.1 Ettevõtte ajalugu.....	6
1.2 Cleveron 405	7
1.2.1 Cleveron 405 tööpõhimõte.....	8
2. AJAMITE VALIK.....	9
2.1 Kasutuses olevad ajamid	11
2.2 Ajamite parameetrid.....	12
2.3 Turu-uuring	13
2.4 Ajamite võrdlus	14
2.5 Ajamite valik.....	15
3. KONSTRUKTSIOON.....	16
3.1 Ajamite kinnitused	17
3.2 Tugevusarvutused.....	20
4. JUHTSÜSTEEMI JA KOMPONENTIDE ANALÜÜS.....	24
4.1 Kontrolleri korpus	25
4.2 Kontrollrite asukoht pakirobotis	27
5. MAJANDUSLIK OSA.....	28
5.1 Olemasoleva ajami hinnastus	29
5.2 Uute ajamite hinnastus ja analüüs	30
5.3 Uue lahenduse arendus.....	31
KOKKUVÕTE	32
SUMMARY	33
VIIDATUD ALLIKAD	34

6.	LISAD	35
6.1	Tabelid.....	35
6.2	Pildid	40
6.3	Kontrolleri korpuse joonis.....	43
6.4	Ajami kinnituste koostejoonised	44
6.5	Ajami kinnituste detailjoonised.....	46
6.6	Tootekaardid.....	49

SISSEJUHATUS

Lõputöö on valminud koostöös Cleveron AS-iga. Cleveron on tarkvara- ja tehnoloogiaettevõte, mis toodab pakiautomaate ja pakiroboteid, mis kiirendavad kliendi paki kättesaamise aega ja see läbi kingib inimestele aega. Ettevõte asub Viljandis.

Töös käsitletav pakirobot on Cleveroni kõige ruumisäästlikum pakirobot Cleveron 405. Robot kasutab viite servoajamit, millest kolm on laaduris, üks liftis ja üks ukse. Kõiki ajameid toodab Delta – servomootorite ja kontrollrite tootja. Nende mootorite probleem on peamiselt hind. Lisaks hinnaprobleemile puuduvad mootoritel reduktorid.

Lõputöö eesmärk on viia läbi pakirobotis olevatele servoajamite asendus, et optimeerida toote hinda, tõsta töökindlust ja lihtsustada koostamist. Praegu kasutusel olevad ajamid koosnevad mitmest eraldi tarnitavast koostust ning esmane analüüs lubab oletada liiga kõrget ajami tervikkoostu maksumust. Eesmärk on ajamite maksumust alandada 40%.

Pakirobotisse õige ajami leidmiseks, tuleb esialgu kaardistada, millised ajamid on hetkel robotis ning viia läbi turu-uuring alternatiivide leidmiseks. Uuringu käigus on vaja leida tootjad ja võrrelda nende mootoreid ning sel viisil leida parim lahendus. Ajameid, mida robotis kasutada, tuleb leida kaks, et probleemide ilmnemisel oleks olemas alternatiiv.

1. ETTEVÕTTE JA TOOTE TUTVUSTUS

1.1 Ettevõtte ajalugu

Cleveron on 2007. aastal asutatud Eesti tarkvara- ja tehnoloogiaettevõtte, mis toodab robotiseeritud pakiautomaate ning loob *click and collect*-lahendusi jae- ja logistikasektorile. Ettevõtte peakontor asub Viljandis.

Cleveroni lugu sai alguse mööbli tootmise ja müügiga aastal 1993, millest tehti aastal 2000 veebipood ON24. Äriidee seisnes selles, et klient saab mööbli välja valida internetis ning kui toode on valitud, saab kuller talle mööblieseme tuua koju kätte ilma, et klient kuskile minema peaks. Idee saadi messilt, kus klient ostis endale mööblieseme digikaamera kaudu. 2009. aastaks oli ON24 kasvanud suurimaks mööbliettevõtteks, mis tegutseb ka tänaseni. Ettevõtte algusaastatel oli neil palju probleeme logistikaga ning oli keeruline leida partnereid, kes oleksid usaldusväärsed ja piisavalt kvaliteetsed, et nende tooteid tarnida. Selle mure tõttu loodi ettevõttesse logistikaosakond, mis kasvas aastatega SmartPOST-iks. Pärast uue logistikaettevõtte loomist rajati ka Cleveron, mille eesmärk oli riist- ja tarkvara arendamine, müümine ja SmartPOST-ile võrgustiku loomine. Mõne aasta vältel sai ettevõtte Eesti aasta logistikateoks ning võrgustik müüdi Soome ettevõttele Itella. Kuna koos võrgustikuga müüdi ka nimi, jäi kasutusele nimi Cleveron ja keskenduti pakiautomaatide tehnoloogia arendamisele, mis muudaks Cleveroni toodete kasutamise kaudu lõppkliendi elu lihtsamaks ja mugavamaks. [1]

Esimest pakirobotit, Cleveron 401, mis pidi olema ruumisäästlikum kui tavaline pakiautomaat, esitleti aastal 2011. Toode on mõeldud nii väli- kui ka sisetingimustesse ja on ligikaudu viis meetrit pikk. Toote eelis on ka see, et pärast koodi sisestamist või triipkoodi skaneerimist toob pakirobot kliendile paki umbes kahekümne sekundiga. [1]

Esimest robotkulleri prototüüpi esitles Cleveron aastal 2018 Robotexil ja esimesed robotkullerid jõudsid tänavatele testsõite tegema aastal 2020. Tänapäevaks on robotkullerite osakond loonud uue ettevõtte nimega Clevon. [1]

1.2 Cleveron 405

Cleveron 405 on ettevõtte kõige ruumisäästlikum pakirobot, mis on mõeldud väikestele poodidele, kus ruumi säästmine on väga oluline. Pakirobot suudab päevas väljastada kuni 300 pakki. Roboti eelisteks on efektiivsus ruumi kasutuse osas, lihtsus ja kliendi aja säästmine paki kiire kättesaamise kaudu. [2]

Cleveron 405 kõige väiksem mudel võtab olenevalt mudelist kõigest 1,3 m² või 1,9 m² põrandapinda ja suudab mahutada kuni 170 pakki. Paki kättesaamise aeg pärast koodi sisestamist või skanneerimist on keskmiselt 7,5 sekundit. Maksimaalne paki suurus on 40 × 25 × 25 cm ja maksimaalne kaal 5 kg. Ka kulleritele, kes pakke sisestavad, on olemas kiirlaadimise režiim. Robotit saab paigaldada ainult sisetingimustesse. [2]

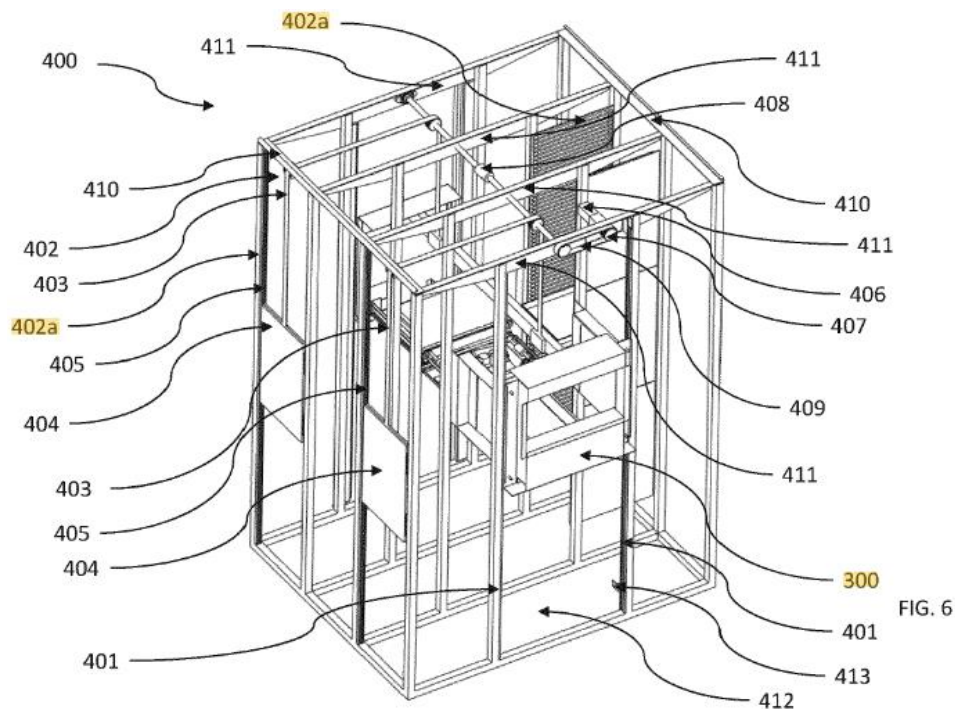


Joonis 1. Cleveron 405 pakirobot [2]

1.2.1 Cleveron 405 tööpõhimõte

Cleveron 405 sisemine ülesehitus koosneb laadurist (joonis 3), mastist (joonis 2, 408), kandikutest (joonis 2, 403) ja kandikuruumidest (joonis 2, 402a). Kandikuruumid asetsevad eestvaates pakiroboti paremal ja vasakul. Laadur koos liftiga asub roboti keskel ning see liigub vastavalt paki ladustamise vajadusele ette ja taha. Laaduri ülesanne on võtta kas paremalt või vasakult kandik ning see laaduri keskele tõmmata. Kõiki neid komponente liigutavad servomootorid hammasrihmade kaudu.

Klient asetab paki kandiku peale ning pärast pakiroboti ukse sulgemist mõõdab masin pakendi kõrguse ja massi. Seejärel viib lift selle kandikuruumi. Kui masin on seisnud pikemat aega ja keegi pole sinna pakke sisestanud, hakkab see pakke ümber laduma, et teha uutele pakkidele rohkem ruumi ehk optimeerida oma ruumikasutust. Kandikuid saab panna masinasse erinevate kõrguste peale ning see oleneb pakendi kõrgusest. Pakki kaalutakse pärast paki asetamist kandikule, et selle mass ei oleks rohkem kui lubatud ehk üle viie kilogrammi.



Joonis 2. Cleveron 405 konstruktsioon [3]

2. AJAMITE VALIK

Pakirobotis on kasutusel viis erinevat ajamit, millel on erinevad tööülesanded. Ajam koosneb peamiselt mootorist, reduktorist ja tagasiside lugerist, mis annab teada mootori positsioonist (enkooder) ning vajadusel ka pidurist. Kasutatavad harjadeta alalisvoolumootorid (Brushless DC Electric Motor ehk BLDC) koosnevad eelmainitud osadest. Kasutusel olevad ajamid, millel on reduktor eraldi tootena võivad põhjustada probleeme. Vale poldi pingutusmomendiga võib mootori võll reduktori pesas ringi käia. BLDC mootoritel on reduktor sisse ehitatud, mis tähendab, et planetaarülekanne keskmine hammasratas on mootori võlli küljes fikseeritud. Pakirobotis olevad ajamid on nimetatud nende tööülesannete põhjal.

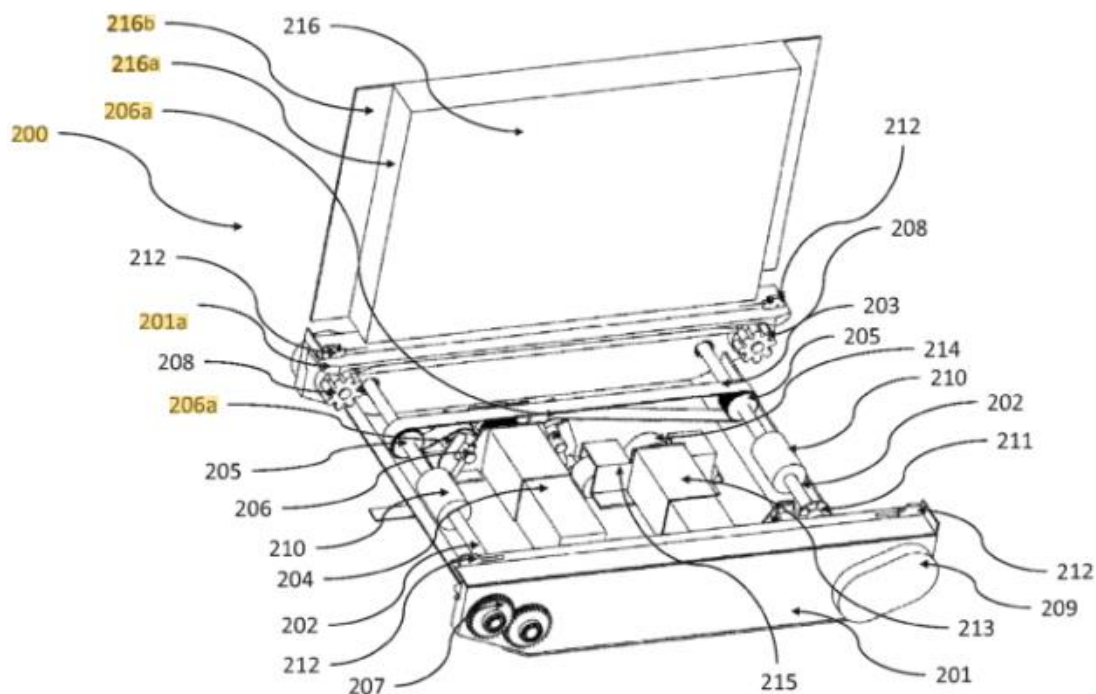
Positsioneerimiseks mõeldud ajam lükkab hammasrattad õigesse asukohta, et kandikul olevad hambad haakuksid kanduril olevate hammastega (joonis 3, 208). Positsioneerajamil on kokku kolm erinevat asukohta, kuhu ta komponente liigutama peab. Algpositisioon on keskel ning liikuma peab paremale ning vasakule. Jõud on sellel ajamil minimaalne, sest selle ülesanne ei ole liigutada pakke. Positsioneerimiseks mõeldud ajam asub joonisel 3 ja on märgitud numbriga 213.

Kandiku ettevedaja ülesanne on läbi hammaste (kujutatud joonisel 3 numbriga 208), mis asuvad kandiku all, tõmmata kandik laaduri keskele. Kandikut peab olema võimalik võtta nii vasakult kui ka paremalt ehk mootori pöörlemissuund peab olema reverseeritav. Ajam peab olema võimeline liigutama kandikut, mille mass on tühjana 8 kg ning koos pakiga 18 kg. Nii kandiku eestvedaja kui ka positsioneerimiseks mõeldud liikumise täpsus on oluline, et kandik lõpp-positsiooni jõuaks. Kui kandik ei ole oma ettenähtud positsioonis, võib mast sellele otsa sõita. Kandiku ettevedaja ajami asukoht on märgitud joonisel 3 numbriga 204.

Lifti ajam on pakiroboti viiest mootorist kõige võimsam, sest lift tõstab maksimaalselt laadurit koos kandiku ja pakiga, mis kaaluvad kokku üle 30 kg. Lifti ajami tarbitavat võimsust vähendavad vastukaalud, mis aitavad lifti ajamil tõsta laadurit üles ja on joonisel 2 märgitud numbriga 404. Lifti ajam koosneb kokku kolmest hammasrihmast. Kaks neist on lahtised, mis on kinnitatud vastukaalu ja laaduri külge ning mis on joonisel 2 märgitud numbriga 408 ja üks kinnine rihm, mis liigutab võlli, mille peal on lahtised rihmad. Kinnine rihm koos ajami ja ajamikinnitusega on märgitud joonisel 2 numbriga 407.

Ukse ajamil on ülesanne tõsta pakirobotil ees olevat ust üles ja alla. Ukse eesmärk on roboti liikumise ajal klienti eemal hoida, et toimingute ajal keegi viga ei saaks. Ajam asub uksest allpool ning vajab pidurit, et uks ülemises positsioonis alla ei vajuks või tõmmates alla ei tuleks. Ukse kaal, mida ajam liigutama peab, on 12 kg. Uks on joonisel 2 märgitud numbriga 300.

Etteandja ajam liigutab laaduril olevat kandikuajamit horisontaalselt ette- või tahapoole. Selle ajami täpsus on oluline, sest laadur peab jääma kandikutega kohakuti, et hammasrattad (joonis 3, number 208) haakuda saaksid. Etteandja ajam on märgitud joonisel 2 numbriga 403.



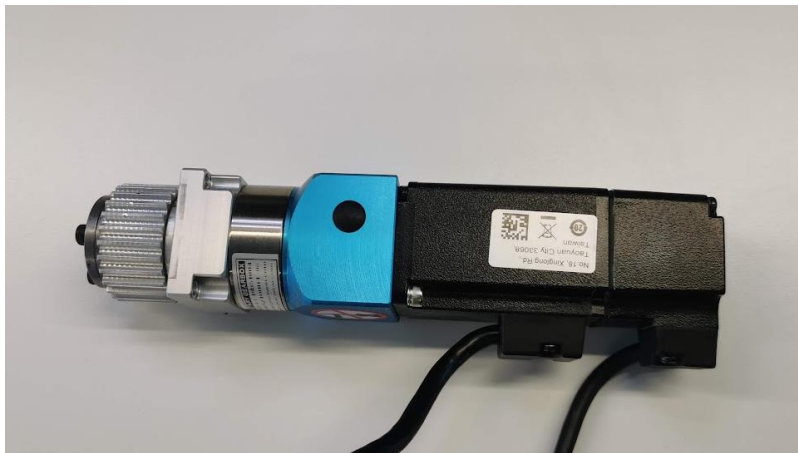
Joonis 3. Laadur [3]

2.1 Kasutuses olevad ajamid

Pakirobotis on praegu ajamid, mis on kasutusel ka teistes Cleveroni pakirobotites. Seepärast on tehtud valik ka selles pakirobotis sellist tüüpi ajameid kasutada. Kasutusel olevatel mootoritel puudub reduktor/käigukast ning seda peab tellima teise tootja käest, kelleks on PHT Vertex. Eraldi käigukast tekitab probleeme hinna osas, sest eraldi planetaarülekanne hind on mootori hinnaga sama.

Ajami reduktorid on valitud ülekande arvu alusel. Mida aeglasem on ülekanne, seda rohkem samme on ühes mootori pöördes, mis teeb ajami täpsemaks. Aeglast reduktorit ei saa panna kohta, kus pole vaja täpsust, vaid kiirust ning seega nendes kohtades, kus on oluline kiirus, on ka ülekanded suuremad. Näiteks postitsioneerimisajam liigub 20 cm algpositsioonist lõpp-positsiooni ja et hammasrattad haakuksid, on vaja täpsust. Selle tagamiseks on sinna pandud aeglane reduktor. See tekitab olukorra, kus 100 W mootor on ülearu ning see võiks olla poole väiksema võimsusega.

Tabel 5 (vt. lisa 6.1) on märgitud hetkel kasutuses olevad ajamid, nende nimetus ja lühikirjeldus ning asukoht. Ajamid on oma mõõtmetelt sarnased, kuid erinevad pikkuse poolest reduktori (joonisel 4 sinist värvi detail) ülekande või piduri olemasolul. Mootori pöörlemiskiirused on näidatud ilma reduktorita.



Joonis 4. Delta ajam (erakogu)

2.2 Ajamite parameetrid

Ajamite parameetrid on valitud lähtuvalt ajami ülesandest pakirobotis, mis on vaja enne valiku teostamist ära defineerida. Erinevad tootjad spetsialiseeruvad erinevatele ajamitele. Lõppvalikuid tuleks leida kaks, et tarneprobleemide tekkimisel oleksid olemas alternatiivsed valikud.

Parameetrid ajami ja draiveri vahel on väga seotud. Ajam peab olema suuteline draiveri poolt antud käsklusi täitma ja väljastama vajalikke signaale tagasi draiverile, et vajadusel teha muudatusi või kaardistada probleemseid kohti. Mootori võll peab olema sama diameetriga ja pikkusega, mis vana. Gabariitmõõtmed peavad olema ajamil vana ajamiga sarnased, et olla kindel ajami robotisse mahutamises.

Ajami ja draiveri olulisemad parameetrid:

- Funktsioonid – dünaamiline pidurdus, automaatne püsivara uuendamine, vigade tundmine ja nende logi pidamine.
- Sujuv pidurdus ja kiirendus. Pidurduse ja kiirenduse kiirust peab saama seadistada.
- Mootor peab olema suuteline tegema kiireid suunamuutusi.
- Mootori kiirus jääb muutumatuks, kui koormus muutub.
- Võimalik kaardistada ja jälgida reaajas mootori pöördeid, momenti, voolutugevust.
- Võimalus teha hädaseiskamine.
- Tööpinge mootoril – 24 V.
- Maksimaalne müra ajamil – 90 dB mõõdetuna 10 cm mootorist.
- Mootori temperatuur ei tohi ületada 80 kraadi eeldusel, et algtemperatuur on 20 kraadi.
- Piduri välja lülitamine mootoril draiveri kaudu, et vajadusel manuaalselt ajameid liigutada.

2.3 Turu-uuring

Turu-uuring on tehtud kasutades avatud allikaid ning läbi viidud internetipõhiselt ajavahemikul 25. märts kuni 13. aprill 2023. Vaadeldavateks kriteeriumiteks olid ajamite maksumus, tarnekindlus ja kvaliteet. Mootorid pidid vastama eelmainitud parameetritele ja tootja pidi olema piisavalt usaldusväärne. Tootja osas jälgiti, et neil oleksid ajamitel vastavad sertifikaadid (CE, RoHS). Nende puudumisel ei vasta vajalikele nõuetele ka robot ning turustamine on võimatu. Jälgiti ka seda, et tootjal oleks vastav kvaliteedijuhtimissüsteemi ISO 9001 sertifikaat. Tootjad, kes kriteeriumid täitsid, on leitavad töö lisas tabelis 10.

BLDC ajamite tootjaid on mitmeid ning esialgu oli raske leida erinevusi ja otsustada, mis tootja sobiks kõige paremini kindlaks tehtud nõudluste osas. Lihtsustamiseks valiku tegemist, võeti kasutusele hindamiskriteeriumid ja punktiskaala. Iga oluline parameeter ehk hindamiskriteerium hinnati vastavalt kui hästi ta täitis ideaalvalikut. Tootja valik sõltus punktide summast.

Esimene ja tähtsuselt oluliseim kriteerium oli ajami hind. Hinna arvestamiseks valiti välja igalt tootjalt üks potentsiaalne ajam, mis sobiks üheks pakiroboti ajamiks ja võrreldi nende hindu Delta ja teiste tootjate omadega. Kõige parema hinnaga tootja sai punkte 5 ja kõige kõrgema hinnaga 1 punkti.

Kvaliteedi kriteeriumi all hinnati mootorite kvaliteeti väljatoodud tootjate vahel. Kvaliteeti sai hinnata visuaalselt – milliseid materjale on kasutatud ja mis lahendusi on reduktori osas kasutatud. Kvaliteetseim ajam sai punkte 5 ja madalaima kvaliteediga mootor 1 punkti.

Tarne osas vaadati tarneaegu ja seda, palju tootja oma ajameid laos hoiab. Hinnati ka seda, kui kiiresti nad lao puudumisel ajameid tarnida suudavad. Kõige aeglasem tarne sai 1 punkti ja kõige kiirema tarneajaga tootja sai punkte 5.

Toote valikus hinnati, kui palju on tootjal erinevaid tooteid ja palju on valikuvõimalusi erinevate mootorite võimsuste ja ülesehituse osas. Kõige suurima tootevalikuga tootja sai punkte 5 ja väikseima valikuga tootja sai hindeks 1. Lõplikuks valikuks punktide skaala järgi osutus ZGC (lisa 6.1, tabel 10).

2.4 Ajamite võrdlus

Ajamite valiku tegemisel hinnati ajami nominaalset pöörlemissagedust (*rated speed*), maksimaalset (*peak torque*) ja keskmist (*rated torque*) väänet. Hindamine käib võrdluses praeguste ajamitega asukoha lõikes. Kui samasse asukohta tekib mitu sobivat ajamit, siis eelistatud valikuks tuleb kõige odavam ja kallimad eksemplarid jäävad asendusteks.

Tootja, mida võrreldakse Deltaga on ZGC ja TT. Ülesande täitmiseks lähimate omadustega sobivaimad ajamid on valitud tootja ZGC kodulehel olevatelt tootekaartidelt (lisa 6.6) [4]. Võrdluses vaadeldakse, kas valitud ajam on omadustelt võrdne, parem või halvem. Ajam on vahetuseks sobiv siis, kui ajami omadused on võrdsed või ületavad vana ajami omadusi. Mootorite pöörlemissagedust ja väändemomenti on vaadeldud koos reduktoriga.

Ajamite võrdlustabelid on leitavad töö lisas 6.1 (tabelid 5, 6, 7, 8 ja 9). Tabelitesse on lisatud ka võrdluste kokkuvõtte sellest, kas ajam sobib võrreldava ajami asenduseks või ei sobi. Võrreldavad ajamid on järgmised:

1. ZGC ajam: 42DMW61-2430-i4.9
2. ZGC ajam: 42DMWR69-2430-i5,18
3. ZGC ajam: 42DMWR69-2430-i14
4. TT ajam: GMP36-TEC3650-2440-i51

2.5 Ajamite valik

Tabelis 1 on näidatud asukoha lõikes, mis ajamid on lõplikud asendused olemasolevatele. Ajamit, mis sobis mitmele positsioonile, saab kasutada asendusena. Tabelis 1 on toodud ajamid ning nende konfiguratsioon, enkooderi või piduri olemasolu. Asukoha lifti ajami valik tehti võrdluse väliselt, sest see on kõikidest teistest asukohtadest spetsiifilisem ning ei olnud vajalik seda teiste asukohtadega võrrelda. Lifti ajamiks on valitud tootja tootekaardilt vana ajamiga kõige võrdväärsemate näitajatega mootor. Ülejäänud asukohad on valitud võrdlemise teel.

Tabel 1. Valitud mootorid

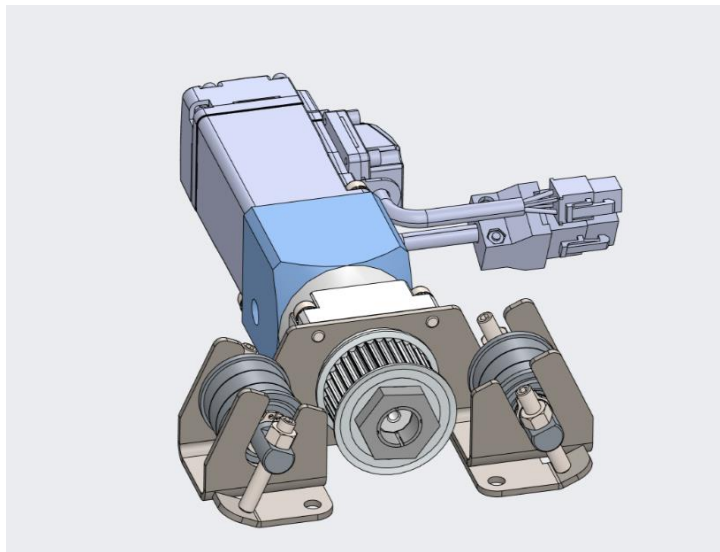
Asukoht	Ajam	Asendus
Positsioneer	42DMWR69-2430-i5,18 Tootjalt ZGC koos piduri ja enkooderiga	-
Lift	57DMWH95-2430-56(13) Tootjalt ZGC koos piduri ja enkooderiga	-
Etteandja	42DMWR69-2430-i5,18 Tootjalt ZGC koos enkooderiga	42DMWR69-2430-i14
Uks	42DMWR69-2430-i5,18 Tootjalt ZGC koos piduri ja enkooderiga	42DMWR69-2430-i14
Kandiku ettevõtja	42DMWR69-2430-i14 Tootjalt ZGC koos enkooderiga	-

3. KONSTRUKTSIOON

Välja valitud ajamite puhul on erinevused kinnitusavade osas, mis tähendab, et kinnitused, mis on vanadel ajamitel, ei pruugi enam sobida. Mõne ajami osas on mõistlik projekteerida uus kinnitus ning mõne ajami osas on vaja leida lahendus, kus saaks kasutada uue ajamiga vana klambrit.

Uue klambri projekteerimisel on oluline veenduda, et klamber peab vastu jõududele, mis ajami tööga tekivad. Silmas pidada tuleb ka tehnoloogiat, kuidas klamber valmistatakse. Lehtmetalli toodete projekteerimisel on oluline meeles pidada painutuspinkide eripärasusi. Võimalusel tuleks vältida ebavajalikke lisaoperatsioone, näiteks keevitust vms, et klambri maksumus ei läheks liiga kulukaks.

Oluline on enne projekteeritud klambri tootmist klambri teostada ka tugevusanalüüs, et veenduda klambri vastupidavuses ja piisavas jäikuses.



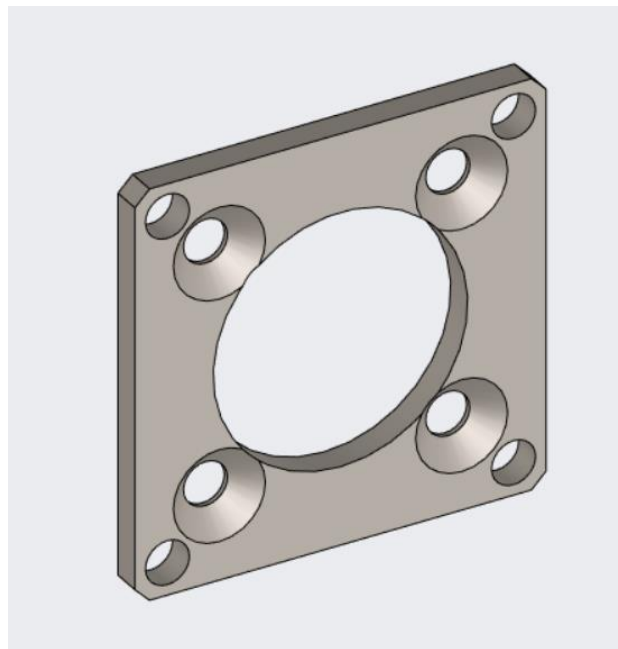
Joonis 5. Delta ajam kinnitusklambri ja rihmapingutitega (erakogu)

3.1 Ajamite kinnitused

Iga ajam, mis pakirobotis on, kasutab erinevaid kinnitusklambreid. Seda seetõttu, et erinevad on nii mootorite võimsused ja suurused kui ka asukohad ja ülesanded. Kinnitus erineb ka hammasrihma pingutus- või suunamisvajadusest.

Ajamite kinnitused on valmistatud DC01 terasest, mis on 2 mm paksusega. Toorikud on välja lõigatud laserlõikusega ja pärast seda painutatud ja pulbervärviga kaetud. Ajamite kinnituste projekteerimisel on lähtutud lehtmetaili painutuse printsiipidest. [5]

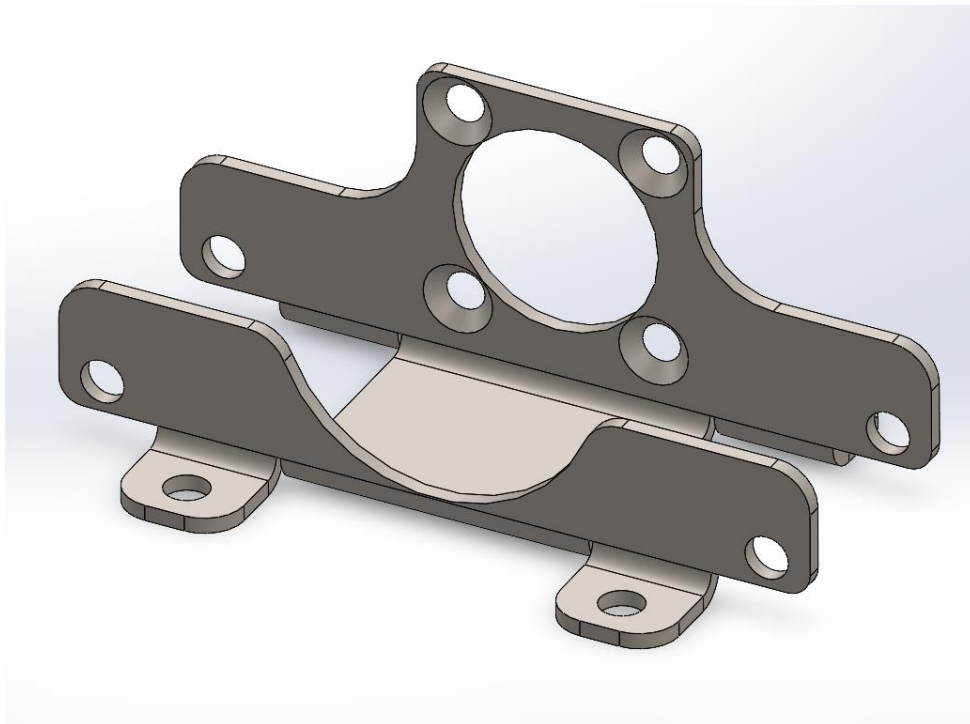
BLDC ajamite jaoks on projekteeritud pakirobotisse kaks uut klambrit ning adapter. Adapter on mõeldud kasutamiseks ukse, kandiku ettevõtjas ja liftis, kus ei olnud mõistlik uut klambrit projekteerida. Adapter (joonis 6) kinnitub peitpea DIN 7991 [6] poltidega ajami külge ning klambri küljes on neli keermestatud ava, kuhu lähevad DIN 912 [6] sisekuuskantpoldid. Rihmaratast peab võlli peal adapteri paksuse jagu ettepoole liigutama.



Joonis 6. Ajami adapter (erakogu)

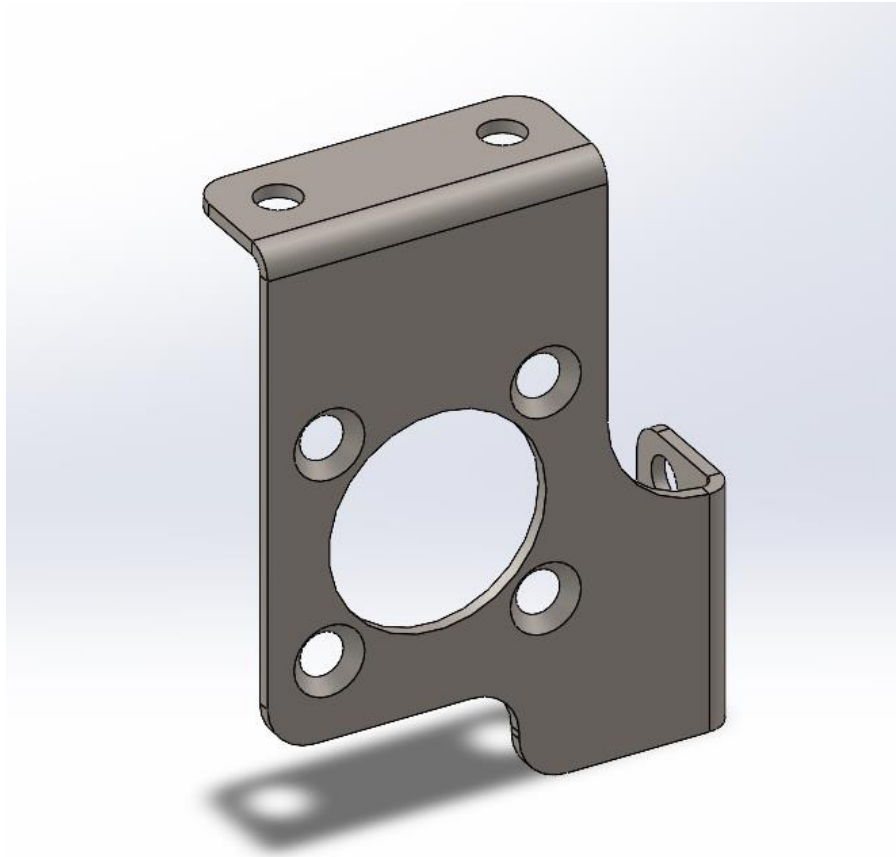
Kuna laaduris olev rullikutega ajamikinnitus oli optimeeritav pinnalaotuse suhtes ning ajamikinnitused olid erinevad, siis oli ülesandeks projekteerida uus, silmas pidades pinnalaotuse suurust ja tootmise võimalikkust. Ajam kinnitub klambri külge samamoodi nagu adaptergi ehk DIN 7991 [6] peitpeapoltidega. Rullikud koos kinnitusvahenditega ja klambri kinnitamine laadurisse ei muutunud.

Klambri eelmise versiooni nõrk koht oli ajami kinnituskeermed, sest lehtmetailis olid keermed liiga lühikesed ja oht suur neid üle keerata. Probleem seisnes ka klambri pinnalaotuse suuruses ja sellest tulenevalt jäägi tekkimises. See probleem saadi uue klambri projekteerimisega eemaldatud ning ajam ei kinnitu enam lehtmetailis olevatesse keermetesse, vaid ajami enda keermetesse. Uut projekteeritud klambrit on kujutatud joonisel 7. Uus versioon kasutab vanaga võrreldes vähem toorikut. Vana klambri tooriku suurus on 105×115 mm ning toorikut on kujutatud lisas 6.2 joonisel 17. Uue klambri tooriku suurus on $85,5 \times 95$ mm, mis on 33% väiksem vana klambri toorikust. Uut klambrit on kujutatud lisas 6.2 joonisel 16.



Joonis 7. Positsioneerij ajaminikinnitus (erakogu)

Ümbertegemist vajav ajamikinnitus oli etteandjas. Uus kinnitus projekteeriti, sest ajamit adapteriga vana klambri külge kinnitada ei saanud. Uue klambri kinnitused pakirobotile jäid samaks. Uut projekteeritud ajamikinnitust on kujutatud joonisel 8.



Joonis 8. Etteandja ajamikinnitus (erakogu)

3.2 Tugevusarvutused

Veendumaks ajami töökindluses, on ajami klambritele tehtud tugevusanalüüs. Selle jaoks tuleb leida kinnitusklambrites tekkivad jõud. Vääne, mis tekib, on kõikides kohtades alla 5,6 Nm. Kui kasutada väändeks 10 Nm, jääb varuteguriks minimaalselt 4,4 Nm ehk 44%. Vaja on leida rihma eelpingutusega tekkiv jõud ning ajami väändemomendist tekkiv jõukomponent.

Jõu leiame valemi 1 abil,

$$F = ma \quad (1)$$

kus m – mass kg;

a – kiirendus m/s^2 .

Kiirenduse leidmisel (A) on ülekandeks 1:1. Ajamiks on 42DMWR69-2430-i5,18.

Kiirenduse leiame valemi 2 abil,

$$A = RPM * \pi * \frac{2}{60} * r \quad (2)$$

kus RPM – pöörlemissagedus r/min;

r – rihmaratta radius m.

Andmed:

Ajami pöörlemissagedus = 579 r/min

Rihmaratta raadius = 0,014 m

Selliste andmetega $A = 0,848 \text{ m/s}^2$.

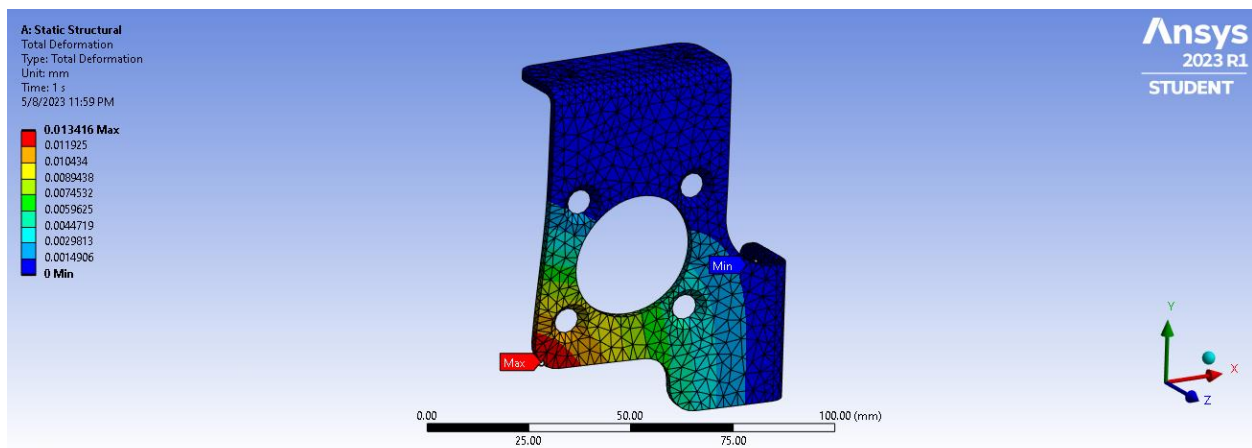
Seega valemi 1 andmeteks on:

$$m = 35,7 \text{ kg}$$

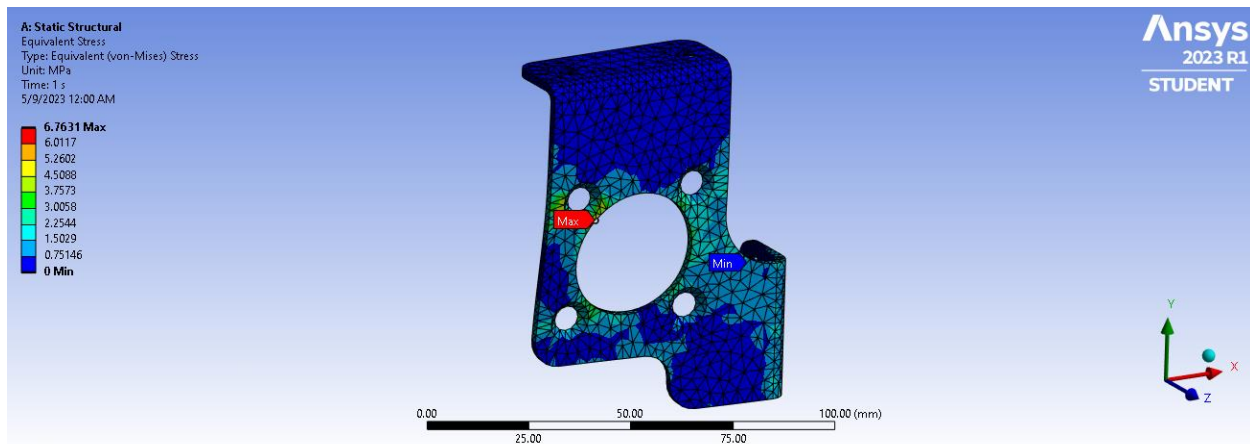
$$a = 0,848 \text{ m/s}^2$$

Selliste andmetega $F = 30,3 \text{ N}$.

Tugevusanalüüsist näeme klambri pingeid, mis on kujutatud joonisel 9 ja joonisel 10. Lisa 6.1 joonisel 18 on näha, kuhu on jõud paigutatud, mis suunaga nad on ja kuidas on paigutatud kinnitused. Simulatsiooni tulemuste järgi võib öelda, et ajamiklamber peab vastu sellistes tingimustes, sest kinnituse deformatsioon, mis on kujutatud joonisel 9, on maksimaalselt 0,013 mm. Joonis 10 näitab, et maksimaalne sisepinge mudelis on 6,76 MPa, mis tähendab, et materjal püsib sellise pinge all stabiilsena. [7]



Joonis 9. Klambri deformatsioon (erakogu)



Joonis 10. Klambri sisepinge (erakogu)

Sellel klambri on kokku neli kohta, kus jõud rakenduvad. Ajamikinnitusele rakendub rihma pinge ja väändejõud. Rullikute kinnitustele rakendub rihma eelpingestus, kus puutepunkt on hammasrihma ja rulliku vahel.

Väändejõuks on eelnevalt kasutatud 10 Nm ning mootori hammasrihma eelpingejõu arvutame valemiga 3,

$$F_u = \frac{19100 * P * 10^3}{n * d_w} \quad (3)$$

kus P – Mootori võimsus kW;

n – pöörlemissagedus;

d_w – rulliku diameeter.

Valem 1 eelpingejõud:

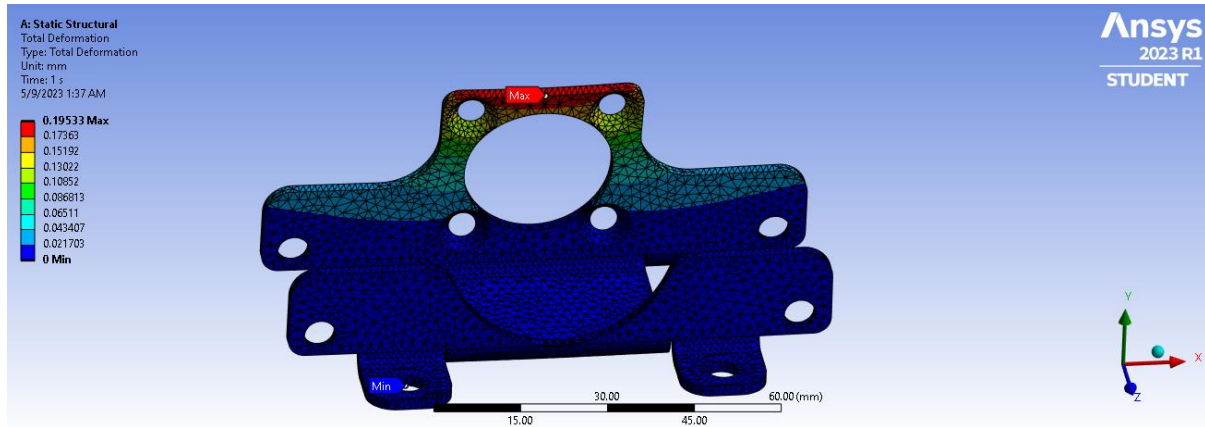
$$P = 0,07 \text{ kW}$$

$$n = 579 \text{ p/min}$$

$$d_w = 28 \text{ mm}$$

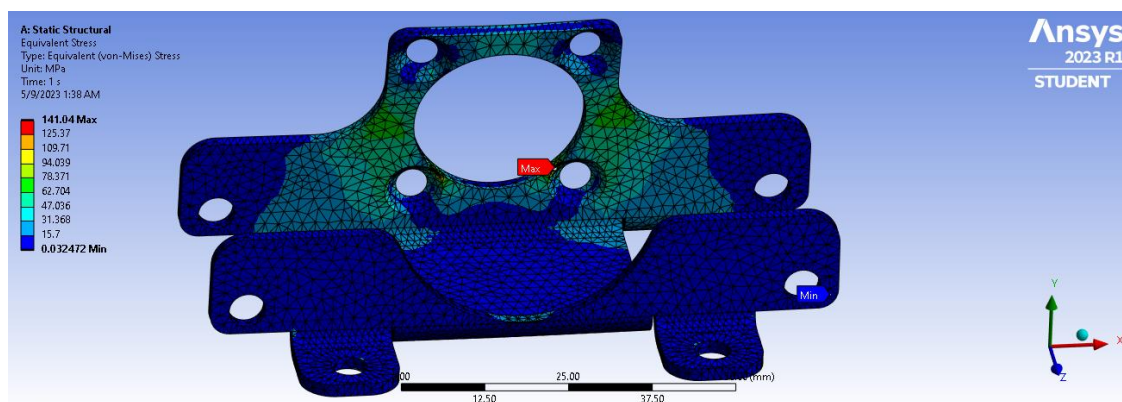
Nende andmetega $F_u = 82 \text{ N}$.

Selliste andmetega saame simulatsioonis tulemuseks maksimaalse deformatsiooni 0,19 mm, mis on praegustes tingimustes piisavalt väike. Simulatsiooni algandmed asuvad lisas 6.1 (joonis 19).



Joonis 11. Rullikutega klambri deformatsioon (erakogu)

Sisepingete analüüs näitab sisepingeid mudeli geomeetrias. Simulatsioonist näeme, et pingekonsentraatoreid ei ole ja maksimaalse sisepinge koht mudelis on 141 MPa. Pinged on küll kõrge, kuid materjal peab sellise rõhu all vastu. Maksimaalne voolavuspiir DC01-l on 280 Mpa. [7]



Joonis 12. Rullikutega klambri sisepinged.(erakogu)

4. JUHTSÜSTEEMI JA KOMPONENTIDE ANALÜÜS

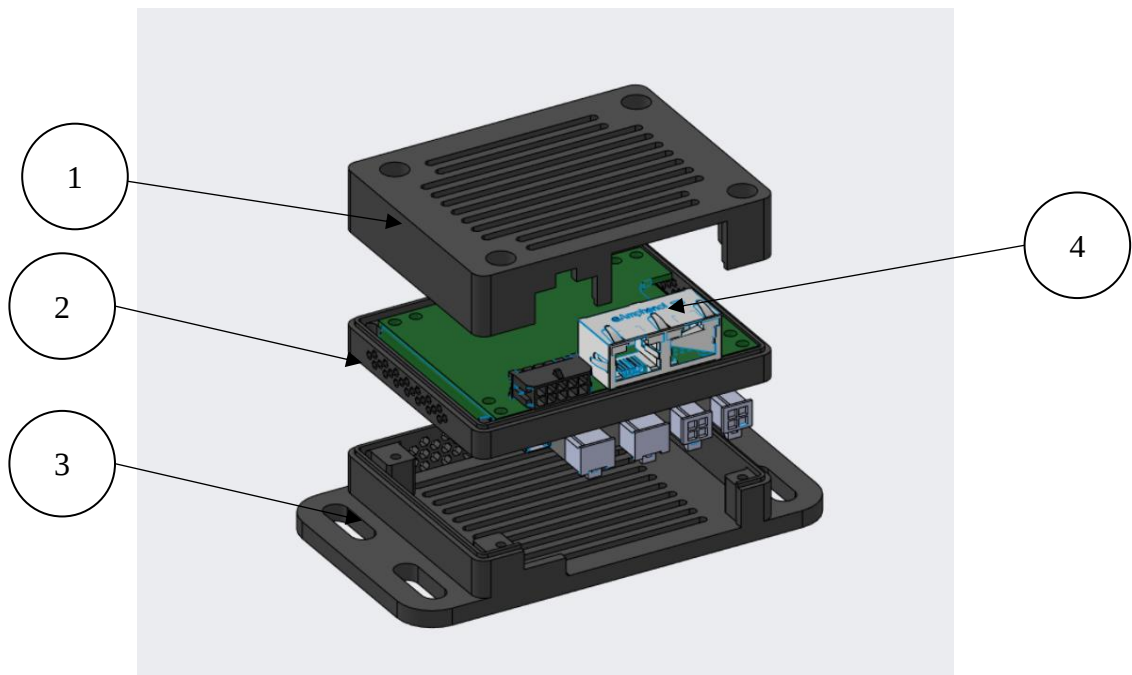
Delta ajamite maksumust mõjutab nende juhtimissüsteem. See on üles ehitatud selliselt, et igal ajamil on oma juhtimismoodul ehk kontrolleri. Juhtsüsteemi kuuluvad ka lisaseadmed, mis teevad selle veel kulukamaks ja ka keerukamaks.

Probleem juhtsüsteemidega ei ole üksnes Cleveron 405-s, vaid ka teises pakirobotites. Projekt, mis seepärast läbi viidi, tehti EAS-i raames ja selle eesmärk oli arendada harjadeta alalisvoolumootoritele mõeldud kontrolleri. Kontrolleri pidi suutma juhtida harjadeta alalisvoolumootoreid ning andma vajalikku tagasisidet ajamite töö osas. Sellise kontrolleri arendamine välistab ka igasuguste lisaseadmete vajalikkuse. Trükkplaadi loogika arendas välja ettevõtte OÜ Smartstuff.

Trükkplaadi masinasse paigutamisel on vaja selle ümber korpust. Korpuse ülesanne on fikseerida trükkplaati ning kaitsta seda väliste mõjude eest, näiteks kui tehnik masinas hooldustööd teeb. Korpust peab olema lihtne erinevatesse masinatesse kinnitada ja see peab olema piisavalt väike, et ruumi säästa. Masinasse kinnitamisel tuleb tähele panna ka kaablipikkusi, et need ei oleks ebavajalikult pikad. Korpusel peab olema piisavalt hea õhu läbilaskmine, et kontrolleri vahemikus $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuni $+28\text{ }^{\circ}\text{C}$ jahutada. Jahutusavade tegemisel tuleb arvestada ka tolmu.

4.1 Kontrolleri korpus

Korpus koosneb kolmest erinevast detailist. Kõikidele detailidele on lisatud jahutusavad, tagades trükkplaadi igale pinnale parima õhuliikumise. Trükkplaat kinnitatakse keskmisele, joonisel 13 number 2 detailile, mille ülesanne on hoida trükkplaate omavahel õigel kaugusel ja tagada, et plaadid oleksid korpuses fikseeritud. Trükkplaat kinnitatakse joonisel 13 detaili 2 külge nelja M3 × 5 kruviga. Kõik kolm detaili ühendatakse samuti M3 kruvidega, mis keeratakse alumise detaili joonisel 13 detaili 3 sisse, kus on selle jaoks ette antud avad. Eraldi keeret ette puurima ei pea, sest M3 suudab ava ise ära keermestada. Detailil 3 on neli pilu, mis annavad kinnitusele rohkem universaalsust ja liikumisruumi.



Joonis 13. Draiveri koost (erakogu)

Korpus on 3D-prinditud polüüretaanplastikust. Projekteerimisel on lähtutud 3D-printimise tehnoloogiast, et printimisel ei oleks vaja lisatugesid ning poleks detaili printimist raskendavaid kohti. [8] Pärast printimist on korpus koostatud koos trükkplaadiga ja proovitud kõiki pistikuid. Pistikuid peab olema võimalik kinnitada ja ära võtta. Pärast printimist ilmnas, et külgedele tehtud heksagonavad ei sobinud ning nende asenduseks tuli teha vertikaalsed avad. Ka detailiga joonisel 13 numbriga 3 oli probleeme, kuid järgmise printimisega said need probleemid kõrvaldatud.

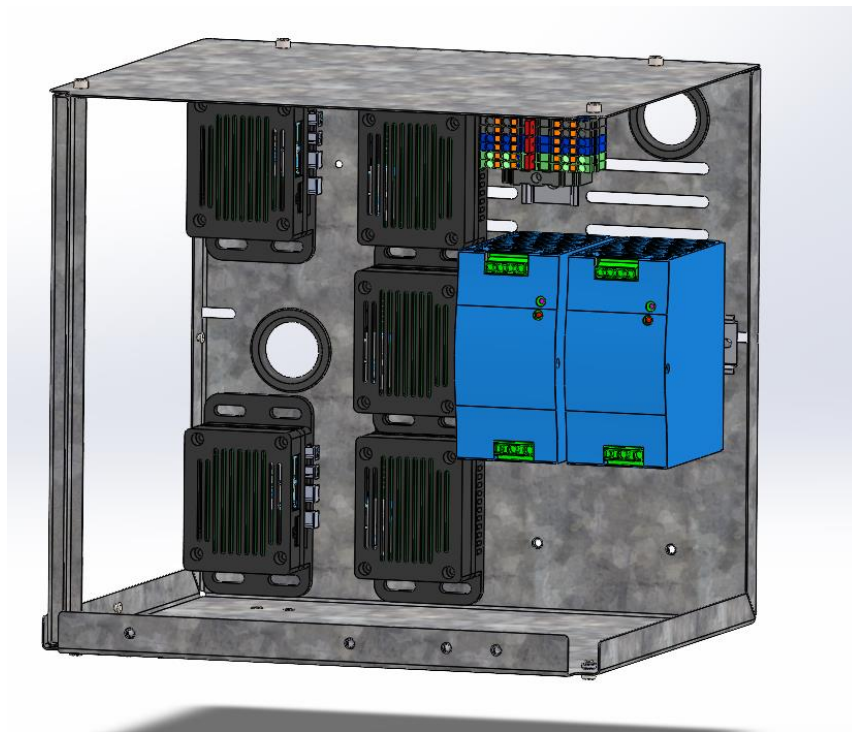


Joonis 14. 3D prinditud draiveri ümbris (erakogu)

4.2 Kontrollerite asukoht pakirobotis

Kontrollerite ja muude elektroonikakomponentide jaoks on pakirobotis elektrikilp. Elektrikilp asub pakiroboti ees hea ligipääsetavasega kohas. Kontrollerite paigutamisel ilmnes kaablite pikkusi, painutusi ja jahutusnõudeid silmas pidades probleem. Kilbi kinnitusavad ja ventilatsioon peavad muutuma ning vana lahendus ei sobi.

Joonis 15 kujutab elektrikilbi uut paigutust koos uute kontrollerite ja toiteplokkidega. Kontrollerid on kinnitatud kasutades korpusel olevaid kinnitusavasid ning toiteplokid DIN liistuga, mis on elektrikilpi kinnitatud neetidega. Kahe toiteploki vahekaugus on võetud tootekaardilt – 15 mm (lisa 6.6). Kontrolleri asukoha määras ära kaablite ava, sest mida lähemal kontrollerid kaabliava juures on, seda lühemad on ka kaablid. Kaabliava asub kontrollerite keskel (joonis 15). Kontrollerite vahekauguse määramisel on arvestatud kaablite pistikute pikkuste ja kaabli painderaadiustega.



Joonis 15. Elektrikilbi uus paigutus (erakogu)

5. MAJANDUSLIK OSA

Lõputöö põhiline eesmärk oli viia ajamite hind 40% soodsamaks võrreldes vana lahendusega. See oli tehtav, sest vanadel ajamitel on palju kulusid, mida uutel ajamitel ei ole. Hinnad on võetud tootja hinnapakumiste põhjal. Hinnas ei ole arvestatud tarnekulude ja maksudega.

Enne eesmärgi leidmist tuli kaardistada, mis on praegune ajamite kulu pakirobotis. Oluline oli kindlaks määrata detailid ja komponendid, mis pakirobotist ajami vahetusega kaovad ja mis juurde tekivad. Ka uute ajamite hinna määramisel oli oluline leida, mis vahetuse käigus juurde tuleb ja seda koos nende õige hinnaga. Ärakaduvaid komponente on rohkem kui juurdetulevaid ning see annab hinna optimeerimise osas parema tulemuse.

Kulu, mida uue ajami hinnastamisel ei arvestatud, aga mis moodustab suure osa kuludest, on uue juhtimismooduli arendus. Uue lahenduse arenduses arvestati ainult ettevõtte enda kulu, sest väljatöötatud kontrolleri on EAS-i rahastusega.

5.1 Olemasoleva ajami hinnastus

Hinnad, mis on toodud tabelis ja ei ole viidatud, on alates 1. septembrist 2021 ning pärinevad ettevõttesisestest allikatest. Välja on toodud kõikide ajamite jaoks vajaminevad osad koos kontrolleri, mootori ja reduktoriga. Hinnas ei lisandu hammasrihmasid ja selle kinnitusi, sest need jäävad uute ajamitega samaks. Ajamite hinnastusel võeti arvesse ka elektrikomponentide hinda, sest Delta kontrolleritel on vaja erinevaid lisakomponente. Kõik hinnad on käibemaksuta. Tabelis 2 on kujutatud kõik ajamite komponendid, mida enam uue lahenduse tegemiseks ei kasutata.

Tabel 2. Vanade ajamikomponentide hinnad

Nr.	Kirjeldus	Kogus	Hind (€)	Summa (€)
1	Delta ECM-B3L-C20401SS1	2	181.7	363.4
2	Delta ECM-B3L-C20401RS1	2	104.3	208.6
3	Gearbox X1366 (PHT DH 042)	3	113	339
4	Driver ASD-A3-0121-M	5	185.4	927
5	Delta ECM-B3M-C20602SS1	1	185.5	185.5
6	Gearbox X0846 (PHT DH042)	1	113	113
7	Gearbox 123817 (Tramec EP-75)	1	236.64	236.64
8	Raadiohäirete summutamise filter	1	73 [9]	73
9	Piduritakisti 72 oomi	1	227 [10]	227
10	25 A paigalduskontaktor, AC/DC, NO/NC	2	32 [11]	32
11	16 A paigalduskontaktor AC/DC	1	54,17 [12]	54,17
			Kokku	2759,31

5.2 Uute ajamite hinnastus ja analüüs

Uute ajamite hinnastus on võetud ühe tüki tellimusena. Kui tellida üle saja või üle viiesaja on hinnad ühe mootori kohta kuni 20% soodsamad. Uues hinnastuses lisandub mootoritele ka toiteplokk, sest uuel juhtkomponendil ei ole toitevõimalust. Kontrolleri hind selles analüüsis katab ainult trükkplaatide ja korpuste hinna ning arvestatud ei ole arenduskuludega. Ilma viiteta hinnad on võetud ettevõttesisestest allikatest.

Tabel 3. Uute ajamikomponentide hinnad

Nr.	Kirjeldus	Kogus	Hind (€)	Summa (€)
1	42DMWR69-2430-i5,18 + enkooder + pidur	1	107,32	107,32
2	57DMWH95-2430-56(13) + enkooder 4096ppr ABZ + pidur	1	123,59	123,59
3	42DMWR69-2430-i14 + enkooder	1	87,88	87,88
4	42DMWR69-2430-i5,18 + enkooder	1	87,88	87,88
5	42DMWR69 i5,18 + enkooder + pidur	1	107,32	107,32
6	NDR-240-24 MEAN WELL	2	89,54 [13]	179,08
7	Kontrolleri koos korpusega	5	104	520
			Kokku	1213,07

Võrreldes vanade ajamite hinnaga on hinnavahe 44% ja komponente on ka vähem, mis teeb komponentide tarne ja saadavuse paremaks. Hinnavahe järgi võib öelda, et hinna eesmärk on täidetud.

5.3 Uue lahenduse arendus

Leidmaks, millal mootorite vahetus hakkab kasumlikuks, on vaja leida, mis kulutused uue lahendusega kaasnevad. Vaadata tuleb ka, mitu masinat peab müüma, et arendus rahaliselt kasu hakkaks tooma. Arenduse hinnastus on leitav tabelis 4.

Tabel 4. Uue arenduse kulud

Nimetus	Ühik	Kogus	Hind (€)	Summa (€)
Projekteerimine	tund	135	60	8100
3D printimine (prototüüpide loomine)	tund	3	30	90
Klambrite prototüübid	tk	2	85	170
			Kokku	8360

Arenduse kasumlikkuse arvutuse jaoks on arvesse võetud uute ajamite hinnavahe 44%, arenduse kulu ja vana arenduse hind. Uue arenduse kuluks on 8360 € ja hinnavõit iga masinaga on vana lahenduse hinnast 44% (1214 €). Kui jagada see summa arenduse kuludega, saab tulemuseks ümardatuna 7, mis tähendab, et uus lahendus muutub kasulikuks peale seitsme masina müümist. Selline kogus on realistlik ning tõestab lahenduse kasulikkust.

KOKKUVÕTE

Lõputöö „Harjadeta alalisvoolumootorite rakendamine pakiroboti” eesmärk oli olemasolevate ajamite hinna optimeerimine uute ajamite leidmise kaudu ning nende implementeerimine pakirobotisse. Hinna optimeerimise minimaalne maht oli 40%. Mootorite implementeerimise osa hõlmas mootoritele uute kinnituste ning olemasolevale kontrolleri korpuse projekteerimist.

Lõputöö esimeses pooles on kirjeldatud pakiroboti Cleveron 405 tööpõhimõtteid, et lahti selgitada millised ülesanded erinevatel ajamitel on. Kokku on 5 ajamit ning igal on oma ülesanne. Kaardistatud sai ka vana olukord ja komponendid, mis robotis pesitsevad. Pärast olukorra kaardistamist sai otsida vanade ajamite põhjal sarnased harjadeta alalisvoolumootorid, mis oleksid võimelised sama ülesannet täitma. Uute ajamite valik tuli asukoha lõikes mootorite võrdlusega.

Uute mootorite kinnitused muutusid ning pärast seda vajasis üle vaatamist mootorite klambrid. Seal, kus võimalik, kasutati projekteeritud adapterit ning kohtadesse, kus adapterit kasutada ei saanud projekteeriti uued klambrid. Klambrite töökindlust kontrolliti FEM simulatsioonis välja arvutatud jõududega. Uute mootoritega muutus ka juhtimismoodul, millele projekteeriti korpus ja mis sai 3D-printimise teel välja prinditud ja koostatud.

Mootorite vahetusega tõsteti pakiroboti töökindlust, kuna BLDC mootorite reduktorid on mootori küljes kindlamalt kui vanadel ajamitel. Ajamite süsteem on vanast lihtsam, sest koosneb vähematest komponentidest. Hinna osas saadi terve ajamite süsteem võrreldes vana süsteemiga 44% soodsamaks.

SUMMARY

The aim of the thesis "Application of Brushless DC Motors to a Parcel Robot" was to optimize the price of existing drives by finding a cheaper alternative and implementing them into the parcel robot. The minimum price optimization volume was 40%. The implementation part of the motors included the design of new mounts for the motors and housing for the new controller.

In the first part of the thesis, the operating principles of the Cleveron 405 parcel robot are described in order to explain the tasks of different drives. There are 5 drives in total and each has its own task. The old situation and the components located in the robot were also mapped. After describing the situation, it was possible to search for similar brushless DC motors that would be able to perform the same task as the old motors. The choice of new drives came with a comparison of engines by location in the parcel robot.

Mounts on the new motors changed and after that the engine clamps needed a revision. Where possible, the designed adapter was used, and in places where the adapter could not be used, new clamps were designed. The reliability of the clamps was checked with forces calculated in the simulation. With new motors, the control module also changed, for which the housing was designed and was printed by 3D-printing and then assembled.

Aim of the thesis was to reduce the price by more than 40%, simplify the drives and increase reliability. By changing the motors, we increased the reliability, because the gearboxes of the BLDC motors are more securely attached to the motor than on the old drives. The drive system is simpler than the old one, as it consists of fewer components. In terms of price, the entire drive system was 44% cheaper compared to the old system.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „Meie lugu,“ 18 Aprill 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://cleveron.com/ettevottest/meielugu>.
- [2] „Cleveron,“ 18 Aprill 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://cleveron.com/arikliendile/cleveron-405>.
- [3] C. AS.EU Patent EP3971113A1, 17 09 2021.
- [4] „ZGC Motors,“ ZGC Motors, 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.zgcmotors.com/>. [Kasutatud 10 Aprill 2023].
- [5] Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus, 2021, pp. 378-379.
- [6] Würth, „Würth kataloog,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.wuerth.ee/kataloog/>.
- [7] „thyssenkrupp-materials-processing-europe,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.thyssenkrupp-materials-processing-europe.com/en/c-steel/cold-rolled-sheet/dco1-dc07/dc01>. [Kasutatud Mai 2023].
- [8] R. Forgach, „How to design for 3D printing,“ 2022.
- [9] „Industrialpartsrus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://industrialpartsrus.com/block-hlv-110-500-16-radio-interference-suppression-filter-520v-ac/>. [Kasutatud Mai 2023].
- [10] „us.rs,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://us.rs-online.com/product/festo/cacr-le2-50-w500/71190867/>. [Kasutatud mai 2023].
- [11] „Rehabilitaweb,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://int.rehabilitaweb.com/installation-contactor-25a-abb-b311b/>. [Kasutatud Mai 2023].
- [12] „ie.rs,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://ie.rs-online.com/web/p/contactors/2111591>. [Kasutatud Mai 2023].
- [13] „Sakala tööstusautomaatika,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.sakt.ee/en/power-supplies-and-transformers/8644-ndr-240-24-power-supply-din-24dc-10a-240w-2000000056951.html>. [Kasutatud mai 2023].
- [14] „Deltaww,“ Delta Electronics Inc., 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.deltaww.com/en-US/index>. [Kasutatud 20 Veebruar 2023].
- [15] P. Evans, „Why electronics need cooling,“ The engineering mindset, 2000.
- [16] T. Tehnikakõrgkool, „Tallinna tehnikakõrgkooli kirjalike tööde vormistamise juhend,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.ttkk.ee/wp-content/uploads/2022/03/TTK-kirjalike-to%CC%88o%CC%88de-vormistamise-juhend_09.2020.pdf. [Kasutatud Veebruar 2023].
- [17] „steminbreitbach,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.steminbreitbach.com/doc/24029-Elatech_drive-calculation-D-E-0316.pdf. [Kasutatud mai 2023].

6. LISAD

6.1 Tabelid

Tabel 5. Kasutusel olevate ajamite andmed

Nr.	Asukoht	Mootori nimetus	Võimsus	Mootori kiirus (RPM)	Reduktor (tootja PHT Vertex)	Pidur
1	Positsioneer (ajam, mis liigutab kinnitab laaduri hammasrattad kandiku hammasratastega).	Delta ECM- B3L- C20401SS1	100W	3000	1:50	Ei
2	Kandiku ettevedaja (ajam, mis toob kandiku laadurile).	Delta ECM- B3L- C20401SS1	100W	3000	1:14	Jah
3	Lift (ajam mis liigutab laadurit üles ja alla).	Delta ECM- B3L- C20602SS1	200W	3000	1:18	Jah
4	Uks (ajam, mis tõstab ust üles ja alla).	Delta ECM- B3L- C20401SS1	100W	3000	1:14	jah
5	Etteandja (ajam, mis liigutab masti ette ja taha).	Delta ECM- B3L- C20401SS1	100W	3000	1:14	Ei

Tabel 6. ZGC 42DMW61-2430-i4.9 ja Delta ajamite võrdlus

Telg		42DMW61-2430-i4.9		Kommentaar
Positisioneer	Pöörded	ZGC 615 RPM	Delta 304 RPM	Sobib osaliselt, sest maksimaalne vääne on vähesel määral väiksem kui praegusel.
	Max Nm	ZGC 1,5 Nm	Delta 1,7 Nm	
	Avg Nm	ZGC 0,55 Nm	Delta 0,2 Nm	
Kandiku ettevõtja	Pöörded	ZGC 615 RPM	Delta 60,1 RPM	Ei sobi, sest maksimaalne vääne on eelneva mootoriga võrreldes liiga väike.
	Max Nm	ZGC 1,5 Nm	Delta 4,1 Nm	
	Avg Nm	ZGC 0,55 Nm	Delta 0,2 Nm	
Lift	Pöörded	ZGC 615 RPM	Delta 303 RPM	Ei sobi, sest ZGC mootor jääb väände osas liiga alla olemasolevale.
	Max Nm	ZGC 1,5 Nm	Delta 7,9 Nm	
	Avg Nm	ZGC 0,55 Nm	Delta 3,2 Nm	
Uks	Pöörded	ZGC 615 RPM	Delta 174 RPM	Sobib osaliselt, sest maksimaalne vääne on ZGC mootoril väiksem kui Deltal.
	Max Nm	ZGC 1,5 Nm	Delta 2,2Nm	
	Avg Nm	ZGC 0,55 Nm	Delta 0,2 Nm	
Etteandja	Pöörded	ZGC 615 RPM	Delta 337 RPM	Sobib, sest valitud parameetrid ületavad või on sarnased vanadega.
	Max Nm	ZGC 1,5 Nm	Delta 1,5 Nm	
	Avg Nm	ZGC 0,55 Nm	Delta 0,2 Nm	

Tabel 7. ZGC 42DMWR69-2430-i5,18 ja Delta ajamite võrdlus

Telg		42DMWR69-2430-i5,18		Kommentaar
Positsioneer	Pöörded	ZGC 579 RPM	Delta 304 RPM	Sobib, sest uus mootor ületab kõiki parameetreid.
	Max Nm	ZGC 2,1 Nm	Delta 1,7 Nm	
	Avg Nm	ZGC 0,63 Nm	Delta 0,2 Nm	
Kandiku ettevõtja	Pöörded	ZGC 579 RPM	Delta 60,1 RPM	Ei sobi, sest maksimaalne vääne on väiksem
	Max Nm	ZGC 2,1 Nm	Delta 4,1 Nm	
	Avg Nm	ZGC 0,63 Nm	Delta 0,2 Nm	
Lift	Pöörded	ZGC 579 RPM	Delta 303 RPM	Ei sobi, sest maksimaalne ja keskmine vääne on liiga väike
	Max Nm	ZGC 2,1 Nm	Delta 7,9 Nm	
	Avg Nm	ZGC 0,63 Nm	Delta 3,2 Nm	
Uks	Pöörded	ZGC 579 RPM	Delta 174 RPM	Sobib, sest maksimaalne vääne on vanaga võrreldes sarnane.
	Max Nm	ZGC 2,1 Nm	Delta 2,2 Nm	
	Avg Nm	ZGC 0,63 Nm	Delta 0,2 Nm	
Etteandja	Pöörded	ZGC 579 RPM	Delta 337 RPM	Sobib, sest mootor ületab kõiki parameetreid.
	Max Nm	ZGC 2,1 Nm	Delta 1,5 Nm	
	Avg Nm	ZGC 0,63 Nm	Delta 0,2 Nm	

Tabel 8. ZGC 42DMWR69-2430-i14 ja Delta ajamite võrdlus

Telg		42DMWR69-2430-i14		Kommentaar
Positsioneer	Pöörded	ZGC 214 RPM	Delta 304 RPM	Sobib osaliselt, sest pöörlemiskiirus on Deltaga võrreldes aeglasem.
	Max Nm	ZGC 5,6 Nm	Delta 1,7 Nm	
	Avg Nm	ZGC 1,5 Nm	Delta 0,2 Nm	
Kandiku ettevõtja	Pöörded	ZGC 214 RPM	Delta 60,1 RPM	Sobib, sest ületab kõiki parameetreid.
	Max Nm	ZGC 5,6 Nm	Delta 4,1 Nm	
	Avg Nm	ZGC 1,5 Nm	Delta 0,2 Nm	
Lift	Pöörded	ZGC 214 RPM	Delta 303 RPM	Ei sobi, sest pöörlemiskiirus ja keskmine vääne on liiga madalad.
	Max Nm	ZGC 5,6 Nm	Delta 7,9 Nm	
	Avg Nm	ZGC 1,5 Nm	Delta 3,2 Nm	
Uks	Pöörded	ZGC 214 RPM	Delta 174 RPM	Sobib, sest ületab kõiki parameetreid.
	Max Nm	ZGC 5,6 Nm	Delta 2,2Nm	
	Avg Nm	ZGC 1,5 Nm	Delta 0,2 Nm	
Etteandja	Pöörded	ZGC 214 RPM	Delta 337 RPM	Sobib osaliselt, sest pöörlemiskiirus on Deltaga võrreldes aeglasem.
	Max Nm	ZGC 5,6 Nm	Delta 1,5 Nm	
	Avg Nm	ZGC 1,5 Nm	Delta 0,2 Nm	

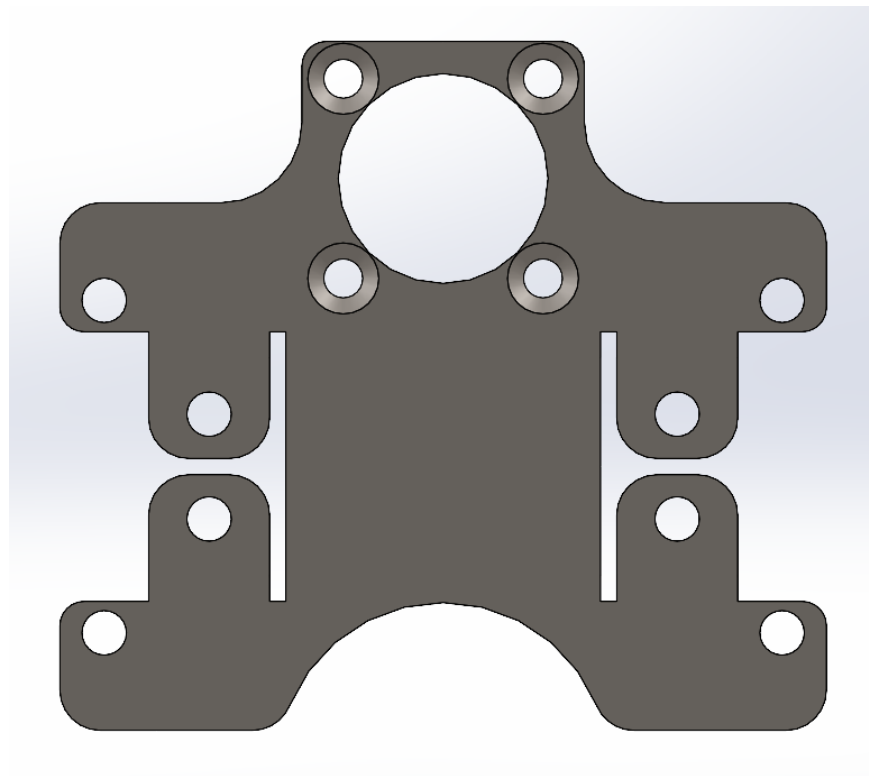
Tabel 9. TT GMP36-TEC3650-2440-i51 ja Delta ajamite võrdlus

Telg		GMP36-TEC3650-2440-i51		Kommentaar
Positsioneer	Pöörded	TT 214 RPM	Delta 304 RPM	Ei sobi, sest pöörlemiskiirus on liiga madal.
	Max Nm	TT 5,6 Nm	Delta 1,7 Nm	
	Avg Nm	TT 1,5 Nm	Delta 0,2 Nm	
Kandiku ettevõtja	Pöörded	TT 214 RPM	Delta 60.1 RPM	Sobib, sest ületab kõiki parameetreid.
	Max Nm	TT 5,6 Nm	Delta 4,1 Nm	
	Avg Nm	TT 1,5 Nm	Delta 0,2 Nm	
Lift	Pöörded	TT 214 RPM	Delta 303 RPM	Ei sobi, sest mõlemad väänded ja pöörlemiskiirus on liiga madalad.
	Max Nm	TT 5,6 Nm	Delta 7,9 Nm	
	Avg Nm	TT 1,5 Nm	Delta 3,2 Nm	
Uks	Pöörded	TT 214 RPM	Delta 174 RPM	Ei sobi, sest pöörlemiskiirus on liiga madal.
	Max Nm	TT 5,6 Nm	Delta 2,2Nm	
	Avg Nm	TT 1,5 Nm	Delta 0,2 Nm	
Etteandja	Pöörded	TT 214 RPM	Delta 337 RPM	Ei sobi, sest pöörlemiskiirus on liiga madal.
	Max Nm	TT 5,6 Nm	Delta 1,5 Nm	
	Avg Nm	TT 1,5 Nm	Delta 0,2 Nm	

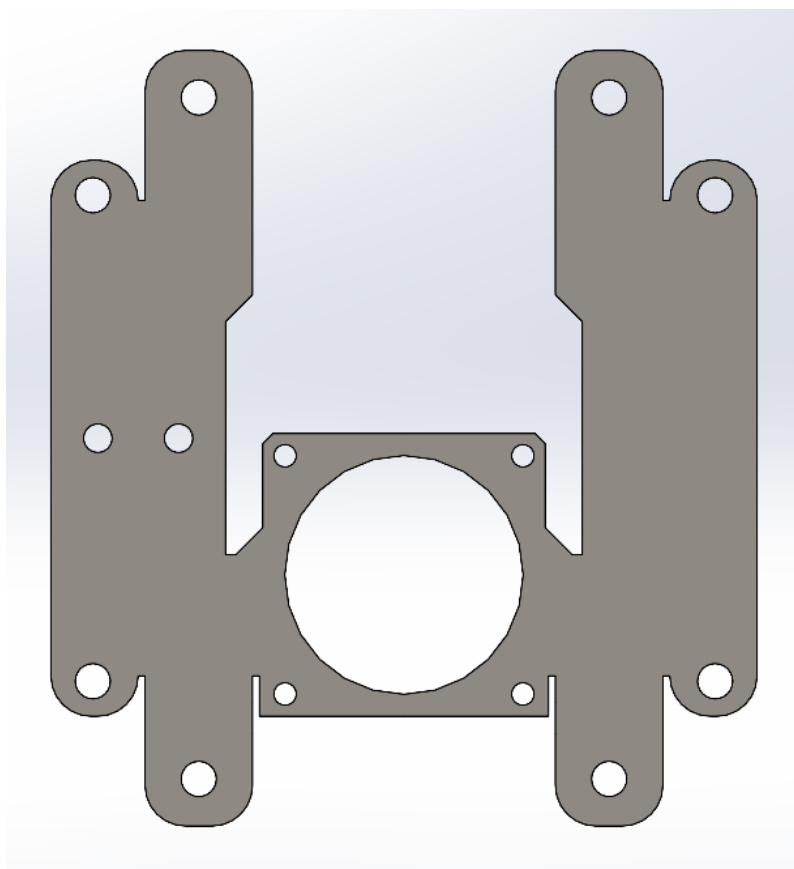
Tabel 10. Tootjate võrdlus

Hinnang kokku	Tootja	Toote hind	Kvaliteet	Tarne	Toote valik
4,25	ZGC	5	5	3	4
4	TT	4	3	3	4
3,25	Nidec	1	5	4	3
2,75	Longway	4	2	2	3
3	Leison	3	2	2	5
3,25	Kag	2	5	4	2

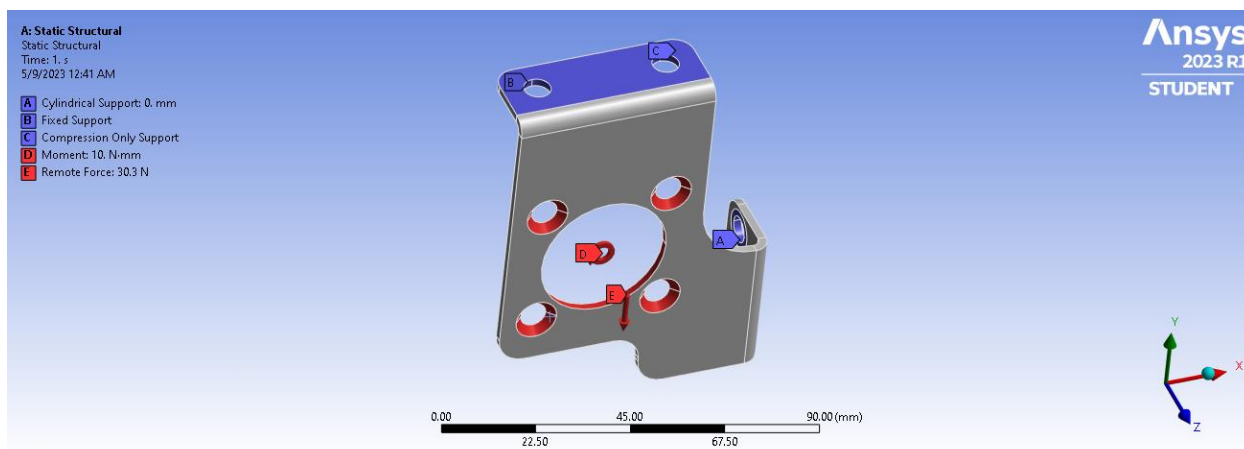
6.2 Pildid



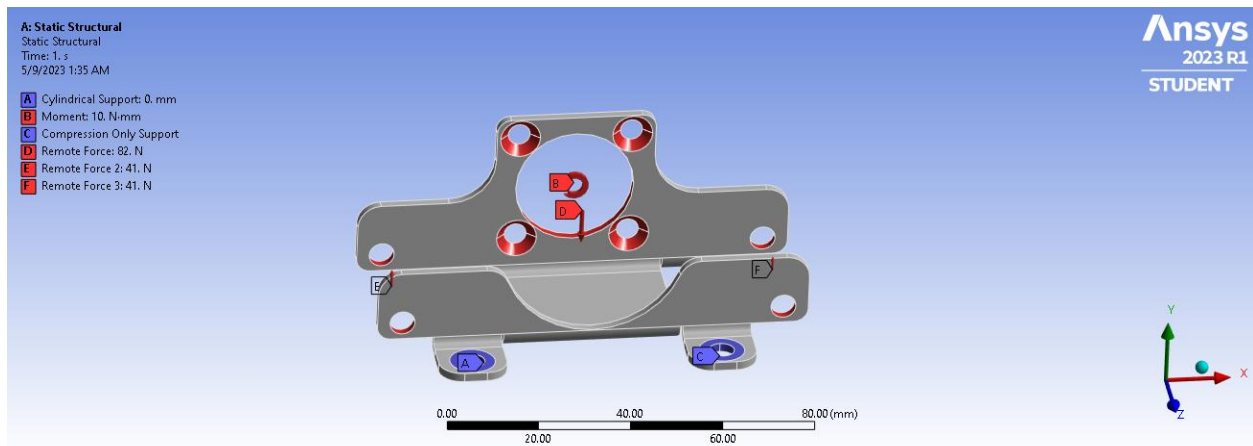
Joonis 16. Rullikutega ajamikinnituse pinnalaotus uus (erakogu)



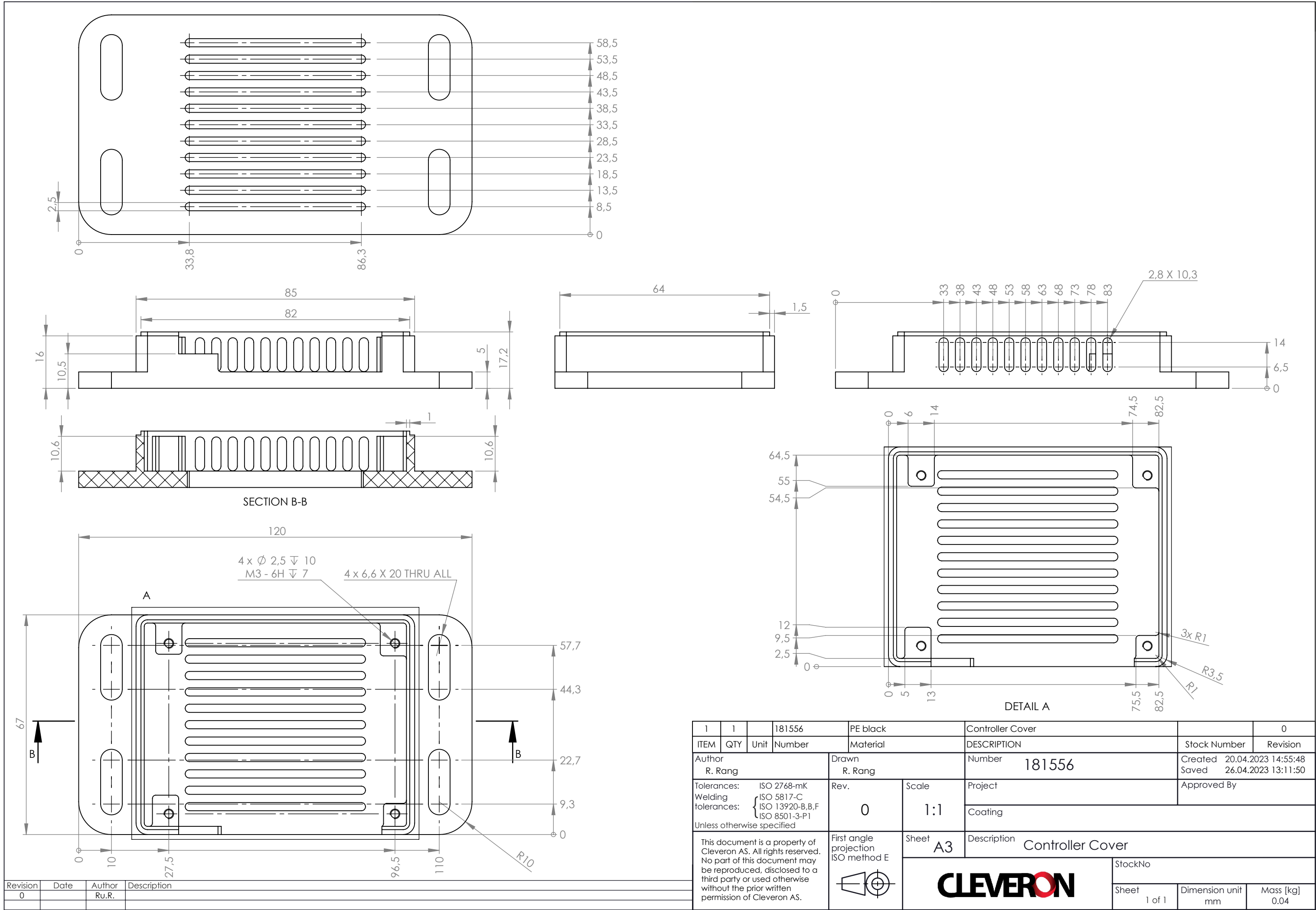
Joonis 17. Rullikutega ajamikinnituse pinnalaotus vana (erakogu)

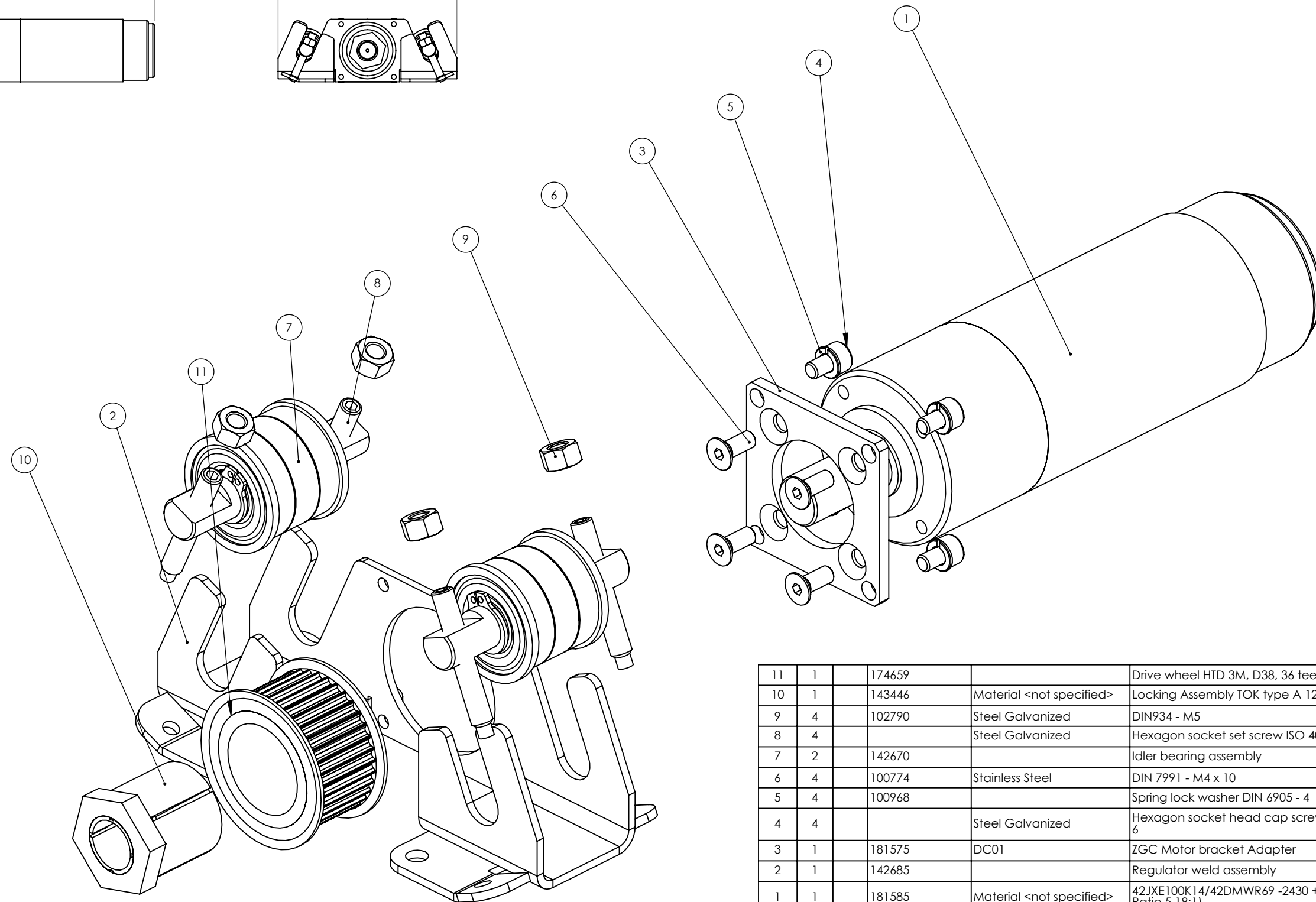
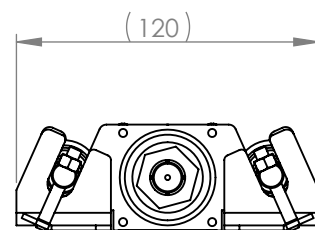
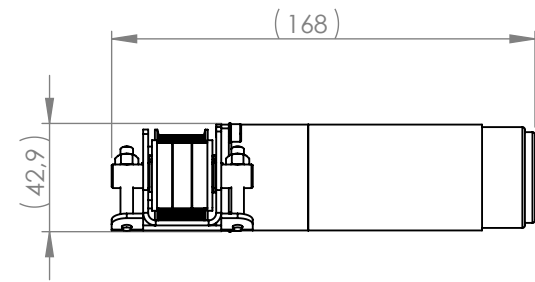


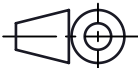
Joonis 18. Klambri simulatsiooni algandmed (erakogu)



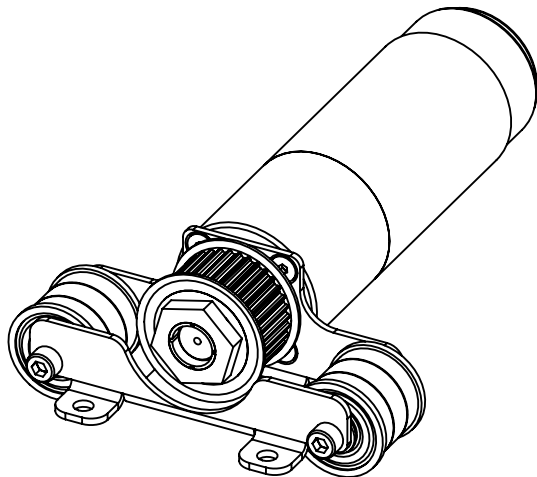
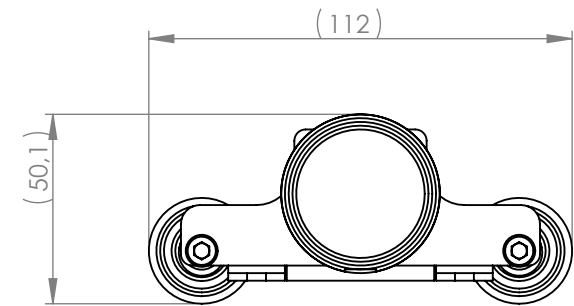
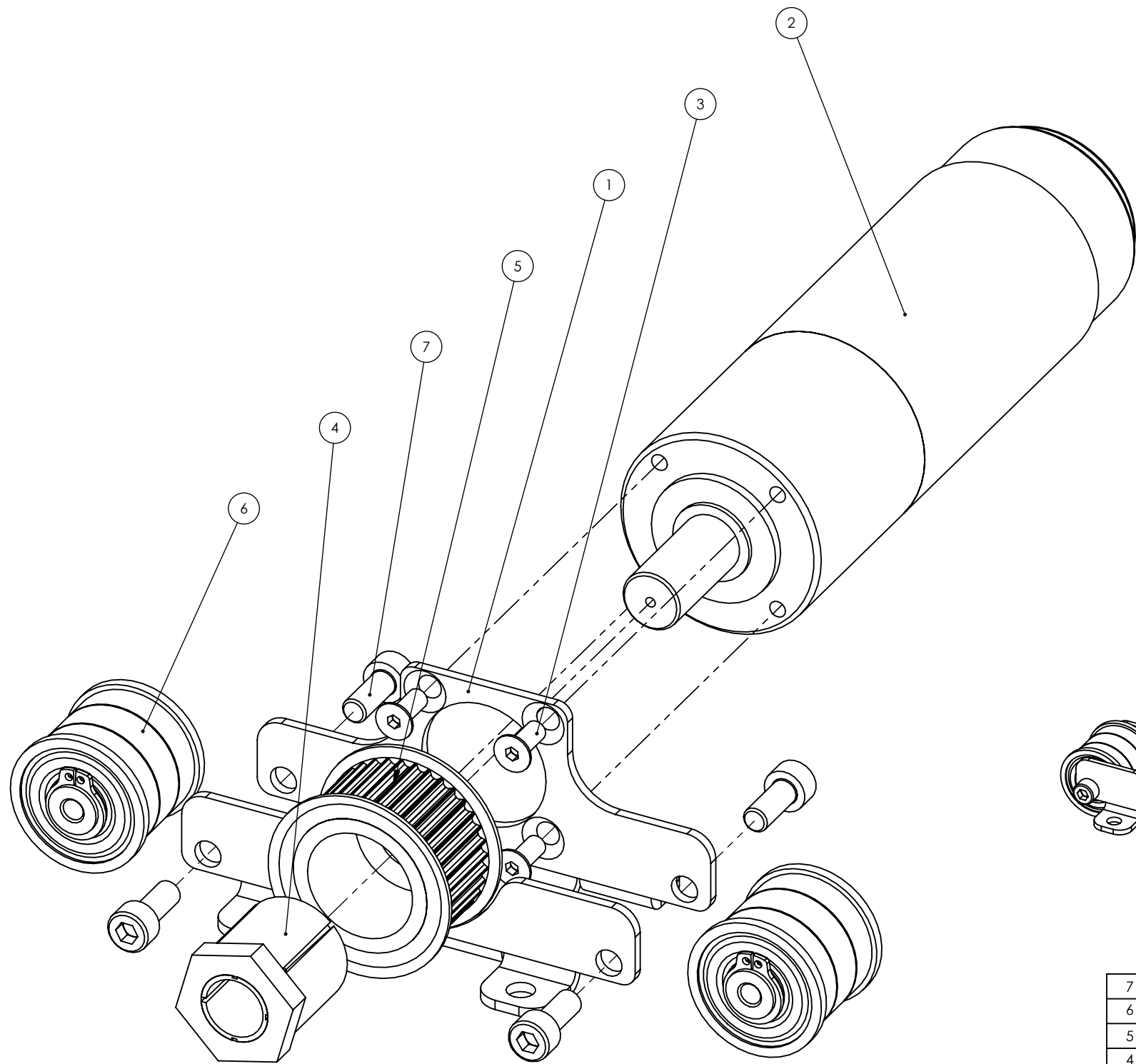
Joonis 19. Klamber rullikutega simulatsiooni algandmed (erakogu)



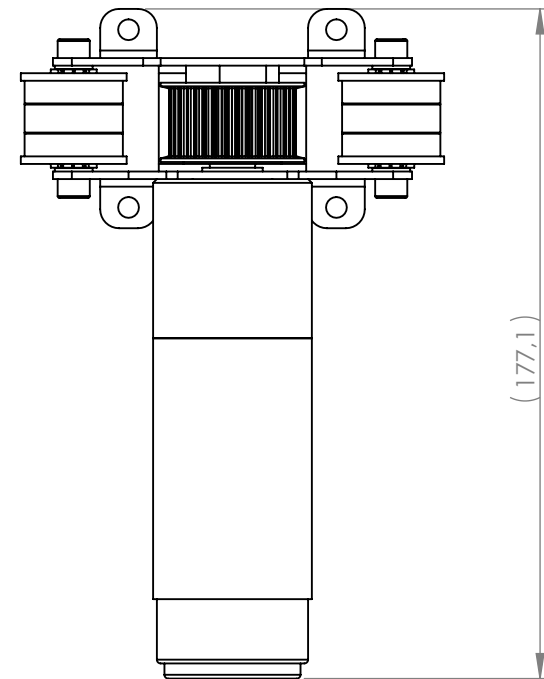


11	1		174659		Drive wheel HTD 3M, D38, 36 teeth 405v2		0
10	1		143446	Material <not specified>	Locking Assembly TOK type A 12	61550312	0
9	4		102790	Steel Galvanized	DIN934 - M5	0317_5	
8	4			Steel Galvanized	Hexagon socket set screw ISO 4028 - M5 x 35		
7	2		142670		Idler bearing assembly		2
6	4		100774	Stainless Steel	DIN 7991 - M4 x 10	0229 4 10	0
5	4		100968		Spring lock washer DIN 6905 - 4	0441_4	
4	4			Steel Galvanized	Hexagon socket head cap screw ISO 4762 - M4 x 6		
3	1		181575	DC01	ZGC Motor bracket Adapter		0
2	1		142685		Regulator weld assembly		1
1	1		181585	Material <not specified>	42JXE100K14/42DMWR69 -2430 + Encoder (Gear Ratio 5,18:1)		0
ITEM	QTY	Unit	Number	Material	DESCRIPTION	Stock Number	Revision
Author R. Rang			Drawn R. Rang		Number 181586	Created 21.04.23 10:51:01 Saved 26.04.23 16:12:35	
Tolerances: ISO 2768-mK Welding ISO 5817-C tolerances: { ISO 13920-B,B,F ISO 8501-3-P1 Unless otherwise specified			Rev. 0	Scale 1:1	Project Coating	Approved By	
This document is a property of Cleveron AS. All rights reserved. No part of this document may be reproduced, disclosed to a third party or used otherwise without the prior written permission of Cleveron AS.			First angle projection ISO method E 	Sheet A3	Description ZGC Motor Bracket Asm With Tensioners		
					StockNo		
					Sheet 1 of 1	Dimension unit mm	Mass [kg] 0.62

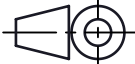
Revision	Date	Author	Description
0		Ru.R.	



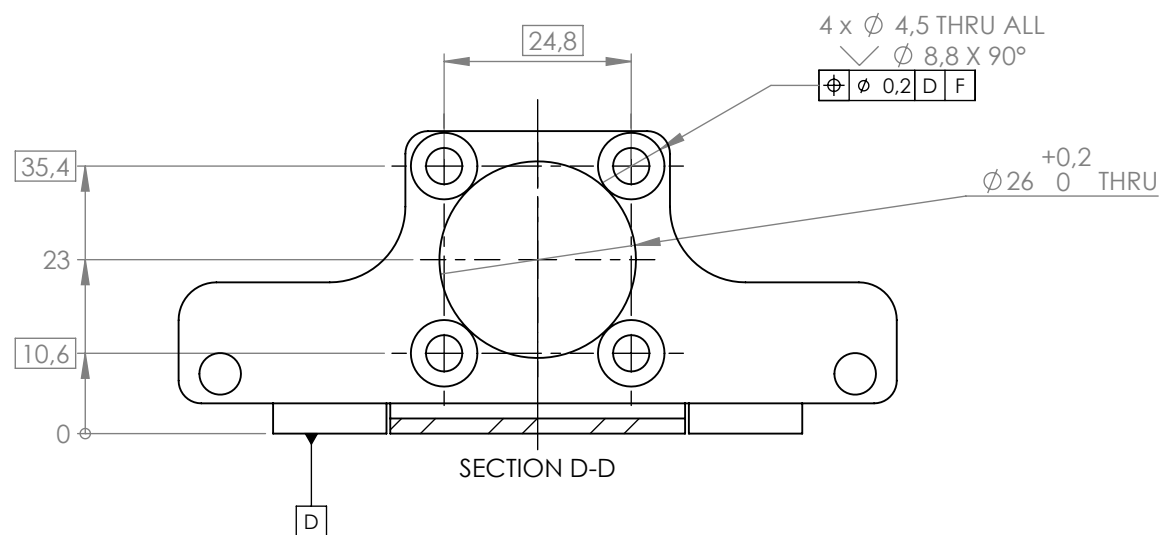
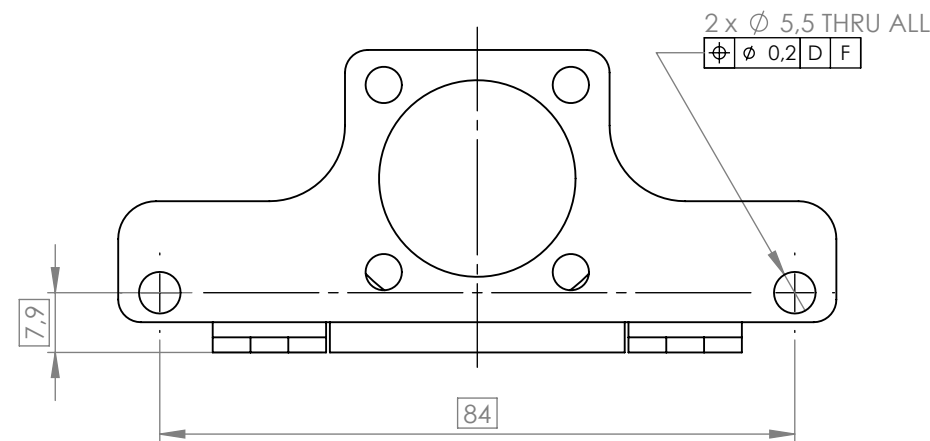
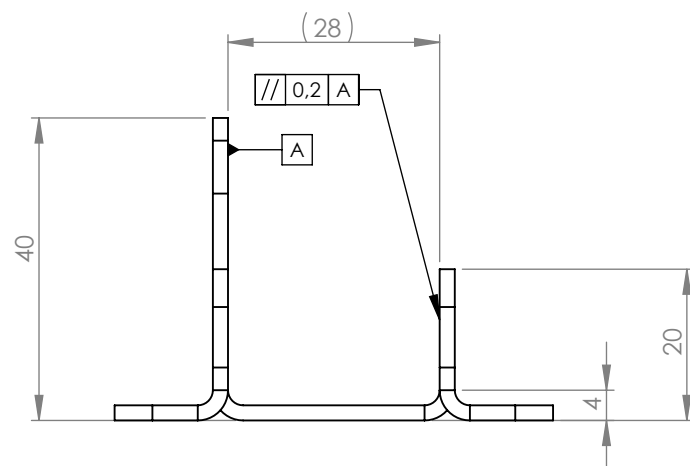
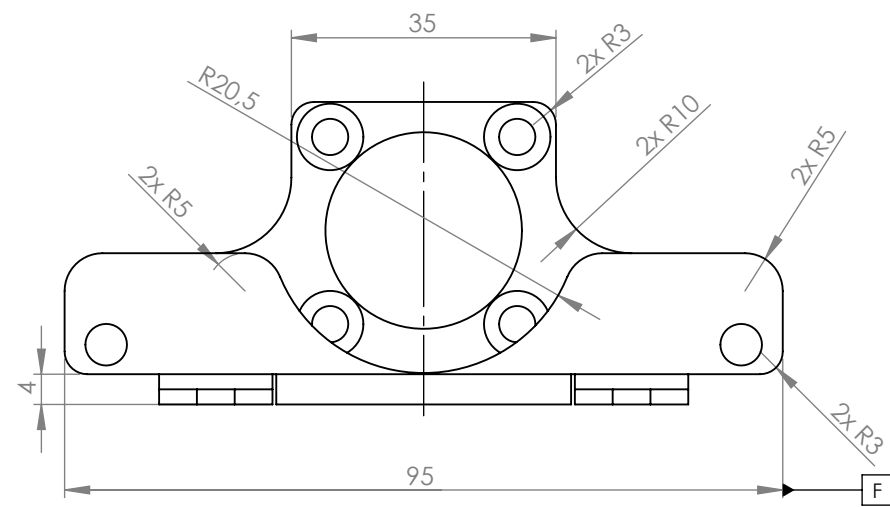
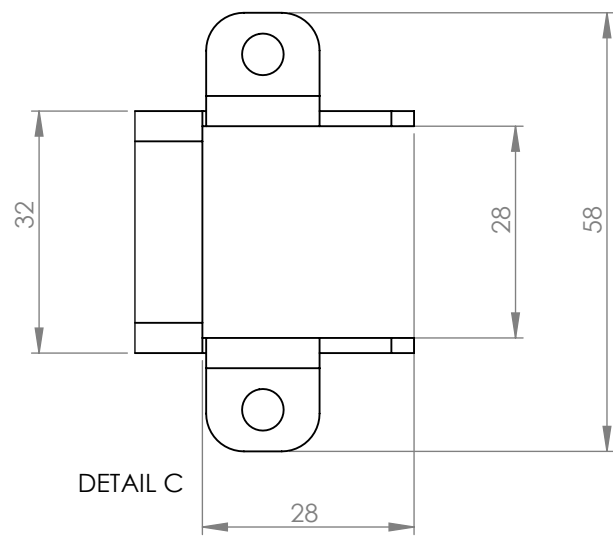
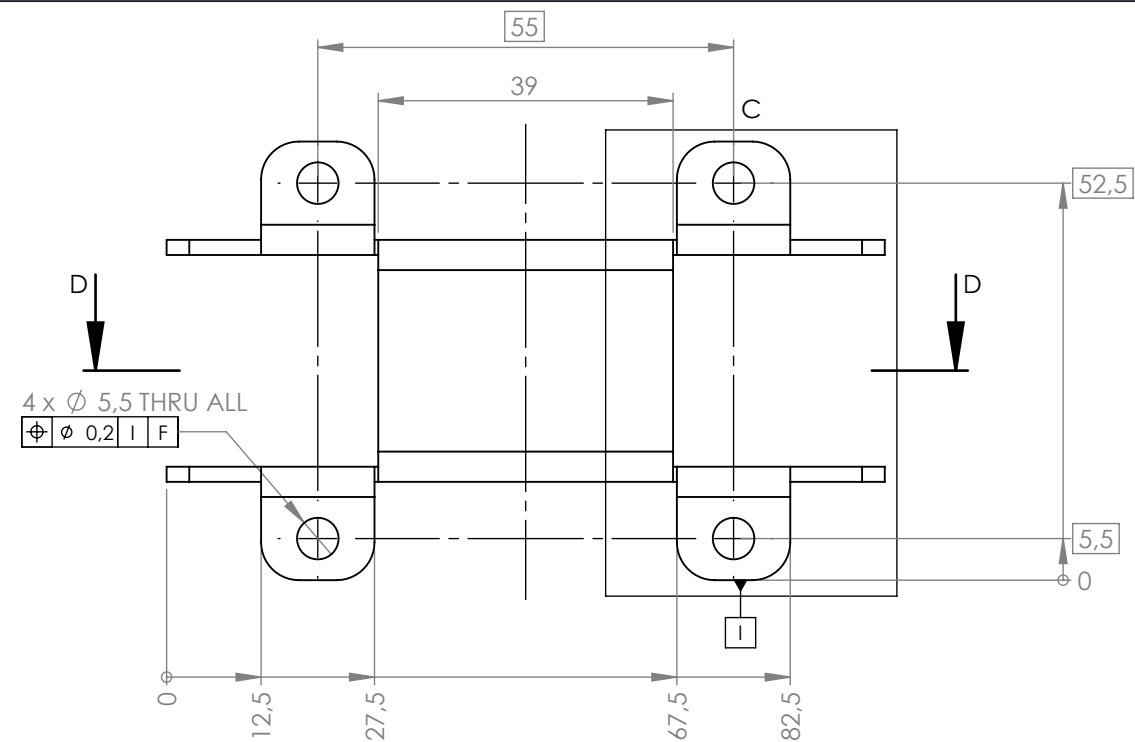
SCALE 1 : 2



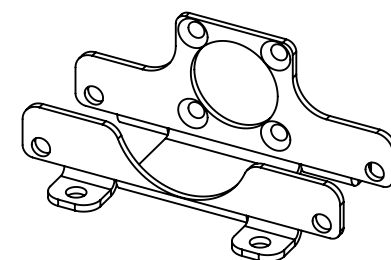
SCALE 1 : 2

7	4		100778	Steel Galvanized	DIN 912 - M5 x 12	0084_5_12	
6	2		142738		Short idler bearing assembly		2
5	1		174659		Drive wheel HTD 3M, D38, 36 teeth 405v2		0
4	1		143446	Material <not specified>	Locking Assembly TOK type A 12	61550312	0
3	4		100774	Stainless Steel	DIN 7991 - M4 x 10	0229 4 10	0
2	1		181572	Material <not specified>	42JXE100K14/42DMWR69 -2430 + Encoder (Gear Ratio 14:1, 19:1)		0
1	1		181675	DC01	Motor Bracket		0
ITEM	QTY	Unit	Number	Material	DESCRIPTION	Stock Number	Revision
Author R. Rang			Drawn R. Rang		Number 181679	Created 26.04.23 14:36:29 Saved 02.05.23 16:57:53	
Tolerances: ISO 2768-mK Welding ISO 5817-C tolerances: { ISO 13920-B,B,F ISO 8501-3-P1 Unless otherwise specified			Rev. 0	Scale 1:1	Project	Approved By	
Coating							
This document is a property of Cleveron AS. All rights reserved. No part of this document may be reproduced, disclosed to a third party or used otherwise without the prior written permission of Cleveron AS.			First angle projection ISO method E 	Sheet A3	Description Motor with Rollers and Bracket		
					Sheet 1 of 1		Dimension unit mm

Revision	Date	Author	Description
0		Ru.R.	



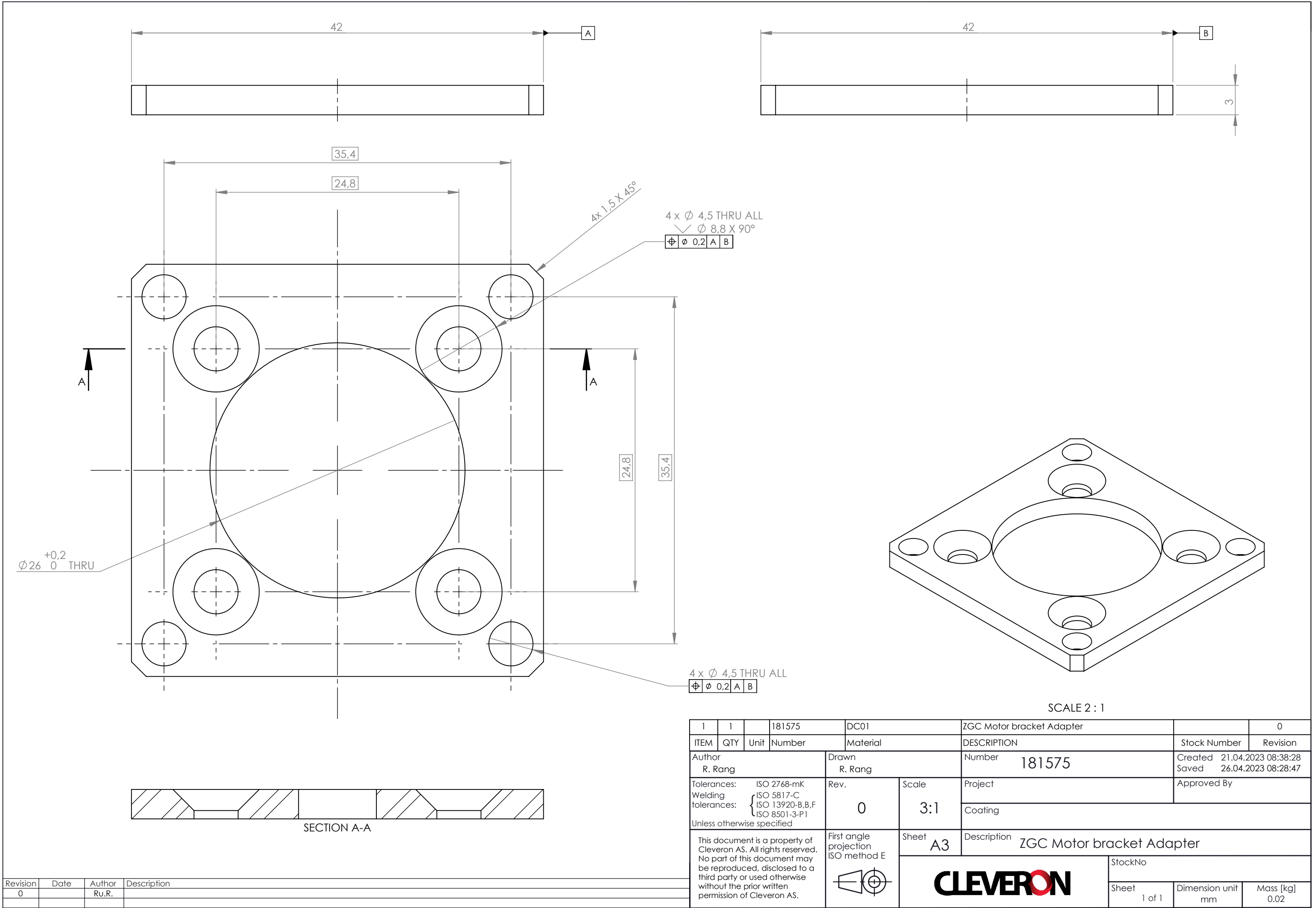
Material Thickness: 2 mm
Bounding Box Length: 95 mm
Bounding Box Width: 85.425 mm
Cutting Length-Outer: 569.579 mm
Cutting Length-Inner: 330.496 mm
Cut Outs: 13
Bends: 6
Bent Allowance: 0.5
Material: DC01
Mass: 0.07 kg
Bend Radius: 2 mm

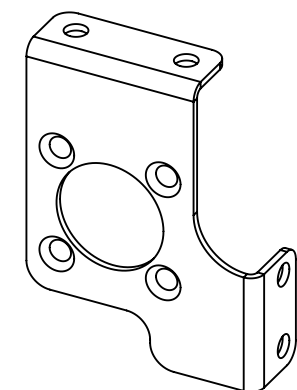
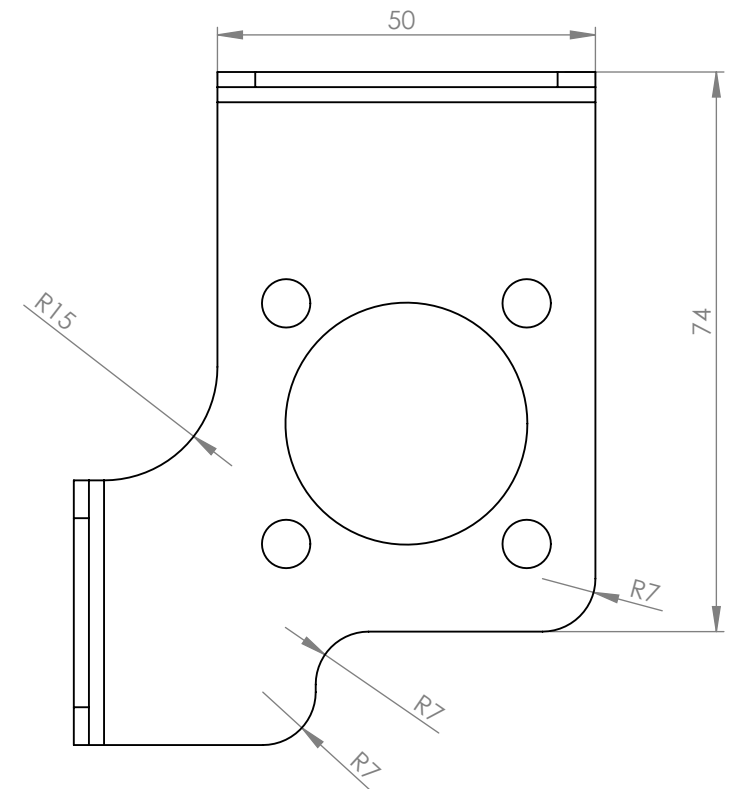
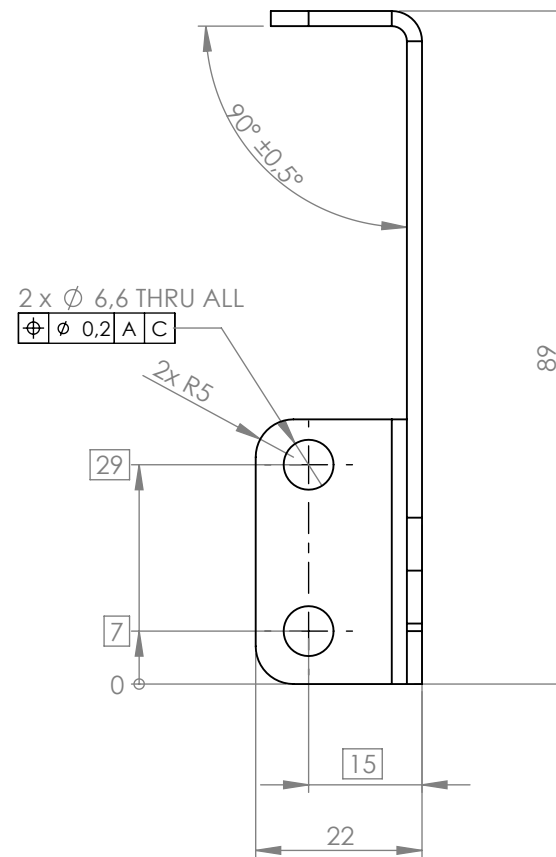


SCALE 1 : 2

Revision	Date	Author	Description
0		Ru.R.	

1	1		181675	DC01	Motor Bracket		0
ITEM	QTY	Unit	Number	Material	DESCRIPTION	Stock Number	Revision
Author		Drawn		Number		Created	
R. Rang		R. Rang		181675		26.04.2023 14:28:19	
Tolerances:		Rev.		Project		Saved	
Welding		0		Coating		04.05.2023 13:52:17	
tolerances:		Scale		Approved By			
ISO 2768-mK		1:1					
ISO 5817-C							
ISO 13920-B,B,F							
ISO 8501-3-P1							
Unless otherwise specified							
This document is a property of Cleveron AS. All rights reserved. No part of this document may be reproduced, disclosed to a third party or used otherwise without the prior written permission of Cleveron AS.		First angle projection ISO method E		Sheet A3		Description Motor Bracket	
						StockNo	
						Sheet 1 of 1	
						Dimension unit mm	
						Mass [kg] 0.07	





Technical drawing of a mechanical part, showing front and side views with dimensions.

Front View Dimensions:

- Total width: 69
- Total height: 20
- Distance from left edge to center of first hole: 8.5
- Distance between centers of two holes: 41.5
- Hole diameter: $\varnothing 6.6$
- Radius of top corners: $2 \times R5$
- Angle of bottom right corner: $90^\circ \pm 0.5^\circ$
- Bottom flange thickness: 12
- Feature C is located at the bottom center.

Side View Dimensions:

- Total height: 22

Additional Information:

- Surface texture symbol: $R_a 0.2$
- Material specification: B C
- Note: 2 x $\varnothing 6.6$ THRU ALL

	1		181731	DC01	Motor Bracket up/down		0	
ITEM	QTY	Unit	Number	Material	DESCRIPTION	Stock Number	Revision	
Author R. Rang			Drawn R. Rang		Number 181731	Created 02.05.2023 11:27:00 Saved 04.05.2023 13:06:21		
Tolerances: ISO 2768-mK Welding ISO 5817-C tolerances: { ISO 13920-B,B,F ISO 8501-3-P1 Unless otherwise specified			Rev. 0	Scale 1:1	Project	Approved By		
Coating RAL 9003 Signal White semi-class 30%								
This document is a property of Cleveron AS. All rights reserved. No part of this document may be reproduced, disclosed to a third party or used otherwise without the prior written permission of Cleveron AS.			First angle projection ISO method E 	Sheet A3	Description Motor Bracket up/down			
					StockNo			
						Sheet 1 of 1	Dimension unit mm	Mass [kg] 0.08

Revision	Date	Author	Description
0		RU.R.	

6.6 Tootekaardid

42JXE100K/42DMWR69

42mm OD Planetary Gearbox,
Permissible Load Range: 1N.m~10N.m



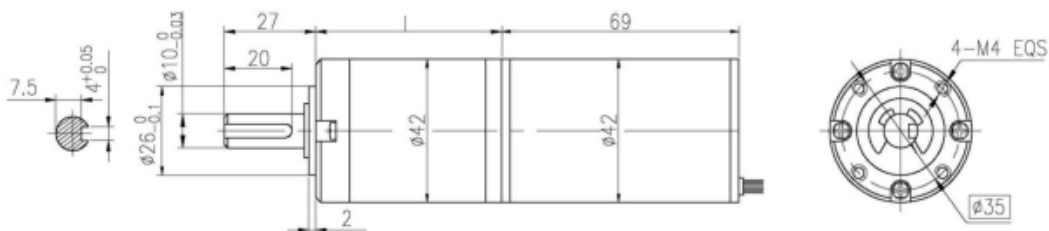
● BRUSHLESS MOTOR SPECIFICATION

TYPE	Number of poles	Number of phase	Rated voltage	No-load speed	Rated speed	Rated torque	Rated power	Peak torque	Peak current
			VDC	r/min	r/min	mN.m	W	mN.m	A
42DMWR69-24 30	8	3	24	4000	3000	135	42	400	6.5

● BRUSHLESS GEAR MOTORSPECIFICATION

Reduction ratio		3.71	5.18	14	19	27	49	59	68	82	96
Number of gear trains		1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
Length(L)	mm	31.5	31.5	42.1	42.1	42.1	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5
No-load speed	r/min	1078	772	286	211	148	82	68	59	49	42
Rated speed	r/min	809	579	214	158	111	61	51	44	37	31
Rated torque	N.m	0.45	0.63	1.5	2.1	3.0	4.8	5.8	6.7	8.1	9.5
Peaktorque	N.m	3	3	12	12	12	25	25	25	25	30

● DIMENSIONS



56JXE300K/57DMW95

56mm OD Planetary Gearbox,
Permissible Load Range: 3N.m~30N.m



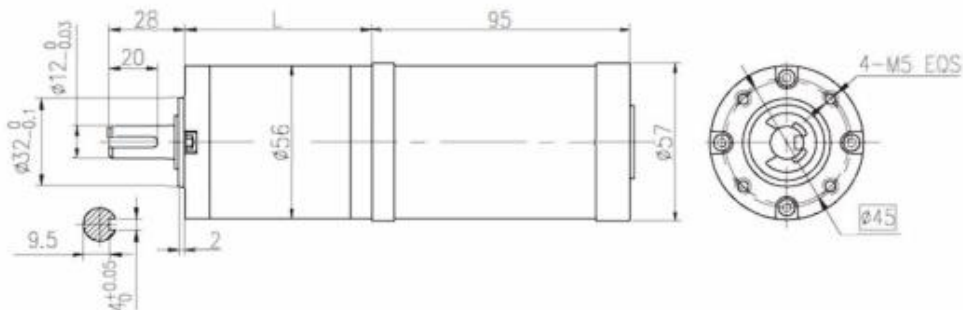
BRUSHLESS MOTOR SPECIFICATION

TYPE	Number of poles	Number of phase	Rated voltage	No-load speed	Rated speed	Rated torque	Rated power	Peak torque	Peak current
			VDC	r/min	r/min	N.m	W	N.m	A
57DMW95-2420	4	3	24	3000	2000	0.32	70	0.96	12

BRUSHLESS GEAR MOTOR SPECIFICATION

Reduction ratio		3.6	4.25	13	15	18	23	47	55	65	77
Number of gear trains		1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
Length(L)	mm	37.8	37.8	49.5	49.5	49.5	49.5	60.8	60.8	60.8	60.8
No-load speed	r/min	833	706	231	200	167	130	64	55	46	39
Rated speed	r/min	556	471	154	133	111	87	43	36	31	26
Rated torque	N.m	1.0	1.2	3.4	3.9	4.7	6.0	11	13	15	18
Peak torque	N.m	9	9	36	36	36	36	72	72	72	72

DIMENSIONS





240W Single Output Industrial DIN RAIL

NDR-240 series

SPECIFICATION

MODEL		NDR-240-24	NDR-240-48
OUTPUT	DC VOLTAGE	24V	48V
	RATED CURRENT	10A	5A
	CURRENT RANGE	0 ~ 10A	0 ~ 5A
	RATED POWER	240W	240W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	150mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	24 ~ 28V	48 ~ 55V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±1.0%	±1.0%
	SETUP, RISE TIME	1500ms, 100ms/230VAC 3000ms, 100ms/115VAC at full load	
	HOLD UP TIME (Typ.)	28ms/230VAC 22ms/115VAC at full load	
INPUT	VOLTAGE RANGE Note.4	90 ~ 264VAC 127 ~ 370VDC	
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz	
	POWER FACTOR (Typ.)	PF>0.98/115VAC, PF>0.95/230VAC at full load	
	EFFICIENCY (Typ.)	88.5%	90%
	AC CURRENT (Typ.)	2.5A/115VAC 1.3A/230VAC	
	INRUSH CURRENT (Typ.)	20A/115VAC 35A/230VAC	
	LEAKAGE CURRENT	<1mA / 240VAC	
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 130% rated output power Protection type : Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed	
	OVER VOLTAGE	29 ~ 33V	56 ~ 65V
		Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover	
	OVER TEMPERATURE	Shut down o/p voltage, recovers automatically after temperature goes down	
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-20 ~ +70°C (Refer to "Derating Curve")	
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 95% RH non-condensing	
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-40 ~ +85°C, 10 ~ 95% RH	
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/°C (0 ~ 50°C)	
	VIBRATION	Component: 10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes; Mounting: Compliance to IEC60068-2-6	
SAFETY & EMC (Note 4)	SAFETY STANDARDS	UL508, TUV EN60950-1 approved	
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC I/P-FG:2KVAC O/P-FG:0.5KVAC	
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG:>100M Ohms / 500VDC / 25°C / 70% RH	
	EMC EMISSION	Compliance to EN55022 (CISPR22), EN61204-3 Class B, EN61000-3-2, -3	
	EMC IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, EN55024, EN61000-6-2 (EN50082-2), EN61204-3, heavy industry level, criteria A	
OTHERS	MTBF	230.2K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)	
	DIMENSION	63*125.2*113.5mm (W*H*D)	
	PACKING	1Kg; 12pcs/13Kg/1.1CUFT	
NOTE		1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uF & 47uF parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation. 4. Derating may be needed under low input voltage. Please check the derating curve for more details. 5. Installation clearances : 40mm on top, 20mm on the bottom, 5mm on the left and right side are recommended when loaded permanently with full power. In case the adjacent device is a heat source, 15mm clearance is recommended. 6. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies." (as available on http://www.meanwell.com)	