



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Instituudi nimetus

**KRUVIKEERAJA OTSIKUTE MAGASINI
ELEKTROMEHAANILISE PROTOTÜÜBI
KONSTRUEERIMINE**

**DESIGN OF AN ELECTROMECHANICAL SCREWDRIVER
BIT MAGAZINE PROTOTYPE**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Peter Šverns
/nimi/

Üliõpilaskood 192040MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, teadur
/nimi, amet/

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.

"26" mai 2021

Autor: Peter Šverns

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja: Toivo Tähemaa

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees: prof Martin Eerme

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Peter Šverns (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Kruvikeeraja otsikute magasinile elektromehaanilise prototüübi konstrueerimine,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Toivo Tähemaa,
(*juhendaja nimi*)

- 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.
-

26 mai 2021 (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Peter Šverns, 192040 MATM
Õppekava, peeriala: Tootearendus ja tootmistehnika, MATM02/18 tootearendus
Juhendaja(d): teadur, Toivo Tähemaa, 509 1918
Konsultant:(nimi, amet)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Kruvikeeraja otsikute magasinilise elektromehaanilise prototüübi konstrueerimine
(inglise keeles) Design of an electromechanical screwdriver bit magazine prototype

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Välja töötada kruvikeeraja otsikue magasinilise elektromehaanilise prototüübi
2. Koostada ISO GPS süsteemi standardite kohased prototüübi koostejoonised ning detailide tööjoonised
3. Leida prototüübil põhineva tingliku toote omahind (väikeseeria tootmise tingimustes)

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tehnilise lähteülesande formuleerimine	01.03.2021
2.	Prototüübi konstrueerimine	30.04.2021
3.	Lahenduse esialgne valideerimine ja muudatuste siiseviimine	10.05.2021
4.	Koostejooniste ja detailide tööjooniste valmistamine	16.05.2021
5.	Prototüübil baseeruva tingliku toote omahinna arvutus	22.05.2021

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: "26." mai 2021a

Üliõpilane: Peter Šverns "26" mai 2021.a
/allkiri/
Juhendaja: Toivo Tähemaa ".....".....20.....a
/allkiri/
Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/
Programmijuht: prof Martin Eerme..... ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1. TURU ANALÜÜS.....	10
1.1. Turul olevad tooted	10
1.2. Mehaaniline otsikute magasin	12
1.3. Elektriline otsikute magasin	14
2. ÜLEVAADE MEHAANILISE MAGASINI ARENDUSEST.....	15
2.1. TL1.X seeria	15
2.1.1. TL1.1	15
2.2. TL2.X seeria	16
2.2.1. TL2.3.....	16
2.2.2. TL2.4.....	18
2.2.3. TL2.5.....	20
2.2.4. TL2.6A/B.....	21
2.2.5. TL2.7.....	24
2.2.6. TL2.8.....	24
2.2.7. TL2.9.....	25
2.2.8. TL2.10	26
2.2.9. TL2.8_P	26
2.3. TL3.X seeria	27
2.3.1. TL3.1	27
2.4. TL4.X seeria	28
2.4.1. TL4.1	28
2.4.2. TL4.2.....	29
3. KONSTRUEERIMINE – LÄHTEÜLESANDE PÜSTITUS	30
3.1. Elektrilise magasin mehaanika konstrueerimine.....	31
3.1.1. Elektrilise magasin kontseptuaalne mudel.....	33
3.1.2. Täituri valik	34
3.1.3. Täituri ja koonusdetaili sõlm	36
3.1.4. Vedaja kinnituskruvide kinnituse momendi määramine	37
3.1.5. Otsiku sisestamise registreerimine.....	40
3.1.6. Koonusdetaili ülemise piirasendi registreerimine.....	43
3.1.7. Koonusdetaili alumise piirasendi registreerimine.....	44
3.1.8. Konstruksioonis kasutatud materjalide ülevaade	45
3.2. Magasini elektriosa	46
3.2.1. Halli andurite kaugus otsiku tõukuritest	47
3.2.2. Magasini mootori energiatarbe arvutus	49
3.3. Magasini kontrolleri programmeerimine.....	54
4. MAJANDUSLIK OSA.....	56
4.1. Valmistatavate detailide ja ostutoodete maksumus.....	56
4.2. Toote koostamine ja omahind	59
KOKKUVÕTE	60
SUMMARY.....	62
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	64
LISAD	67

Lisa 1. Otsiku adapterist eemaldamiseks vajaliku jõu katseline määramine	68
Lisa 2. Elektrilise magasinini prototüübi elektriskeem	69
Lisa 3. Elektrilise magasinini prototüübi juhtprogramm	70
Lisa 4. Koostejoonised ja detailide tööjoonised	72

EESSÕNA

Magistritöö teema:

Kruvikeeraja otsikute magasinini elektromehaanilise prototüübi konstrueerimine

Autor: Peter Šverns

Juhendaja: Toivo Tähemaa

Käesolevas magistritöös konstrueeriti kruvikeeraja otsikute magasinini elektromehaaniline prototüüp. Kruvikeeraja otsikute magasin on uudne ehitustarvik, mis võimaldab kruvikeeraja otsikute hoiustamist ning nende kiiret ja mugavat vahetust selleks sõrmi kasutamata. Konstrueeritud prototüüp on autori poolt eelnevalt loodud mehaanilise otsikute magasinini edasiarendus. Otsikute magazine arendab, toodab ja turustab autoriga seotud ettevõtte Nelepet OÜ.

Töö esimeses osas avati valdkonna tausta ja tutvustati lähemalt mehaanilist otsikute magasinini. Järgnevalt anti ülevaade mehaanilise magasinini tootearendusprotsessist ning kirjeldati lühidalt selle käigus loodud prototüüpe ja modifikatsioone.

Elektrilise magasinini konstrueerimise osas käsitleti eraldi mehaanika konstrueerimist, elektrisüsteemi kavandamist ning juhtprogrammi loomist. Ühtlasi koostati välja töötatud prototüübi koostejoonised ja detailide tööjoonised. Kõik joonised vormistati, mõõtt-mestati ja tolereeriti vastavalt ISO GPS süsteemi standarditele.

Töö majanduslikus osas leiti otseselt prototüübil baseeruva toote omahind eeldades, et valmistatava partii suurus oleks 500 toodet.

Magistritöös koostatud projekti alusel valmistatakse füüsiline prototüüp ning sellega viiakse läbi erinevad katsetused ning analüüsid. Kui katsetuste tulemused on positiivsed, liigutakse arendusega edasi saritoodetava toote suunas.

Magistritöö autor tänab töö juhendajat Toivo Tähemaad ning nõu ja abi eest Vahur Maaski, Joel Tammetit, Maili Tannenbergi ning Otis Švernsi.

Märksõnad:

mehaaniline otsikute magasin, elektriline otsikute magasin, elektriline täitur, tootearendus, ISO GPS süsteem, magistritöö

SISSEJUHATUS

Käesolevas lõputöös konstrueeriti uudne elektromehaaniline kruvikeeraja otsikute vahetamise seade – elektriline kruvikeeraja otsikute magasin. Tegemist on seadmega, mis võimaldab mugavat kruvikeeraja otsikute vahetamist statsionaarsel töökohal. Elektriline otsikute magasin on autori poolt eelnevalt konstrueeritud mehaanilise otsikute magasinini edasiarendus. Mehaanilisi otsikute magasinine arendab, toodab ja turustab magistritöö autoriga seotud ettevõtte Nelepet OÜ.

Tänapäeval kasutatakse ehitustööl suurt hulka erineva pikkuse, läbimõõdu ja keermeprofiiliga ning erinevatest materjalidest kinnituskruve. Sellest tulenevalt on kasutusel ka lai nomenklatuur kruvi pea tüüpe ja vastavaid kruvikeeraja otsikuid (PZ, PH, TORX, HEX, SL, SQ jne.) [1]. Nimetatud tüübid jagunevad omakorda erinevateks suurusteks, näiteks TORX 6, 8, 10, 15, 20, 25 jne. Kasutaja jaoks, eriti ehitustööl, tähendab see paratamatult pidevat kruvikeeraja otsikute vahetamist. Mõningate tööde puhul tuleb tööpäeva jooksul sooritada 300..400 otsikuvahetust. Lisaks, kuna kruvikeeraja otsikud on mõõtmelt väikesed, kipuvad need ehitusobjekti tingimustes ka üsna lihtsasti kaduma.

Turul on saadaval väga suur hulk erinevaid kruvikeeraja otsikute hoiustamiseks mõeldud tooteid. Tegemist on reeglina kas plastmassist kaanega suletavate karpidega, mis kergesti purunevad, või kummist hoidikutega, kus otsik püsib pesas hõõrdejõu toimel. Mõlema versiooni puhul võib otsiku eemaldamine oma pesast nõuda märkmisväärset jõudu ja olla ergonoomiselt ebamugav. Otsikute magasin erineb kirjeldatud toodetest sellepolest, et ühendab endas otsikute hoiustamise ning vahetamise, võimaldades otsikute kiiret ja mugavat vahetamist selleks sõrmi kasutamata.

Antud töö aluseks olev mehaaniline otsikute magasin on käes hoitav tööriist, mis on mõeldud kasutamiseks ehitusobjekti tingimustes. Otsiku vahetamise protsess eeldab kasutaja poolt haaramisnupu vajutamist. Magistritöös arendatav toode töötab aga automaatselt ning haaramismehhanismi käitab elektriline täitur.

Kuna turul analoogset lahendust hetkel saadaval ei ole, püstitati lõputöö käigus peamiste nõuete raamistik, millele konstrueeritud prototüüp ja ühtlasi sellel baseeruv toode peaks vastama.

Lõputöö kirjalik osa hõlmab endas järgnevaid põhilisi etappe:

- turu analüüs ning kruvikeeraja otsikute magasinini tutvustus;
- ülevaade mehaanilise otsikute magasinini arendusest;

- elektrilise magasinini prototüübi konstrueerimine (mehaanika, elektroonika ja juhtprogramm);
- prototüübil baseeruva tinglikue toote omahinna arvutus.

Prototüübi praktilist valmistamist alustati paralleelselt magistr töö kirjutamisega ning eeldatavasti, kui ei teki suuremaid probleeme ostutoodete tarnetega, valmib see magistr tööde kaitsmise ajaks.

Konstrueeritud prototüüp võimaldab uurida mitut erinevat suunda. Esimeses järgus:

- kuivõrd funktsionaalne ja ergonoomiline on poolautomaatne otsikute vahetuse protsess statsionaarsel töökohal (töökoda, garaaž, tootmisjaoskond jne);
- kuidas talitleb ja kuivõrd töökindel on välja töötatud elektriline haarats-mehhanism;
- kas elektriline täitur tõstab magasinini kasutusmugavust (võrreldes mehaanilise analoogiga).

Hilisemalt:

- millisel määral oleks võimalik elektrilise magasinini konstruktsiooni optimeerida, et saavutada võimalikult madala omahinnaga, kuid funktsionaalselt nõutud moel töötav ja etteantud parameetritele vastav toode;
- kas elektrilise magasinini konstruktsiooni on võimalik muuta nii palju kompaktsmaks, et sellest saaks omakorda edasiarendada kaasaskantava versiooni?

Kui magistr töös konstrueeritud elektrilise magasinini prototüübi hilisem edasiarendus osutub töökindlaks ning kasutajasõbralikuks, on ettevõttel plaanis seda toota ning turustada olemasolevate mehaaniliste toodetega paralleelselt.

1. TURU ANALÜÜS

1.1. Turul olevad tooted

Kruvikeeraja otsikute haldus paistab olevat üks kitsas nišš, mis on jäänud suurte tööriista tootjate fookusest teataval määral välja. Kuigi turul on saadaval väga suur hulk erinevaid tooteid otsikute hoiustamiseks, siis jääb mulje, et rõhk on asetatud rohkem kvantiteedile ning vähem kvaliteedile. Põhiliselt jagunevad saadaolevad tooted kahte tüüpi lahendusteks: kaanega suletavad karbid (sele 1.1) ning elastomeerist hoidikud, kus otsik püsib oma pesas hõõrdejõu toimele. Need hoidikud on mõeldud kandmiseks kas tööriiete taskus või vööl. Otsiku vahetamiseks tuleb kasutatud otsik kõigepealt sõrmedega eemaldada adapterist ja asetada hoidikusse ning seejärel võtta sõrmedega hoidikust uus otsik ja asetada see kruvikeeraja adapterisse. Enamasti nõuab vahetus kahe käe kasutamist. Tööde puhul, kus otsikuid tuleb vahetada 300..400 korda päevas, muutub see tegevus töömehe jaoks tülikaks ning kokkuvõttes ka aeganõudvaks. Tihti kasutatakse otsikute vahetamise vältimiseks paralleelselt kahte või kolme aku-kruvikeerajat.



Sele 1.1 Näiteid turul olevatest otsikute hoidikutest [2]

Hetkel turul pakutavatest lahendustest kõige paremateks tuleb pidada Šveitsi väikeettevõtte BitPass samanimelist toodet [3] ning Rootsi ettevõtte Ulven toodet BitMag [4] (sele 1.2).

BitPass toote puhul hoiustatakse otsikuid elastomeerist lõhikuga pesades, mille põhjas asub magnet. Otsiku pesasse sisestamine on lihtsustatud, kuna pesa seinte ja otsikute vahel on lõtk ning otsik tõmmatakse pesa pesa põhjas oleva magneti abil. Otsik sisestatakse pesasse saba, ehk kuuskant-osa ees ning tööosa jääb pesast välja – nii on

võimalik otsikuid visuaalselt eristada. Otsiku väljavõtmiseks saab otsikut 90 kraadi lõhikusse keerata ja selliselt on seda mugavam sõrmedega haarata. Nii saab otsiku pesast kätte ka ühe käega. Hoidik koosneb kuuest järjestiku paiknevast pesast, mis asetsevad elastse kummirihma küljes. Hoidiku saab kinnitada näiteks käsivarrele, pükste vööle või ka otse akutrelli külge. Toote hinnaks on ca 30 eurot, mis on 2..5 korda kallim suurtootjate konkureerivatest toodetest.



Sele 1.2 PitPass (vasakul) ja BitMag (paremal)

BitMag kujutab endast viie pesaga magnethoidikut, mis kinnitatakse statsionaarselt akutrelli või akukruvikeeraja külge. Kinnitamiseks saab kasutada enamikes seda tüüpi tööriistades olevat riputusklambri M4 keermega ava (riputusklambri avad on mõlemal pool trelli ja seetõttu on üks ava alati vaba). Statsionaarselt tööriista küljes olev hoidik muudab otsikute vahetamise küllaltki mugavaks ja ergonomiliseks, kuid piiratud ruumi tingimustes võib hoidik ise takistada trelli ligipääsu ja liikumisvabadust. Otsikud sisestatakse pesa kuuskant-osa ees. Pesad ei ole märgistatud ning otsikute eristamine on võimalik visuaalselt tööosa järgi.

Lisaks eespool kirjeldatud toodetele on mõned elektritööriistade tootjad (nt Bosch, Worx) toonud turule akukruvikeerajad, kus otsikute vahetussüsteem on tööriista korpusesse integreeritud (sele 1.3). Otsikud paiknevad tööriista sees olevas trumlis. Trelli peal olevat kelku tõmmates keerab trummel ühe positsiooni võrra edasi. Laadimaks adapterisse endale vajaliku otsikut, peab kasutaja kelku tõmbama nii kaua, kuni õige pesa ette keerab. Otsiku trummel on läbipaistev ning seega on võimalik näha, kus vajalik otsik asub. Praktikas leiavad sellised tööriistad kasutust pigem hobikasutajate käes ja on üldiselt vähelevinud. Põhjuseks on nende vähene võimsus, madalam töökindlus, suhteliselt kõrge hind, löögifunktsiooni puudumine ning kohmakas disain. Väga oluliseks puuduseks on ka asjaolu, et vahetussüsteemi ei saa kasutada koos pikendusadapteriga.



Sele 1.3 Tootja Worx sisseehitatud otsikute vahetussüsteemiga akukruvikeeraja [5]

1.2. Mehaaniline otsikute magasin

Käesoleva töö autori poolt loodud ning patenteerimisel olev mehaaniline kruvikeeraja otsikute magasin (sele 1.4) on uudne ehitustarvik, mis ühendab kruvikeeraja otsikute hoiustamise ning vahetamise. Põhiline erinevus turul olevatest lahendustest seisneb selles, et kui olemasolevad tooted on sisuliselt erineva lahenduse ja kujundusega hoidikud, kuhu kasutaja peab ise sõrmedega otsikuid sisestama või sealt välja võtma, siis magasin võimaldab lisaks hoiustamisele ka otsikute vahetamist selleks sõrmi kasutamata.



Sele 1.4 Akukruvikeeraja otsikute magasin (autori pilt). Paremal näha selgelt märgistatud ja tüübiti grupeeritud otsikute pesad

Magasini on kümme hästiloetavalt markeeritud pesa ehk korraga on võimalik hoiustada kümme erinevat otsikut. Pesad on grupeeritud vastavalt otsiku tüübile värvikoodidega. Otsikute vahetamiseks tuleb akukruvikeeraja magnetadapteris olev (kasutatud) otsik sisestada magasinini tühja pesasse, suruda magasinil olevat haaramisnuppu ja tühi

magnetadapter pesast välja tõmmata. Uue otsiku võtmiseks tuleb tühi magnetadapter sisestada vastavasse pesa, misjärel otsik magnetjõu toimele magnetadapterisse liigub, ja adapter koos otsikuga pesast välja tõmmata. Tänu vastavatele stopperkeeltele püsivad otsikud pesades igas asendis ning ka siis, kui magasin kogemata maha pillatakse.

Lühidalt on magasin kasutamise peamised eelised järgmised:

- otsikute vahetamisel ei pea kasutama sõrmi;
- otsikute vahetamise protsess on kiire ja mugav;
- otsikute vahetamiseks ei pea akutrelli kordagi käest ära panema;
- otsikute vahetamist ei sega paksude töökinnaste kandmine (välitingimustes);
- adapterisse kinnikiilunud otsikute kätte saamine on lihtsustatud (mehaaniline haarats võimaldab otsikut vabastada paremini kui sõrmede kasutamine).

Magasini saab kasutada DIN 3126-C6.3 (ISO 1173) standardi [6] 25 mm pikkuseid otsikuid koos vastava magnetadapteriga. Tegemist on Eesti ehituspoodides laialt levinud otsikute tüübiga, mida reeglina pakitakse kaasa ka kruvikarpidesse. Näide vastava standardi otsikust ning magnetadapterist on seel 1.5.



Sele 1.5 Ristpea PH2 otsik ning magnetadapter tootjalt Makita [7]

Magasini eelised tavapärase hoidikute ees tulevad eriti hästi esile töötades katustel, tellingutel, redelitel või muudes keerulistes või piiratud ruumiga tingimustes. Seal on tööriistade käest panemine või töökinnaste käest ära võtmine otsikute vahetamiseks reeglina kas komplitseeritud või kohati kaastöölisele isegi eluohtlik (kõrgelt kukkuv akutrell või kruvikeeraja võib inimest tabades põhjustada tõsiseid vigastusi). Sellest tulenevalt saab väita, et magasin kasutamine suurendab lisaks töötaja mugavusele ka tööohutust.

Mehaanilise magasin esimene proovipartii (100 toodet) müüdi läbi detsembris 2020. Klientide tagasisidest ning täiendavatest katsetustest johtuvalt otsustati sisse viia teatud konstrukstiooni muudatused, mis magistritöö kirjutamise ajal on lõpetamisel. Paralleelselt on ettevõttel (lisaks antud töös käsitletavale elektrilisele magasinile) hetkel

arenduses üks uus mehaaniline magasin (hoidik/vahetaja) ning üks uudse disainiga otsikute tavahoidik.

1.3. Elektriline otsikute magasin

Autori poolt välja töötatud mehaanilise otsikute magasinil alusel konstrueeriti käesoleva magistritöö raames elektriline otsikute magasin (sele 1.6). See erineb eelnevalt kirjeldatud mehaanilisest versioonist põhiliselt sellepolest, et magasinil haaratsmehhanismi käitab elektriline täitur.



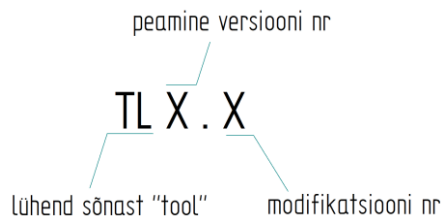
Sele 1.6 Magistritöös konstrueeritud elektriline otsikute magasin

Elektriline magasin on eelkõige mõeldud kasutamiseks statsionaarsetel töökohtadel, sest konstruktsioonist tulenevalt on see suurem ning raskem kui mehaaniline magasin. Elektrilise magasinil eeliseks on see, et otsiku vahetamine on võimalik läbi viia ainult ühte kätt kasutades (käsi, kus hoitakse kruvikeerajat). Seejuures ei ole tarvilik teha muud, kui sisestada adapter õigesse pesse. Elektrilisel magasinil on samuti kümme pesa ning pesade tähistussüsteem on identne eespool kirjeldatud mehaanilise versiooniga. Seade on kasutatav ükskõik millises asendis - töölaual, seinale või mõnele muule mistahes nurga alla olevale pinnale kinnitatuna.

Elektrilise magasinil toiteks sai prototüübi loomise faasis valitud patareitoide. Võimaliku tulevase turustatava toote puhul nähakse olulise nõudena ette juhtmega laadimise võimalust.

2. ÜLEVAADE MEHAANILISE MAGASINI ARENDUSEST

Mehaanilise otsikute magasin arendus algas 2015. aasta lõpus. Sellest ajast alates on välja töötatud neliteist prototüübi versiooni. Nimetatud versioonidest osad jäid CAD-mudeli tasemele, kuid enamus realiseeriti füüsiliste prototüüpidega. Prototüübid on tähistatud seel 2.1 toodud koodsüsteemiga.



Sele 2.1. Mehaanilise otsikute magasin prototüüpide tähistussüsteemi selgitus

Peamine versiooni number näitab põhimõttelist lahendust, mis on kasutusel. Modifikatsiooni number näitab sama põhimõttelise lahenduse teatud kindlat versiooni. TL1.X seerias töötati välja ainult üks modifikatsioon (TL1.1), TL2.X seerias töötati välja 10+ modifikatsiooni (TL2.1..TL2.10), TL3.X töötati välja üks modifikatsioon (TL3.1) ning hetkel on katsetuse faasis TL4.X seeria teine modifikatsioon TL4.2.

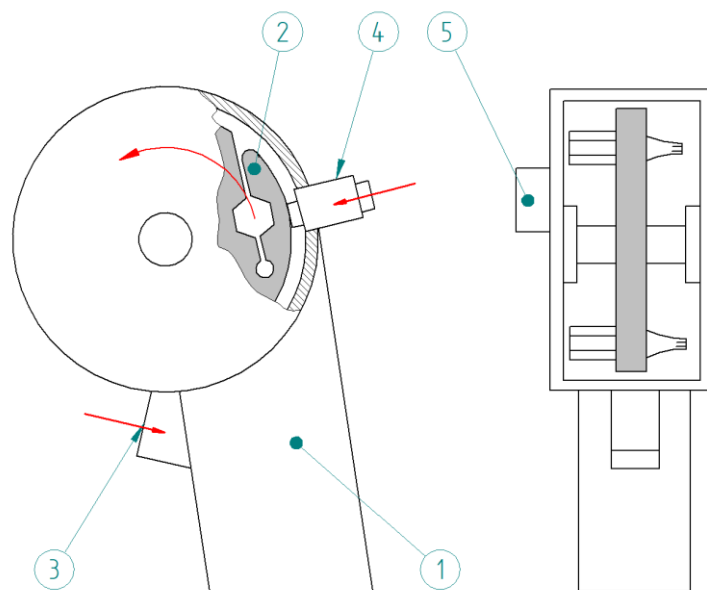
Järgnevas peatükis on antud lühiülevaade erinevatest versioonidest ning välja toodud peamised esinenud probleemid. Välja on jäetud need prototüübid, mille puhul selgus kohe arenduse alguses, et need ei ole kas funktsionaalselt või tehnoloogiliselt perspektiivikad. Kuna mõnedest versioonidest ei ole 3D mudeleid ega skeeme/pilte säilinud, kasutati töös neist suuresti lihtstatud kontseptuaalsed joonised.

TL1.X ja TL2.X seeria prototüüpide konstrueerimist mõjutas tugevasti ning seadis teatud piiridesse väga selgelt tootmiskeskne lähenemine – püüti vältida selliste detailide disainimist ja kasutamist, mida hiljem ei ole võimalik toota väikeseeria tingimustes (nt survevalu meetodil toodetavad detailid). Seetõttu kasutati valdavalt lõiketöötlemise või laserlõikuse teel valmistatavaid detaile.

2.1. TL1.X seeria

2.1.1. TL1.1

Seel 2.2 on toodud esimese prototüübi TL1.1 kontseptuaalne joonis. Prototüüp oli mõeldud käes hoidmiseks (käepide, pos. 1) sarnaselt püstoliga – otsiku vahetamise ajal oleks ühes käes magasin ja teises käes kruvikeeraja.



Sele 2.2 Esimene mehaanilise magasinini prototüüp TL1.1

Otsiku pesade arv on 6. Otsikud asetsevad pesadega kettas (2), mida saab pöörata käepidemel oleva nupu (3) vajutamise (diskreetsete sammudega) ühes suunas. Otsiku sisestamiseks/võtmiseks tuleb vastav pesa pöörata sisestamisava ette (5). Otsiku haaramine sisestamisel toimub vastava nuppu surumisega (4), mis omakorda surub kuuskandikujulist pesa kokku. Vältimaks otsikute väljakukkumist sisestusavast, on ketas oote olukorras pööratud sellisesse asendisse, et ükski otsiku pesa ei ole sisestusavaga kohakuti.

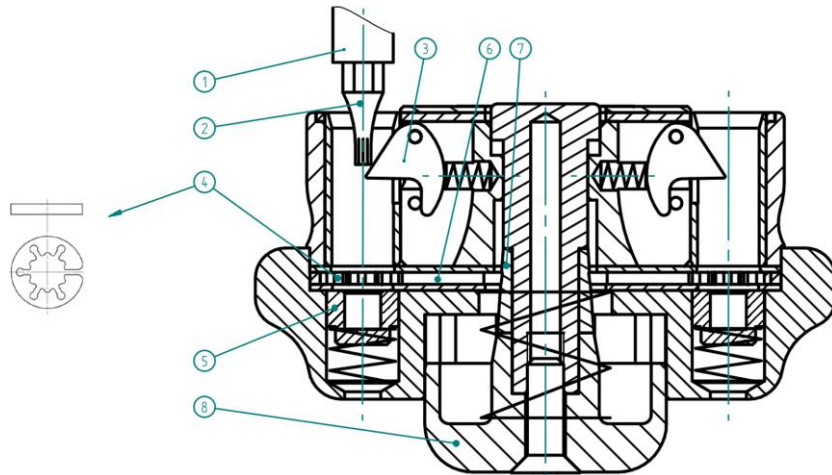
Antud prototüüp jäi CAD-mudeli tasemele, kuna eeldatavasti oleks õige otsiku ettekeeramiseks kuluv aeg olnud liiga pikk ja seega kadunuks soovitatav kiire vahetuse efekt. Teisalt oluks vastava toote omahind väikeseeria tingimustes vastuvõetamatult kõrge, kuna lahendus eeldas küllaltki keeruka geomeetriaga (peamiselt korpused) ning tehnoloogiliselt keeruka valmistusprotsessiga detaile (nt kettas olevad otsikute pesad oluks võimalik korrektselt lõigata ainult traaterosiooni meetodil).

2.2. TL2.X seeria

2.2.1. TL2.3

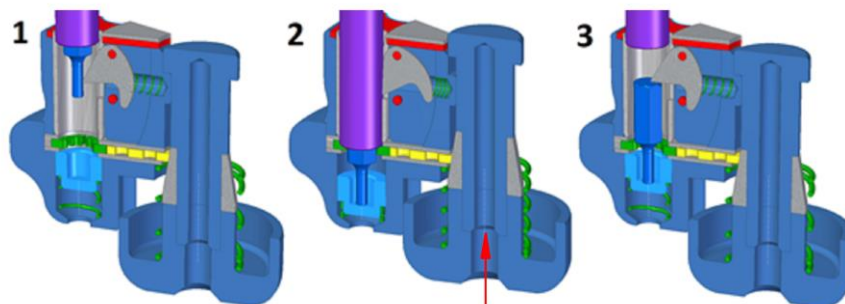
TL2.3 oli esimene mehaanilise magasinini prototüüp, mis valmistati terves ulatuses. TL2.3 (ja TL2.4) konstrueerimine ja valmistamine toimus magistratöök autorit bakalaureuse töö raames [8].

Selel 2.3 on toodud prototüübi TL2.3 eskiis. Prototüüp on peopesas hoitav ning haarats-nuppu (sele 2.3, pos. 8) surutakse peopesaga. Otsiku pesade arv on 10.



Sele 2.3 Prototüüp TL2.3. Eraldi on väljatoodud vahetult otsikut haarav haaratsketas (pos. 4)

Igas pesas on vedruga otsiku tõukur (sele 2.3, pos. 5), lõhikuga haaratsketas (4) ning stopperkeel (3). Otsiku (1) sisestamisel pessa lükkab magnetadapter (2) stopperkeele vastavasse vabastusse ja adapter koos otsikuga liigub pesa põhjas olevasse otsiku tõukurisse. Otsiku tõukuri vedru surutakse kokku ning otsiku kuuskant-osa liigub haaratskettasse sisse. Vajutades haaramisnuppu (8) liigub nupu küljes olev koonushülss (7) ülespoole ning haaratsi tõukurid (6) liiguvad radiaalselt laiali, surudes korraka kõiki haaratskettaid kokku. Haaratskettad hambad surutakse vastu otsikut. Hoides nuppu all ja tõmmates adapteri pesast välja, jääb otsik haaratskettasse pidama, stopperkeel liigub vedru jõul vabastusest välja. Lastes nuppu lahti, liigub koonushülss vedrujõul alla tagasi, haaratskettad avanevad ning otsiku tõukur lükkab otsiku kuuskandi haaratskettast välja vastu stopperkeelt. Otsiku kuuskant-osa haaratskettast väljalükkamise eesmärgiks on see, et vahetamise hetkel haarataks kuuskandist ainult seda otsikut, mida tahetakse pesasse sisestada. Selel 2.4 on otsiku magasinini sisestamine näidatud pildireana.



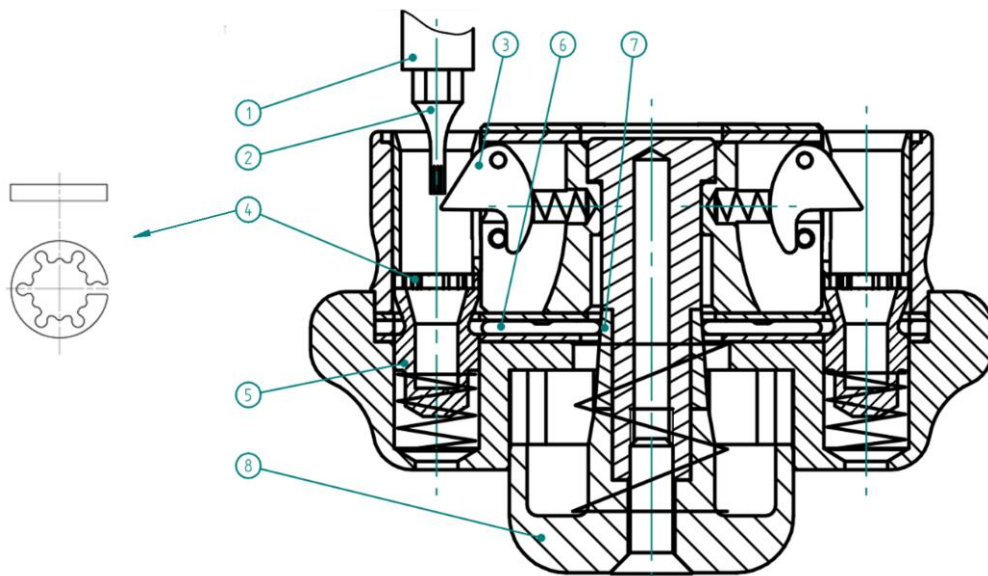
Sele 2.4 TL2.3 otsiku sisestamise töötsükkel: 1 – adapteris olev otsik sisestatakse, 2 – surutakse haaramisnuppu ning haaratsketas haarab otsikust kinni, 3 – nuppu all hoides tõmmatakse adapter pesast välja ning nupu vabastamisel lükatakse otsik vastu stopperkeelt (otsiku kuuskant-osa liigub tööalast välja)

Prototüüp põhimõtteliselt töötas, kuid otsiku haaramiseks vajalik nupu vajutamise jõud osutus ergonomika seisukohalt liiga suureks. Peamiseks põhjuseks on siin asjaolu, et nupu vajutamisel surutakse alati kokku kõik kümme haartatsketast, kuigi otsiku haaramine toimub ainult ühes.

Lisaks oli probleemiks küllaltki keeruliselt valmistatavad detailid (südamik, haaratsi tõukurid) ning aeganõudev koostamine.

2.2.2. TL2.4

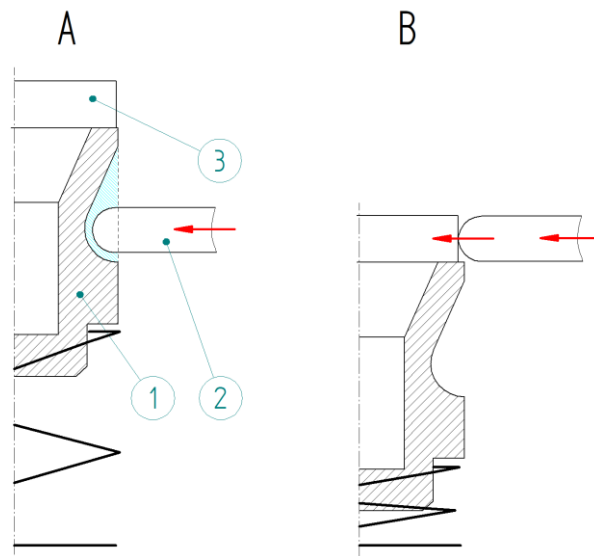
Selel 2.5 on toodud prototüübi TL2.4 eskiis. Väliselt on see identne versiooniga TL2.4 ning seega pesade arv on samuti 10.



Sele 2.5 Prototüüp TL2.4. Eraldi on välja toodud haaratsketas (pos. 4)

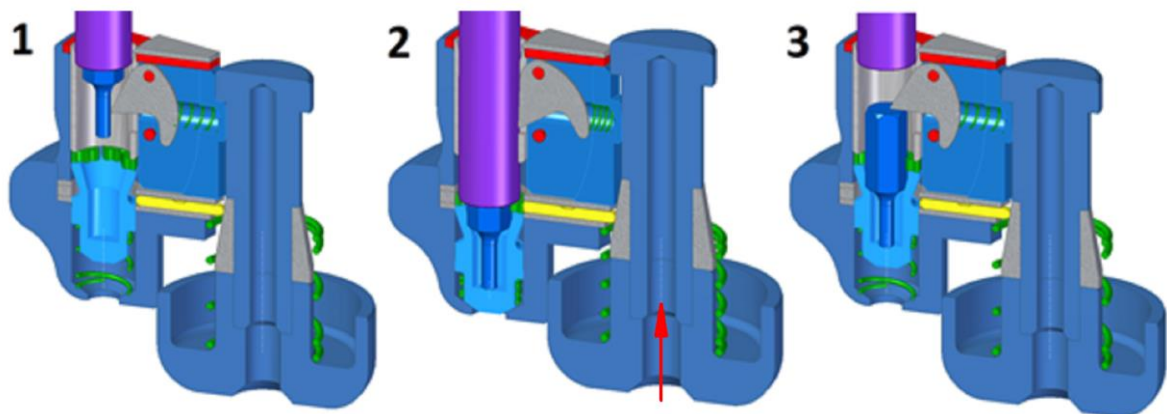
Otsiku (1) sisestamisel pessa lükkab magnetadapter (2) stopperkeele vastavasse vabastusse ja adapter koos otsikuga liigub pesas olevasse otsiku tõukurisse. Vahetult otsiku tõukuri peal paikneb haaratsketas (pos. 4, sele 2.5). Kui magnetadapteri otspind liigub vastu haaratsketast (ja otsiku kuuskant-osa ühtlasi haaratskettasse sisse), liigub otsiku tõukur koos haaratskettaga pesa põhja ja haaratsketas satub ühele tasapinnale haaratsi tõukuritega (6). Vajutades haaramisnuppu (8) liigub nupu küljes olev koonushülss (7) ülespoole ning haaratsi tõukurid (6) liiguvad radiaalselt laiali. Kuna nüüd asub haaratsi tõukurite tasapinnas ainult see haaratsketas, mis on parajasti adapteriga pesa põhja surutud, siis surutaksegi kokku ainult seesama haaratsketas. Ülejäänud üheksa haaratsi tõukurit liiguvad otsiku tõukuritel olevatesse vabastustesse (sele 2.6). Hoides nuppu all ja tõmmates adapteri pesast välja, jääb otsik haaratskettasse pidama, stopperkeel liigub vedru jõul vabastusest välja. Lastes nupu

lahti, liigub koonushülss vedru jõul alla tagasi, haaratsketas avaneb ning otsiku tõukur ning haaratsketas koos selle sees oleva otsikuga liiguvad vedru jõul ülesse vastu stopperkeelt.



Sele 2.6 TL2.4 otsiku tõukur (1), haaratsi tõukur (2) ning haaratsketas (3). A - Helesinise viirutusega on tähistatud otsiku tõukuril olev vabastus, kuhu sisse saavad liikuda mittehaaravate pesade haaratsi tõukurid; B - haaravas pesas (otsiku tõukur on alla surutud) asub haaratsketas haaratsi tõukuriga ühel joonel

Selel 2.7 on otsiku sisestamine magasinis toodud pildireana.

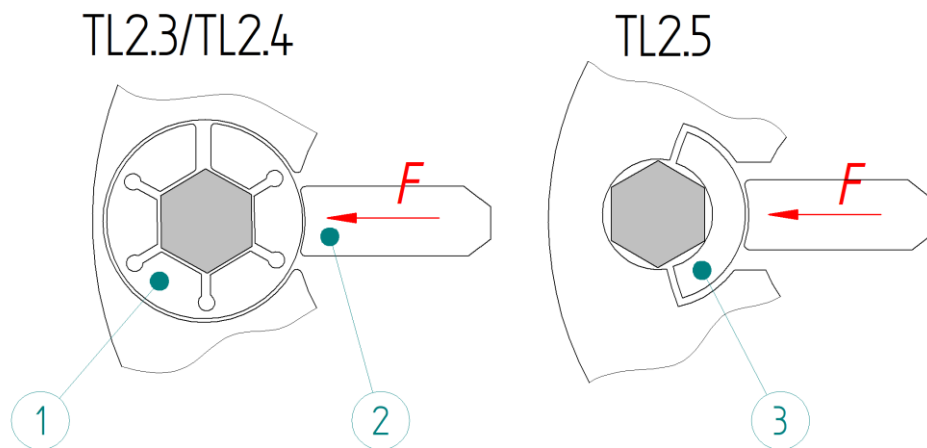


Sele 2.7. TL2.4 otsiku sisestamise töötsükkel. Üldine põhimõte on sama nagu TL2.3 puhul, aga peamine erinevus seisneb asjaolus, et TL2.4-s liigub haaratsketas koos otsiku tõukuriga kaasa. Nupu vajutamisel surutakse ainult seda haaratsketast, mis asub pesa tööalas (vt sele 2.6)

Nagu ka TL2.3, konstrueeriti ja ehitati antud prototüüp valmis magistritöö autori bakalaureuse töö raames. Prototüüp põhimõtteliselt töötas ning otsiku haaramiseks tarvilik nupuvajutuse jõud oli TL2.3-ga võrreldes oluliselt väiksem. Olulisi probleeme esines aga töökindlusega ning veelgi kallimaks kujunes prototüübi omahind.

2.2.3. TL2.5

Prototüüp TL2.5 loodi TL2.3-e otsese edasiarendusena. Nagu eelnevalt sai välja toodud, osutus TL2.3-e põhiliseks probleemiks asjaolu, et otsiku haaramiseks vajalik nupu vajutuse jõud oli liiga suur. Nupu vajutamisel deformeerusid alati kõik haaratskettad (sele 2.8, pos. 1), hoolimata sellest, et otsikut haaras ainult üks pesa. Selline lahendus oli seega juba algselt problemaatiline, kuid haaratsketta süsteem pidi tagama selle, et kui magazini kasutaja otsiku haaratud olekus kogemata akutrelli käivitaks, siis hakkaks haaratsketas oma pesas ringi käima ja kahjustaks magazini mehhanismi. Katsetamine näitas, et kaitsemehhanism ka töötas. Küll aga selgus katsetamise käigus, et peale ca 5000 vahetust hakkasid haaratskettad purunema. Seetõttu otsustati TL2.5 puhul loobuda haaratsketastest ning kasutati teistsugust lahendust (sele 2.8, paremal).

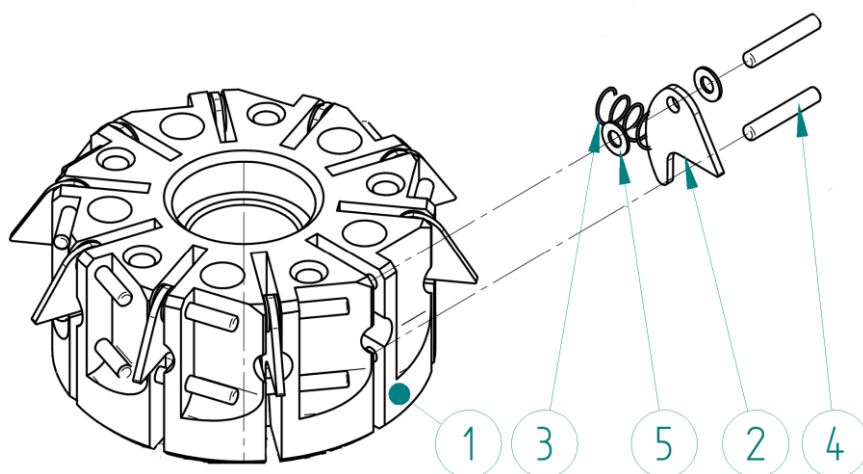


Sele 2.8 Otsiku vahetu haaramise printsiibi muutus prototüübis TL2.5

Haaratsketta asemel võeti kasutusele n-ö ujuv haarats (sele 2.8, pos 3). Kuna nii ujuva haaratsi kui ka pesa tööpinnad olid kaarpinnad (raadiuseks otsiku mõttelise ümberjoonistatava ringjoone raadius), siis sai tahtmatu akutrelli käivituse korral otsik pesas pöörelda ilma pesa kahjustamata. Oluliselt vähenes otsiku haaramiseks vajalik nupu vajutuse jõud ning lisaks läksid teatud detailid geomeetriselt lihtsamaks.

2.2.4. TL2.6A/B

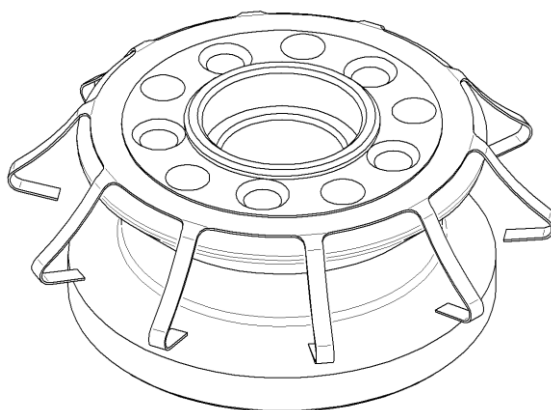
Prototüüp TL2.6-st alates seati fookuseks otsikute pesas hoidmise süsteemi lihtsustamine. Senine lahendus oli küll töökindel, kuid selle keskmes olev detail „südamik“ (sele 2.9, pos. 1) oli küllaltki keerulise geomeetriaga (detailis oli 63 ava) ja seetõttu kallis valmistada. Lisaks oli stopperkeelte (2), stopperi vedrude (3) tihvtide (4) ning distantssseibide (5) paigaldamine südamikku keeruline ning aeganõudev protsess.



Sele 2.9 Südamiku koost kuni prototüübini TL2.5

TL2.6 modifikatsiooni alla kuulusid kaks alammodifikatsioon TL2.6A ja TL2.6B. Mõlema alammodifikatsiooni puhul prooviti stopperkeeled (ja juurdekuuluvad detailid) asendada ühe vedruterasest detailiga (materjal EN 10132-4:2000 1.1231). Kuigi antud detailid olid tehnoloogiliselt keerukad valmistada, siis oleks see olnud kahtlemata parem lahendus, kuna üks detail oleks asendanud kuuskümmend detaili.

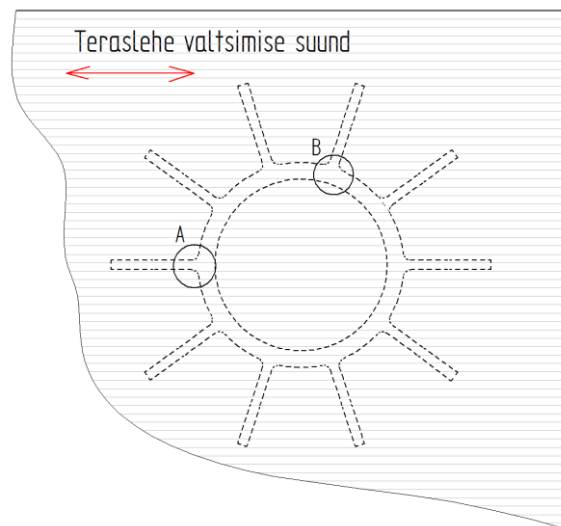
TL2.6A vedrustopperis asetsesid vedrukeeled radiaalselt (sele 2.10).



Sele 2.10 TL2.6A vedruterasest stopperdetail

TL2.6A katsetused näitasid, et osad vedrukeeled deformeerusid vähesel määral ka plastselt ning keelte tsüklilise koormamise korral esinesid väsimusest tingitud purunemised juba ca 700 vahetuse järel. Kiire purunemise peamiseks põhjuseks antud modifikatsiooni juures oli ilmselt deformatsiooni koondumine väikesele alale (pingekontsentraatorite teke keelte kinnituskoha detaili tasapinnalise osaga).

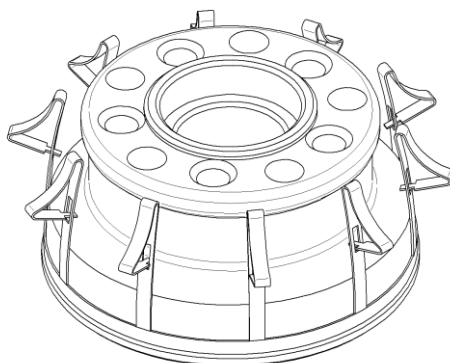
Lisaks võis purunemist mõjutada detaili spetsifiline geometria, täpsemalt vedrukeelte radiaalne asetus. Teraslehe valtsimisel materjali mikrostruktuuris olevad terad pikenevad ning orienteeruvad lehe liikumise sihis (risti valtsirullide telgedega), muutes seeläbi materjali omadused anisotroopsemaks. Kuna vedrukeeled asetsevad radiaalselt, siis jääb terade asetus erinevates keeltes paindesihi suhtes erinevaks - tekib teatav mikrostruktuurne asümmeetria. Seel 2.11 on toodud detaili asetus teraslehel (laserlõike operatsioonis). Terade asetus on paindejõudude vastuvõtmiseks soodsaim alas A ning ebasoodsaim alas B.



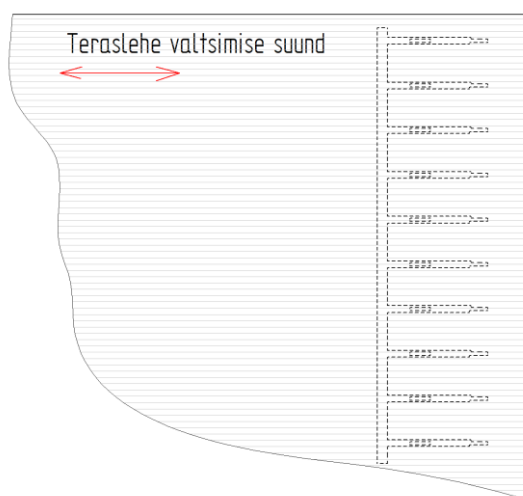
Sele 2.11 TL2.6A vedruterasest stopperdetaili pinnalaotuse paiknemine terasleht toorikul (laserlõikuse operatsioon)

Teisalt tuleb arvestada ka asjaoluga, et teraslehe valtsimisele ning detaili laserlõikusele järgnes selle karastamine – protsess, mis omakorda muudab terase mikrostruktuuri. Kirjeldatud olukorda on uuritud teraste Fe-10Cr-2W ja Fe-12Cr-1Mo karastamisel peale kuumvaltsimist [9]. Katse tulemused näitasid, et karastamisel muutub suurem osa teradest faasimuutuse tagajärjel (tagasi) võrdtelgseks (tera mõõtmed igas sihis on peaaegu võrdsed) ning väike osa terasid, mis faasimuutust ei läbi, jäävad pikerguseks ja säilitavad esialgse orientatsiooni. Seega keeratakse karastamisega valtsimise efekt küll uuesti tagasi, kuid mitte täiel määral ning teatav mõju detaili tugevusomadustele tsüklilisel paindel ilmselt säilib.

Lähtudes eelnevast, prooviti TL2.6B modifikatsiooni puhul (sele 2.12) vedruteras detail ümber konstrueerida selliselt, et deformatsioon jaotuks (ühe) vedrukeele ulatuses ühtlasemalt ning, et vedrukeelte asetuse terasleht toorikul oleks mikrostruktuuri seisukohast kõige soodsam ja ühetaoline (sele 2.13).



Sele 2.12 TL2.6B modifikatsioonis olid vedrukeeled konstrueeritud selliselt, et elastne deformatsioon jaotuks ühtlasemalt kogu keele ulatuses



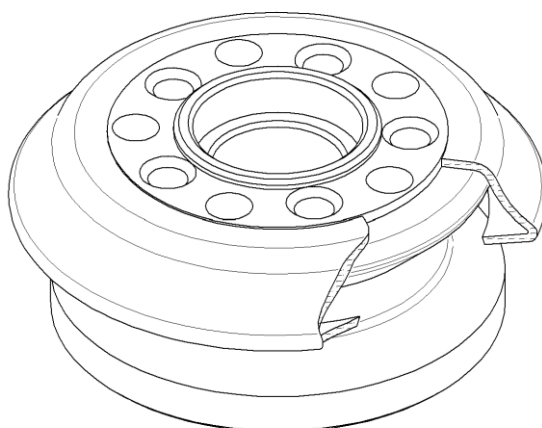
Sele 2.13 TL2.6B vedruterasest stopperdetaili pinnalaotuse paiknemine terasleht toorikul (laserlõikuse operatsioon). Kõik keeled on valtsimise suuna suhtes orienteeritud ühetaoliselt ja optimaalselt (risti valtsimise suunaga)

Tsüklilisel koormamisel toimus vedrukeele purunemine nüüd ca 5000 painutustsükli järel, mis eelnevaga võrreldes oli märkimisväärselt parem tulemus. Samas esines ka selle versiooni puhul teatud keelte plastset deformatsiooni (väiksemas ulatuses). Plastse deformatsiooni üheks põhjuseks mõlema versiooni puhul oli ilmselt detailide ebaühtlane karastus, mis tulenes detailide keerukast geometriast ja sellega kaasnevast ebaühtlasest jahtumisest karastusprotsessis.

Plastse deformatsiooni esinemise ja vedrukeelte oodatust oluliselt kiirema purunemise tõttu loeti mõlemad modifikatsioonid mitteperspektiivseteks.

2.2.5. **TL2.7**

TL2.7 modifikatsioonis (sele 2.14) kasutati vedruterasest stopperelemendi asemel elastomeerist detaili, mis ühtlasi eeldas magasin ülemise korpuse ümberkonstrueerimist. Valmistati katsevaluvorm ning valati erinevatest materjalidest proovidetailid. Katsetamine näitas, et sõltumata kasutatavast materjalist oli kõige suuremaks probleemiks asjaolu, et otsikut hoidev adapter ei libisenud piisavalt hästi mööda kummist detaili pinda (detailide pind oli seejuures väga sile). Seetõttu oli otsikute sisestamine/võtmine pesast keeruline ja eeldas märkimisväärse jõu kasutamist. Prooviti vähendada kummist detaili seinapaksust, et muuta see seeläbi vähem jäigaks, kuid väiksema seina paksuse tõttu ei võtnud detail peale adapteri eemaldamist pesast tagasi oma esialgset kuju.



Sele 2.14 TL2.7 elastomeerist stopperdetail

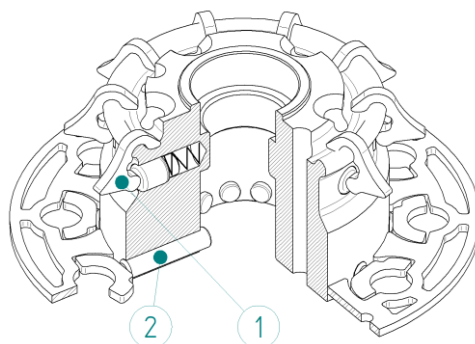
Kirjeldatud probleemide tõttu loeti TL2.7 modifikatsioon ebaõnnestunuks ning elastomeerist stopperdetaili lahendust edasi ei arendatud.

2.2.6. **TL2.8**

TL2.8 modifikatsiooni puhul mindi tagasi metallist stopperkeelte (sele 2.15, pos. 1) juurde, kuid muudeti keelte, südamiku ning teiste haaramismehhanismiga otseselt seotud detailide geomeetriat eesmärgiga muuta need tehnoloogiliselt lihtsamaks ning seeläbi odavamaks ja lihtsustamaks magasin koostet. Stopperkeeled ei istunud enam tihvtide peale, vaid vastaval toroidpinnal. Haaratsi tõukurid (2) viidi südamiku sisse ja

oluliselt lihtsustati nende geometriat. Vähendati südamikus olevate avade arvu (uues versioonis 27 ava).

Katsetused näitasid, et uus lahendus oli töökindel (pesa säilitas töövõime pärast 25 000 vahetust) ning seejuures oli südamiku koostu koostamisele kuluv aeg ca 60% lühem.

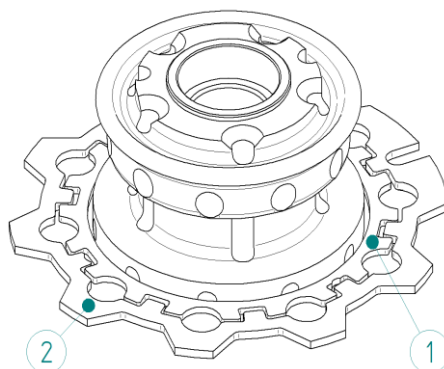


Sele 2.15 TL2.8 südamiku koost ja osa haaratsmehhanismist.

Kuigi uut tüüpi südamik muutis toote koostamise tervikuna kiiremaks, oli südamiku koostu enda koostamine endiselt kõige aeganõudvam ning keerukam osa kogu toote koostamise protsessis.

2.2.7. TL2.9

TL2.9 modifikatsioonis asendati üksikud ujuvad haaratsid ühe suure ujuva ringhaaratsiga (sele 2.16, pos. 1). Eesmärgiks oli vähendada detailide arvu koostus ja seeläbi lihtsustada koostamist. Ringhaaratsi kasutamisega muutus osaliselt ka haaratsmehhanismi tööpõhimõte. Nimelt otsiku kuuskant-osa sisestamisel tööalasse lükatakse ringhaarats tsentrist välja. Magasini nupu vajutamisel hakkavad haaratsi tõukurid haaratsit tagasi tsentrisse lükkama ja seega ühtlasi surub ringhaarats otsiku pesasse kinni.

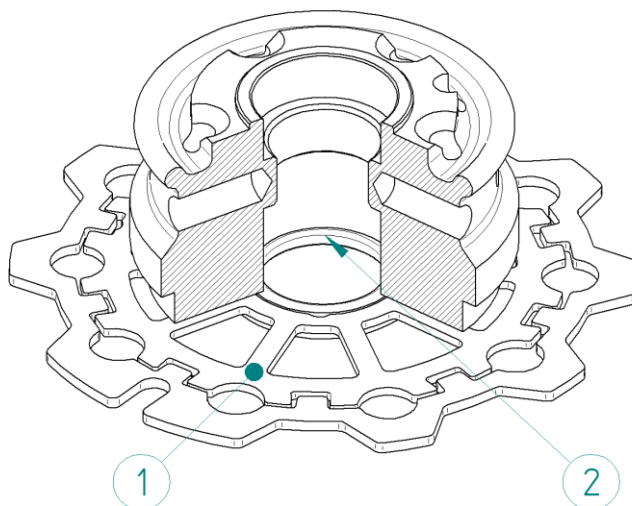


Sele 2.16 TL2.9 optimeeritud geometriaga südamik ning uus nn ringhaarats, mis asendas alates modifikatsioonist TL2.5 kasutusel olnud eraldiseisvad ujuvad haaratsid

Lisaks antud põhimõttelisele muudatusele optimeeriti teataval määral ka mõnede teiste detailide geomeetriad eesmärgiga vähendada nende massi (südamik) ning lihtsustada valmistamist (matriits, pos. 2).

2.2.8. TL2.10

TL2.10 modifikatsiooni puhul kaotati haaratsi tõukurid ja muudeti ringihaaratsi geomeetriad selliselt, et see täidaks ise tõukurite funktsiooni. Selleks, et terasest ringhaarats (sele 2.17, pos.1) ei puutuks vahetult kokku plastist nupu koonuspinnaga, istati ringhaaratsi siseavasse plastist koonilise siseavaga puks (2). Selline lahendus võimaldas veelgi vähendada detailide arvu ja lihtsustas koostamist. Lisaks muutus südamiku geomeetria lihtsamaks, sest enam polnud vaja haaratsi tõukurite avasid.



Sele 2.17 TL2.10 uus ringhaarats ning lihtsustatud geomeetriaga südamik

TL2.9 ja TL2.10 modifikatsioonide katsetused näitasid esialgu, et ekstsentrilise ringhaaratsi tööprintsip on perspektiivne. Pikema katseperioodi käigus reaalsetes töötingimustes hakkasid aga magasinis töös esinema tõrked (sagenes ebaõnnestunud otsiku sisestamiste arv). Tõrgete täpne põhjus ei ole praeguseks hetkeks selgunud ning vajab edasist uurimist.

2.2.9. TL2.8_P

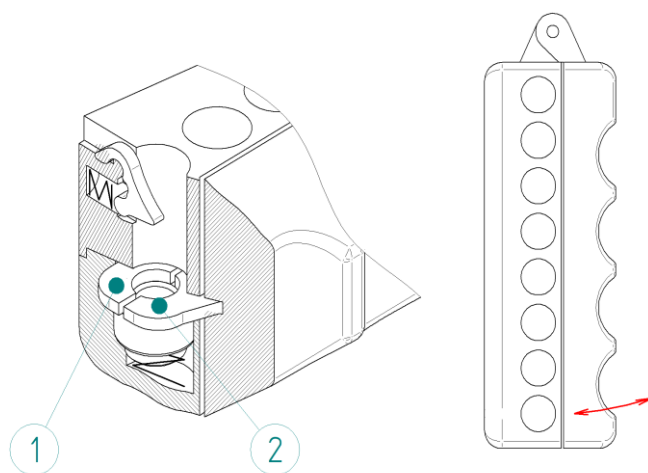
Magasini arendav ettevõtte soovis paralleelselt arendusega alustada toote turustamist. Seetõttu otsustati toota esimene proovipartii suurusega 100 toodet. Proovipartii aluseks võeti katsetulemuste põhjal kõige töökindlamaks osutunud prototüüp TL2.8, kuid

seejuures kasutati osaliselt modifikatsioonides TL2.9 ja TL2.10 parendatud detaile (nt lihtsustatud geomeetriaga matriits, sele 2.16, pos. 2).

2.3. TL3.X seeria

2.3.1. TL3.1

TL1.X ja TL2.X seeriade ringikujuline pesade asetus tingib olukorra, kus pesade vahele jääb osaliselt nn surnud ala, mis suurendab magasinini massi ning mõõtmeid. TL3.X seeria esimese versiooniga TL3.1 prooviti luua uue konfiguratsiooniga magasin, kus otsikute pesad asuksid ühes sirges reas ja seeläbi oleks võimalik mittekasulikku materjali vältida. Lisaks võimaldas lineearne asetus pesade arvu paremini varieerida, leidmaks optimaalset kompromissi pesade arvu ning toote mõõtmete ja massi vahel. TL3.1-e pesade arv vähendati esmalt kaheksani. Haaratsmehhanism töötas nüüd käär-
mehhanismina, kus matriits (sele 2.18, pos.1) seisab paigal ning nn haaratskamm (2) liigub ümber liigendi. Surudes magasinini kokku, surutakse haaratskammiga otsik otse pesasse kinni. Mehhanism on lihtsam ja selle tööd ei mõjuta sellisel määral detailide hõõrdumine nagu see toimus TL2.X seeria magasinides, kus oli kasutusel kiilmehhanism. Negatiivse aspektina, võrreldes TL2.X seeriaga, puudub selle lahenduse puhul otsiku haaramisjõu suurendamine – haaramisjõud on otseselt võrdeline nupu surumise jõuga.



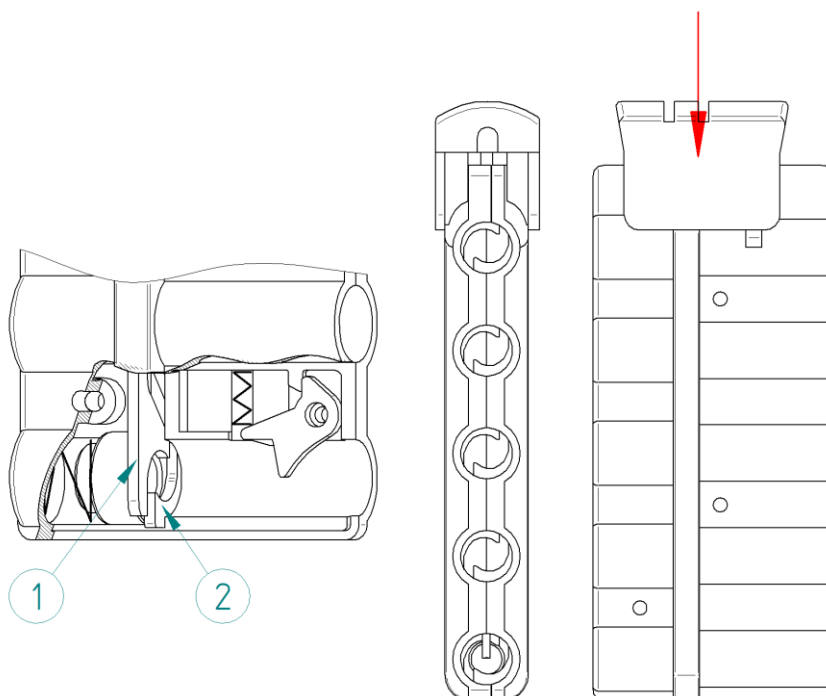
Sele 2.18 TL3.1 oli esimene ühes reas asetsevate otsiku pesadega prototüüp

Kuigi TL3.1 prototüübiga õnnestus vähendada koostus olevate detailide arvu, siis teisalt muutusid korpuse detailid tehnoloogiliselt keerukamaks. Lisaks ei vähenenud magasinini mass ja mõõtmed sellisel määral, mis õigustaks keerukamate detailide kasutamist koostus. Nende puuduste tõttu loeti TL3.X seeria ebaõnnestunuks ning seda edasi ei arendatud.

2.4. TL4.X seeria

2.4.1. TL4.1

TL4.1 prototüübiga jätkati ühel joonel asuvate pesade konfiguratsiooni arendamist, kuid viidi sisse kaks põhimõttelist muudatust. Esiteks muudeti haaratskammi (sele 2.19, pos. 1) liikumine pöördliikumisest lineaarliikumiseks. Teiseks muudeti stopperkeelte asendit pesade suhtes selliselt, et stopperkeeled jäid pesade vahele (mitte pesade kõrvale). Stopperkeelte uus asukoht küll vähendas pesade arvu 8 pesalt 5-le, kuid võimaldas samal ajal ka magasinilaiusmõõdet vähendada üle 2 korra ning massi ca 1,5 korda (võrreldes TL3.1-ga). Selleks hetkeks laekunud tagasiside klientidelt näitas, et massi ja mõõtmete vähendamine pesade koguse arvelt on aktsepteeritav kompromiss.



Sele 2.19 TL4.1 prototüüp, mis oli TL3.1-ga võrreldes kompaktsem ja lihtsama konstruktsiooniga. Kammhaarats (1) ja matriits (2) asetsevad vastavas soones, mis ühtlasi jäigastab magasinilaiusmõõdet.

Ühes reas olevatele pesadele lisaks ühendas TL4.1 ja TL3.1-e asjaolu, et nupult tulev jõud kantakse otse üle otsikule (puudub kiilmehhanism).

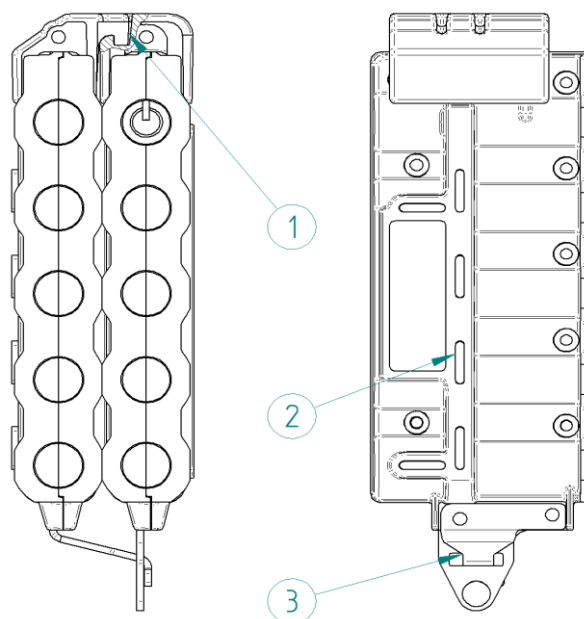
Nupu vajutamine on senistel TL4.X seeria prototüüpidel ette nähtud pöidla abil.

2.4.2. TL4.2

TL4.2 on hetkel katsetamisel olev prototüüp. Tööpõhimõttelt on TL4.2 analoogne TL4.1-ga, kuid erinevused seisnevad ennekõike detailide geomeetrias ning lisafunktsionaalsuses. Järgnevalt on toodud TL4.2 modifikatsiooni põhilised muudatused:

- on loodud võimalus panna kaks magasin omavahel kokku selliselt, et kõik 10 pesa töötavad ühe nupu vajutamisel. Kahe magasin kiireks ja lihtsaks ühendamiseks on korpustele ja nuppudele tehtud vastavad ühenduselemendid (sele 2.20 pos. 1, 2, 3);
- suurendatud on kinnituskruvide arvu;
- suurendatud on korpuste seinapaksust;
- pesade avauste ümber on lisatud lateraalset jäikust suurendav tugevdusribi.

Selel 3.18 on näidatud TL4.2 magasinid ühendatud konfiguratsioonis. Põhimagasin ja lisamagasin korpused on identsed, kuid nupud on erinevad. Nii põhi- kui ka lisamagasin on mõlemad kasutatavad ka eraldiseisvana.



Sele 2.20 TL4.2 modifikatsioon. Joonisel on toodud kaks magasin n-ö ühendatud konfiguratsioonis. Mõlemat magasin saab kasutada ka iseseisvalt.

Kui katsetuste käigus TL4.2 prototüüpidel olulisi puuduseid ei avaldu, on antud versiooni baasil plaanis algatada seeria tootmine.

3. KONSTRUEERIMINE – LÄHTEÜLESANDE PÜSTITUS

Lähtuvalt olemasolevast mehaanilisest otsikute magasinist ja selle katsetamise ning kasutamisega saadud kogemustest, loodi elektrilise magasinini konstrueerimise lähteülesande koostamisel nõuete raamistik, millele arendatav prototüüp võiks vastata. Neid ei võetud täiesti jäiga kohustsuena, vaid pigem soovitusliku raamistikuna, mis aitaks ülesannet konkretiseerida ning seeläbi konstrueerimist kiirendada. Nähti ette ka võimalust, et osad nõuded võivad töö käigus kas muutuda või sootuks tühistatud saada. Nõuded jaotati olemusest lähtuvalt funktsionaalseteks ning tehnilisteks. Funktsionaalsed nõuded olid järgmised:

- magasinini kasutamine peab olema lihtsasti arusaadav ning intuitiivne;
- otsiku vahetamine peab käima võimalikult kiiresti ja sujuvalt (otsiku sisestamine pesa maks. 5 s, otsiku võtmine pesast maks. 1 s);
- magasin peab olema töökindel (ebaõnnestunud vahetusi ei tohiks olla rohkem kui üks 25-st vahetusest);
- magasin peab töötama patereide toitel ning nende tühjaks saamise korral peab olema võimalik otsikud magasinist manuaalselt kätte saada;
- magasin peab säilitama töövõime igas asendis (asetatud lauale, kinnitatud vertikaalsele seinale või mõne muu nurga all olevale pinnale);
- magasinini korpus peab olema piisavalt tugev, et pidada vastu kukkumine 0,5 m kõrguselt betoonpinnale;
- magasinini sisse/välja lülitus peab olema mugav (vastav lüliti hästi ligipääsetav).

Peamised tehnilised nõuded:

- pesade arv peab olema kümme;
- magasinini toide peab olema tagatud ühe 9V, 500 mAh patareiga;
- täislaetud patareide korral peab magasiniga olema võimalik teha vähemalt 500 otsiku vahetust;
- magasinini mass võiks olla maksimaalselt 1 kg (see on ca 2x mehaanilise magasinini mass). Mass on antud toote puhul väheoluline parameeter (võrreldes mehaanilise magasiniga), kuna elektriline magasin on peamiselt mõeldud kasutamiseks statsionaarsel töökohal.

Töömahu vähendamiseks ning arendusprotsessi kiirendamiseks otsustati elektrilise prototüübi välja töötamisel võimalikult suurel määral ära kasutada mehaanilise magasinini kasutatavaid komponente ning lahendusi. See lähenemine võimaldas kõige kiiremini jõuda n-ö *proof of concept* prototüübini, millega oleks võimalik kaardistada

toote funktsionaalsuse ning ergonoomikaga seotud aspektid ning probleemid. Mehaaniline magasin on töökindluse osas näidanud häid tulemusi nii katsefaasis kui ka reaalses töökeskkonnas ning seega on sama tööpõhimõtte kasutamine põhjendatud (kuigi lõpliku kinnituse annab prototüübi katsetamine).

Paralleelselt elektrilise magasinini arendusega toimub hetkel ka uue mehaanilise magasinini prototüübi katsetamine. Uus prototüüp (TL4.2) on väiksem, kergem ja lihtsama ehitusega. Seetõttu alternatiivse variandina oluks võimalik võtta ka antud prototüüp elektrilise versiooni aluseks. Seda otsustati siiski mitte teha, sest antud prototüüp oli magistritöö kirjutamise ajal alles katsefaasis ja seega selle töökindlus ei olnud ammendavalt kontrollitud (seda põhiliselt just reaalses töökeskkonnas).

Lähteülesandega pandi paika esialgne elektrilise magasinini töötsükkel, mis tuli konkreetsete lahenduste ja komponentide valikuga hiljem konkretiseerida.

Otsiku sisestamine magasinini:

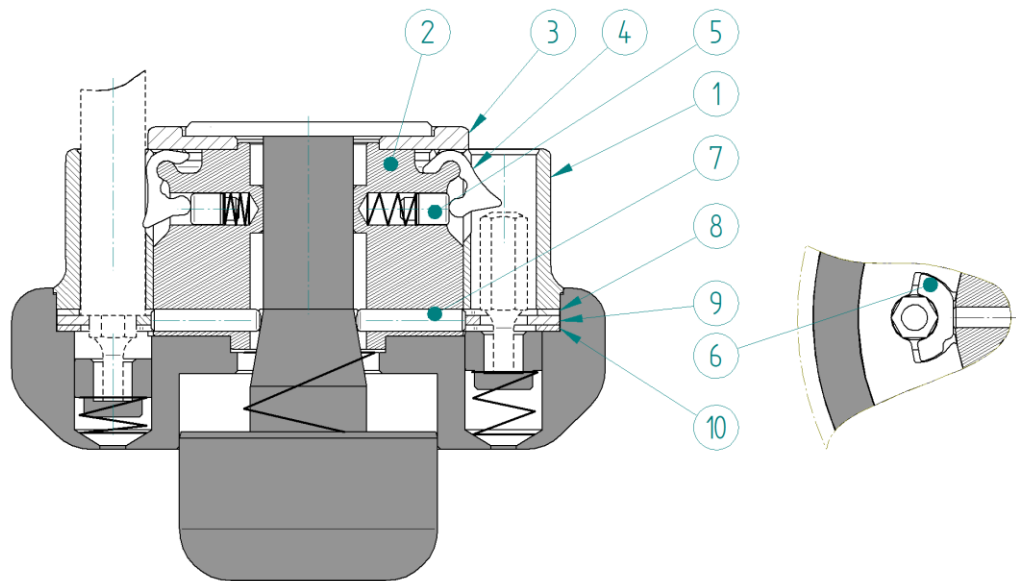
- adapteri ja otsiku sisestamine pesasse registreeritakse ja vastav signaal käivitab elektrilise täituri;
- elektriline täitur käitab haaratsmehhanismi ja otsikust haaratakse kinni;
- adapter tõmmatakse pesast välja (otsik on endiselt haaratud);
- haaratsmehhanism vabastab otsiku ja liigub tagasi ooteasendisse

Otsiku võtmine magasinist (mehaaniline protsess, elektri osa ei rakendu):

- (tühi) adapter sisestatakse pesasse;
- otsik liigub adapterist oleva magneti ja pesa põhjas oleva vedru toimele adapterisse;
- adapter tõmmatakse pesast välja

3.1. Elektrilise magasinini mehaanika konstrueerimine

Elektrilise magasinini mehaanika konstrueeriti osaliselt lähtudes TL2.8_P mehaanilisest magasinist. Otseselt võeti üle otsikute pesades hoidmise lahendus (stopperkeelte süsteem). Ühtlasi kasutati sama ülemist korpust (sele 3.1, pos. 1), südamikku (2), kinnitusketast (3), stopperit (4), stopperi tõukurit (5), haaratsit (6), haaratsi tõukurit (7), ülemist matriitsi katet (8), matriitsi (9) ning alumist matriitsi katet (10).



Sele 3.1. TL2.8_P detailid, mida kasutati ka elektrilise magasiniprototüübi juures

TL2.X seeria magasinide haaratsmehhanismi tööprintsip põhineb kiilmehhanismil. Magasini nuppu surudes liigub see üles ja nupu koonuspind lükkab radiaalselt laiali haaratsi tõukurid. Haaratsi tõukuritelt omakorda kandub liikumine üle haaratsitele ja nii surutakse otsik pesas kinni. Mehaanilise magasinivälja töötamisel määrati katseliselt kindlaks haaratsi surumise jõud, mis on vajalik ületamiseks magnetadapteri magnetjõudu (Lisa 1). Leiti, et võttes arvesse variatsioone magnetadapterite magnetjõu tugevuses, peaks arvestama vajaliku haaratsi surumisjõuga ca 100 N. Empiiriliselt tehti kindlaks ka jõud, millega keskmine kasutaja võiks olla võimeline magasininuppu suruma mitmeid kordi järjest lühikese aja jooksul. Selleks jõuks saadi ca 30 N. Lähtudes nendest tulemustest, arvutati vajalik koonuse kiilunurk ($9,5^\circ$). Niivõrd terava nurga kasutamisega kaasneb aga isepidurdumine – nupp jääb sissesurutud asendisse pidama. Võttes aluseks vastava teoreetilise valemi [10], ei tohiks antud pinnakareduste juures isepidurdust tekkida. Ilmselt tuleneb tegelik olukord asjaolust, et kokkupuutuvad pinnad ei ole mitte tasapinnad (nagu valemi puhul eeldatakse), vaid sfääriline pind ja koonuspind ning seetõttu tekivad detailide kontaktpindades libisemist takistavad deformatsioonid (vastavad detailid on plastist). Erinevate koonuse kiilunurkadega katsetades selgus, et isepidurdus hakkab oluliselt vähenema alles alates nurgast 15° . Sellise nurga juures on aga haaratsi surumisjõud juba ca 25% väiksem (ca 75 N).

Teisalt kaasneb teravamaga koonuse kiilunurgaga pikem nupu käik. Katsetused näitasid, et liiga lühike nupu käik on tegelikult vähem ergonoomiline – ei teki tunnetust nupu asendi osas.

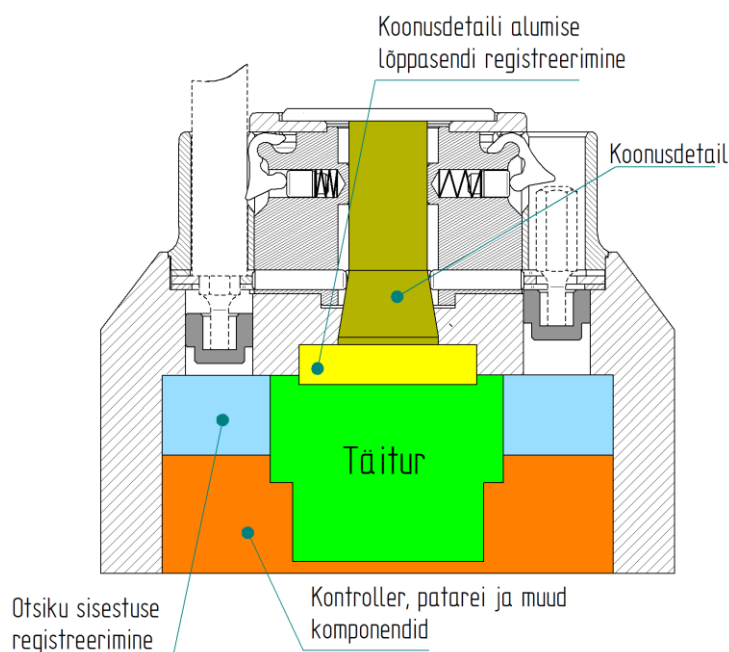
Kirjeldatud tegurite tõttu tehti mehaanilise magasini puhul kompromiss - kiilunurk jäeti 9,5° kraadi peale ning magasini kasutusprotseduuri viidi sisse tingimus, et peale otsiku sisestamist tuleb nupu tagastamiseks selle küljes olevat nupu ketast kergelt kruvikeeraja adapteriga koputada. Selline lahendus, olles mehaanika vaatenurgast kahtlemata kohmakas, toob magasini kasutamise seisukohalt juurde marginaalse lisaliigutuse, mis üsna kiiresti muutub kasutaja jaoks märkamatuks ja n-ö auto-maatseks.

Haaratsmehhanismi muutmisel elektriliseks sai koonusdetaili koonuse kiilunurk jällegi keskseks probleemiks:

- kasutatav täitur pidi koonusdetaili tõstma piisavalt suure jõuga, et tagada piisav haaratsi poolt avaldatav jõud otsikule;
- isepidurdumise korral pidi täitur suutma koonusdetaili tagastada.

3.1.1. Elektrilise magasini kontseptuaalne mudel

Seal on 3.2 toodud elektrilise magasini kontseptuaalne mudel, mida järgnevalt hakati etappide viisi konkretiseerima. Selleks valiti sõlmedele alternatiivsete lahenduste hulgast konkreetseid tehnilised lahendused ning konstrueeriti ja dimensioneeriti vajalikud detailid.



Sele 3.2 Orienteeruv komponentide paigutus loodavas prototüübis

Loodud kontseptuaalne mudel määras esialgse komponentide paigutuse magasinis, kuid otseselt ei seadnud piiranguid prototüübi gabariitmõõtmetele ja väliskujule. Prototüübi

lõplik väliskuju ja mõõtmed jäeti sõltuma kasutatavate komponentide - eriti täituri - valikust. Lihtsustamaks prototüübi katsetamisega paratamatult kaasnevat seadme korduvat koostamist ja lahti võtmist, pöörati kõrgendatud tähelepanu ka sellele, et prototüüp oleks lihtsasti koostatav ja lahktivõetav.

3.1.2. Täituri valik

Tulenevalt magasinifunktsionaalsusest ning tõenäolistest kasutuskohtadest välistati juba kontseptuaalses faasis pneumaatilise või hüdraulilise täituri kasutamine ning keskenduti elektrilistele täiturile.

Kaaluti kahte erinevat tüüpi elektrilist täiturit:

- reduktori ning käigukruviga miniatuurset alalisvoolu elektrimootorit;
- solenoid aktuaatorit.

Tabelis 3.1 on toodud täiturite põhimõtteline võrdlus antud rakenduse kontekstis.

Tabel 3.1. Elektriliste täiturite võrdlus [11], [12]

	Reduktori ja käigukruviga elektrimootor	Solenoid aktuaator
Aksiaalse jõu suurus	Võimalik suurendada pöördvõrdeliselt kiirusega	Konstantne
Aksiaalne jõud sõltuvalt suunast	Mõlemas suunas võrdne	Ühes suunas suurem, teises väiksem (vedru)
Lineaarliikumise kiirus	Pöördvõrdeline aksiaaljõuga	Kõrge
Lineaarliikumise kiiruse reguleerimine	Saab reguleerida	Praktiliselt konstantne
Töökindlus	Üldiselt töökindel, võimalik reductori kulumine/purunemine	Töökindel
Kompaktsus	Kompaktne	Väga kompaktne
Ühendamine koonusdetailiga	Keeruline (vajab mitut komponenti)	Lihtne
Energiatarve (vastavalt nimiparameetritele)	Madal	Kõrge

Valiku tegemiseks valiti mõlema täituri tüübi jaoks konkreetsed turul saadaval olevad ostutooted. Kuigi mõlema täituri tüübi puhul leidub turul arvukalt alternatiive, siis antud toodete kasuks otsustati lähtudes eelkõige nende kompaktsetest mõõtmetest, kuid ka hinnast ja kättesaadavusest.

Valitud tooted on toodud tabelis 3.2. Võrreldavad parameetrid võivad olla sellised, mida teatud tüüpi täituritele ei saa omistada. Sellisel juhul tabelis märgitud „-“.

Tabel 3.2. Konkreetsete toodete võrdlus

	Täitur T_1	Täitur T_2	Täitur T_3
	Redukti ja käigukruviga DC elektrimootor #1 [13]	Reduktoriga DC elektrimootor #2 [14]	Solenoid aktuaator [15]
Mõõtmed (korpuse osa)	24,5x12x10 mm	d30x60 mm	39,5x29x25 mm
Mass	16 g	64 g	144 g
Nominaalne pingeline	3 V	5.9 V	12 V
Nom. voolutugevus	40 mA	75 mA	800mA
Lineaarne käigupikkus	53 mm	-	10 mm
Aksiaal jõud $F_{a_#x}$ (edasi/tagasi)	18 N*	72 N*	6 N/ 4N
Väändemoment (käigukruvi)	0,045 Nm	0,25 Nm	-
Pöörlemisagedus (käigukruvi)	100 RPM	83 RPM	-
Linearkiirus	≈ 1,2 mm/s	≈ 1 mm/s	≈100 mm/s

* arvutatud all

Lähtudes tootjate poolt antud andmetest, arvutati valemist 3.1 [16] mõlema mootori variandiga saadav aksiaal jõud ($F_{a_#1}$; $F_{a_#2}$):

$$F_{a_#1} = \frac{2 \cdot T_k}{d_2 \left(\frac{p + \pi \cdot d_2 \cdot \mu_1 \cdot \sec(\alpha)}{\pi \cdot d_2 - \mu_1 \cdot p \cdot \sec(\alpha)} \right) + \frac{\mu_2 \cdot d_2}{2}} \quad (3.1)$$

$$= \frac{2 \cdot 0,045 \cdot 10^3}{3,55 \cdot \left(\frac{0,7 + \pi \cdot 3,55 \cdot 0,15 \cdot \sec(30^\circ)}{\pi \cdot 3,55 - 0,15 \cdot 0,7 \cdot \sec(30^\circ)} \right) + \frac{0,2 \cdot 3,55}{2}} \approx 18 (N)$$

$$F_{a_#2} = \frac{2 \cdot 0,045 \cdot 10^3}{3,55 \cdot \left(\frac{0,7 + \pi \cdot 3,55 \cdot 0,15 \cdot \sec(30^\circ)}{\pi \cdot 3,55 - 0,15 \cdot 0,7 \cdot \sec(30^\circ)} \right) + \frac{0,2 \cdot 3,55}{2}} \approx 72 (N),$$

- kus T_k – käigukruvi pöörlemismoment, Nm,
 P – käigukruvi samm, mm,
 d_2 – kerme keskläbimõõt, mm,
 μ_1 – hõõrdetegur mutri ja käigukruvi vahel (eeldatakse määrdet kasutamist),
 μ_2 – hõõrdetegur käigukruvi (või võlli) tugipinna ja reduktori vahel.

Telgjõudude alusel arvutati valemiga 3.2 [17] täituritele vastavad haaratsi surumisjõud (F_{T_1} , F_{T_2} , F_{T_3}):

$$F_{T_1} = \frac{F_{a_{\#1}} \cdot (1 - \mu)}{\tan(\beta)} = \frac{18 \cdot (1 - 0,1)}{\tan(15^\circ)} \approx 60 \text{ (N)}, \quad (3.2)$$

$$F_{T_2} = \frac{72 \cdot (1 - 0,1)}{\tan(15^\circ)} \approx 240 \text{ (N)}$$

$$F_{T_3} = \frac{6 \cdot (1 - 0,1)}{\tan(15^\circ)} \approx 20 \text{ (N)}$$

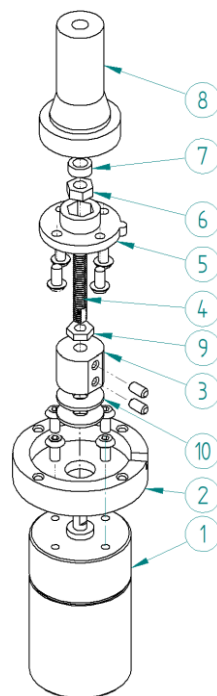
kus μ – hõõrdetegur koonusdetaili ja haaratsi tõukurite vahel,

β – $\frac{1}{2}$ koonusdetaili koonuse nurk α , °. Vältimaks koonusdetaili isepidurduse tekkimist, valiti esialgseks koonusdetaili koonuse nurgaks $\alpha=30^\circ$ (katseliselt määratud nurk, mille juures isepidurdust enam ei esinenud).

Kuna katseliselt määrati, et otsiku adapterist välja tõmbamiseks peab haarats suruma jõuga ca 100 N, siis järeldati, et täiturina on võimalik kasutada ainult elektrimootorit nr 2 (tabel 3.2). Antud mootori kasutamisel oli võimalus vajadusel suurendada koonuse nurka, sest mootori poolt tekitatav telgjõud ületas vajaliku üle kahe korra.

3.1.3. Täituri ja koonusdetaili sõlm

Elektrimootori võlli pöördliikumise muutmiseks koonusdetaili lineaarliikumiseks oli vaja konstrueerida vastav ühendussõlm. Välja töötatud lahendus on toodud seel 3.3.



Sele 3.3 Reduktoriga mootori, käigukruvi ja koonusdetaili ühendussõlm

Mootori reduktori (sele 3.3, pos. 1) külge kinnitub flants (2), mille abil antud alamkoost kinnitatakse magasin korpuse külge. Reduktori võlli otsa läheb sidur (3) ning siduri teise poolde kinnitub omakorda M4 keermega käigukruvi (4). Võlli ja käigukruvi otsad kinnitatakse radiaalsete seadekruvidega. Käigukruvi peale läheb indekseerimiskõrvaga vedaja (5). Vedaja sees olevas kuuskantavas asuvad M4 mutter (6) ja PUR kummist surupuks (7). Vedaja kinnitub koonusdetaili (8) külge. Käigukruvi pöörlemisega liigub mutter lineaarselt üles-alla ja vastavalt surub kas koonusdetaili (otsiku haaramine) või vedajat (otsiku vabastamine). Otsiku haaramisel mutri kohal paiknev surupuks deformeerub ning muudab seeläbi haaramise sujuvamaks (koonusdetail ei pidurdu nii järsult). Mutter on vedaja sees telje suunalise telglõtkuga (ca 0,5 mm). Seega olukorras, kus koonusdetail on mingil põhjusel siiski kinni kiilunud, saab mootor ilma koormuseta käivituda ja alles siis läheb vedajaga kontakti. Selleks, et vältida otsiku haaramisel tekkiva telgjõu otsest ülekandumist reduktorile, on käigukruvil kontramutter (9), mis keeratakse siduri ülemise otspinna vastu eelpingesse. Siduri alumine otspind omakorda toetub kahele plastist tugikettale (10), mis töötavad liugelaagrina.

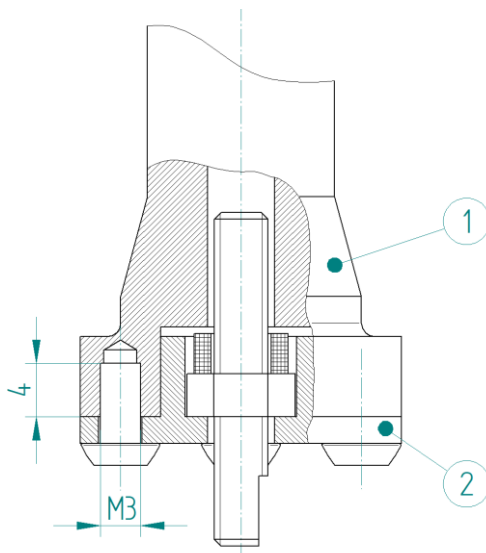
Välja töötatud sõlm on küllaltki keerukas koostada, kuna koosneb paljudest võrdlemisi väikestest detailidest. Keerulise konstruktsiooni tingis peamiselt asjaolu, et ajaliste piirangute tõttu ei leitud sobivate parameetritega mikromootorit, millel oleks käigukruvi tüüpi väljundvõll. Sellegipoolest arvati mõnevõrra kompleksne lahendus sobivaks, kuna prototüübi faasis on peamine eesmärk tagada sõlme ettenähtud töö ning kontrollida seadme kui terviku toimimist.

Võimaliku hilisema saritootmisse mineva toote jaoks oleks vaja:

- kas leida käigukruvivõlliga nõuetele vastav mikromootor;
- või konstrueerida spetsiaalne käigukruvi detail, mille kinnitamine mootori reduktori väljundvõlli külge on lihtsustatud.

3.1.4. Vedaja kinnituskruvide kinnitusmomendi määramine

Selel 3.4 on toodud koonusdetaili ja vedaja alamkoost. Otsiku haaramisel ei ole vedaja teljesuunaliselt koormatud, sest jõud kantakse käigumutrilt (läbi elastomeerpuksi) otse koonusdetailile. Koonusdetaili tagastamisel peaks üldjuhul vedajale mõjuv telgjõud olema marginaalne, sest koonusdetaili liikumine ei ole kuidagi takistatud. Ainuke olukord, kus vedajale mõjuv telgjõud võib järsult suurened, on siis, kui koonusdetail peaks kinni kiiluma. Koonusdetaili vabastamiseks vajalik jõud jääb vahemikku 50..80 N (määratud katseliselt).



Sele 3.4 Koonusdetaili (1) ja vedaja (2) koost. Vedaja kinnitatakse koonusdetaili külge nelja M3x6 kruviga

Magasini kasutuse käigus võib kinnikiilumisi esineda (nt tolmu või muude osakeste sattumine koonusdetaili tööpinnale suurendab hõõrdejõude, liugepindadel esineb defekte jne), kuid magasin ei tohiks seetõttu kaotada oma töövõimet. Kinnikiilunud koonusdetaili lahti tõmbamisel tekkiv telgjõud kandub üle vedaja kinnituskruvidele, milleks on neli M3x6 ümarpeakruvi tööosa pikkusega ca 4 mm. Vältimaks kruvide lahtitulekut, peaksid need seetõttu olema kinnitatud maksimaalse võimaliku kinnitusemomendiga. Kuna aga keermestatud avad on töödeldud otse plastikusse, siis on oht keermeniitide väljatõmbamiseks ning kasutatav moment tuli arvutuslikult määrata.

Uuringute kohaselt langeb teras detailidega keermeliites ca 1/3 toimivast telgjõust mutri (või muu keermestatud ava) esimesele keerule ning ca 55 % kogu jõust kahele esimesele keerule [18]. Terasest kruvi ja plastist keermestatud ava kohta vastavaid suhteid kirjandusest ei leitud ja seega tehti oletus, et ligilähedaselt sarnane seaduspära võiks kehtida ka plast/teras keermeliites.

Valemiga 3.3 [17] leiti kahe keeru summaarne lõikele töötav profiili põhja pindala A_{2k} :

$$A_{2k} = 2 \cdot \pi \cdot d \cdot p \cdot w_0 = 2 \cdot \pi \cdot 30,5 \cdot 0,48 \approx 5,2 \text{ (mm}^2\text{)}, \quad (3.3)$$

kus d – keeme nimiläbimõõt, mm,

p – keeme samm, mm,

w_0 – koefitsent keeme profiili laiuse jaoks.

Kuna POM-C plastiku nihketugevust τ_{SB} ei suudetud usaldusväärsest allikast leida, siis lähtuti homogeensete ja isotroopsete tahkiste kohta käivast seadusest, mis ütleb, et tahkise nihketugevus on $\tau_{SB} \approx 0,58 \cdot R_e$ (voolepiir). [19]

Seega plastist keermestatud (M3) ava kahe esimese keeru teoreetiline tugevuspiir nihkele saadi valemiga 3.5 [17]:

$$F_{teor2} = A_{2k} \cdot \tau_{SB} = A_{2k} \cdot 0,58 \cdot R_e = 5,2 \cdot 0,58 \cdot 65 \approx 200 \text{ (N)}, \quad (3.5)$$

kus R_e – POM-C voolepiir, MPa. [20]

Kogu keermeliite tööosa teoreetiline tugevuspiir kruvi telgjõust tekkivale nihkepingele seega:

$$F_{teor} = \frac{F_{teor2}}{0,55} = \frac{200}{0,55} \approx 360 \text{ (N)} \quad (3.6)$$

Arvutustes kasutatud lihtsustuste ning eelduste tõttu võeti varuteguriks 2 ning nii saadi keermestatud avale rakendatavaks lubatud telgjõuks $F_{lub} \approx 180 \text{ (N)}$.

Lubatud kruvi maksimaalne kinnitusmoment M_{lub} , mille puhul puudub oht keeme väljatõmbamiseks (tugevusvaru 2 korda), leiti valemiga 3.7 [21].

$$M_{lub} = F_{lub} \cdot \frac{0,5 \cdot d_2 \cdot \left(\frac{0,15}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + \tan\beta \right) + 0,15 \cdot \left(\frac{D_{kp}}{2}\right)}{1000} \quad (3.7)$$

$$= F_{lub} \cdot \frac{0,5 \cdot 2,68 \cdot \left(\frac{0,15}{\tan(30)} + \tan(3,1) \right) + 0,15 \cdot \left(\frac{5,6}{2}\right)}{1000} \approx 0,8 \text{ (Nm)},$$

kus d_2 – keeme keskläbimõõt ($d_2 = D_2$), mm,

α – keeme profiilinurk, °,

β – keeme heeliksi tõusunurk, °,

D_{kp} – kruvi pea läbimõõt, mm.

Lisaks arvutusele kontrolliti sobivat kruvi kinnitusmomenti praktikas dünamomeetrilise kruvikeerajaga, alustades kinnitusmomendist 0,4 Nm ning seejärel suurendades momenti 0,1 Nm sammuga. Selge keermeniitide väljatõmme toimus momendil ca 2 Nm (ühte moodi kolmel katsekehal). Samas teatav plastne deformatsioon oli tuntuav juba ca 1,5 Nm juures.

Arvutuste ja praktilise katse tulemuste põhjal valiti kasutatavaks kruvi kinnitusemomendiks 1,0 Nm.

Meeterkeerme kasutamine plastist detailides ei ole laialt levinud praktika. Seda tingivad põhiliselt:

- plastist keerme väiksem tugevus (võrreldes metallidega). Ohuks on nii eespool käsitletud keermeniitide väljatõmbamine kui ka keerme rikkumine vale nurga all sissekeeratava kruvi tõttu;
- plastdetailide valmistamistehnoloogia. Plastdetailid valmistatakse peamiselt survevalu meetodil ning antud protsessiga on keermestatud avade loomine keerukas (eriti väikeste läbimõõtude puhul). Seetõttu prevaleerib spetsiaalsete isekeermestavate plastikruvide kasutamine.

Kui keermeliite tugevus ei ole kriitiline, pakub plast/metall keermeliide ka teatud eeliseid:

- keermeliite iseeneslik lahtitulek (nt vibratsiooni tõttu) on vähem tõenäoline;
- võrreldes spetsiaalse plastikruviga, saab meeterkeermega liidet rohkem kordi lahti võtta ja uuesti koostada (keere on korrapärasem);
- meeterkeermega kruvide nomenklatuur on oluliselt suurem ja need on lihtsamini kättesaadavad ka väiksemates kogustes (oluline aspekt tootearenduse faasis).

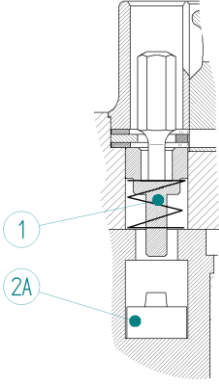
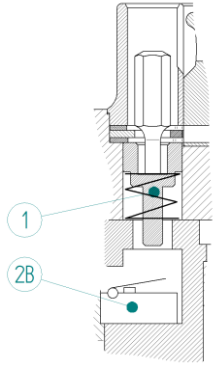
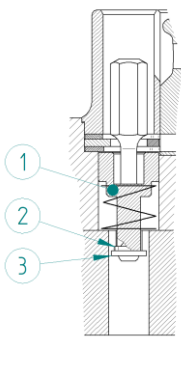
Koonusdetaili ja vedaja koostus (ja mõningates teistes magasinis sõlmedes) oli otse plastikusse töödeldud meeterkeere kasutusel seetõttu, et:

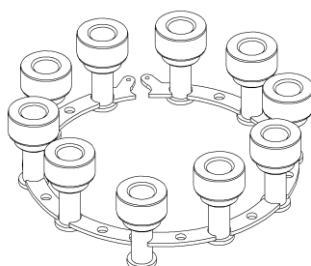
- terasinsertide jaoks ei ole piisavalt ruumi;
- liide peab olema mitmeid kordi koostatav ja uuesti lahtivõetav.

3.1.5. Otsiku sisestamise registreerimine

Optimaalse kasutusmugavuse saavutamiseks peab elektrilise magasinis haaratsmehhanism käivituma automaatselt peale seda, kui otsik on pesasse sisestatud. Seetõttu oli vaja leida lülituslahendus, mis registreeriks otsiku sisestamise ja saadaks signaali haarats-mehhanismi mootori käivitamiseks. Kaaluti kuute võimalikku lahendust – kolm kontaktlülitust ning kolm kontaktivaba lülitust (tabelid 3.3 ja 3.4).

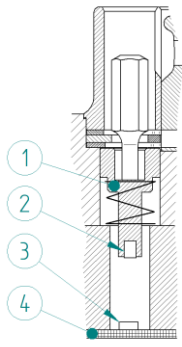
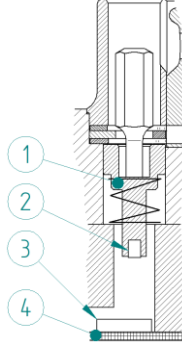
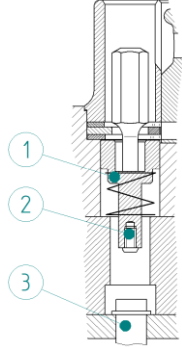
Tabel 3.3 Kontaktil põhinevad lülituslahendused

	Lahendus 1	Lahendus 2	Lahendus 3
	Nupp-tüüpi mikrolüliti pesa põhjas	Kang-tüüpi mikrolüliti pesa põhjas	Vooluahela (vt sele 3.5) katkestamine
Skeem			
Tööpõhimõte	Otsiku sisestamisel pesa surutakse otsiku tõukur (1) pesa põhja ja seega vajutatakse nupplüliti (2A)	Otsiku sisestamisel pesa surutakse otsiku tõukur (1) pesa põhja ja seega vajutatakse kanglüliti (2B)	Otsiku pesa sisestamisel surutakse otsiku tõukur (1) alla ning sellega katkestatakse tõukuri küljes oleva ketasklemmi (2) ja kaarklemmi (3) kontakt – katkestatakse läbi pesade jooksev vooluahel. Vooluahela katkemine on kontrolleri signaaliks
Eelised	- saab kasutada soodsaid ostutooteid	- saab kasutada soodsaid ostutooteid	- otsiku pesa sisestamise jõud ei oluline - koostamine lihtsam - kompaktne
Puudused	- otsikut võidakse suruda pesa põhja küllatki suure jõuga ja seega on suur lüliti purunemise oht; - keeruline koostada; - mikrolüliteid hoidev detail keerulise geomeetriaga	- otsikut võidakse suruda pesa põhja küllatki suure jõuga ja seega on lüliti purunemise oht; - keeruline koostada; - mikrolüliteid hoidev detail keerulise geomeetriaga ja võtab palju ruumi	- ei saa kasutada ostutooteid - välisest keskkonnast pärit osakesed (puru, laast jms) võivad jääda klemmide vahele ja takistada klemmide sulgumist - klemmid võivad oksüdeeruda



Sele 3.5 Lülituslahenduses nr 3 kasutatav ringikujuline nn *normally closed* vooluahel. Otsiku tõukuri alla surumine lahutab klemmid ja ahel katkestatakse.

Tabel 3.4 Kontaktivabad lülituslahendused

	Lahendus 4	Lahendus 5	Lahendus 6
	Diskreetse väljundiga Halli andur lüliti pesa põhjas	Keelrelee pesa põhjas	Induktiivandur pesa põhjas
Skeem			
Tööpõhimõte	Otsiku sisestamisel pesa surutakse otsiku tõukur (1) pesa põhja. Pesa põhja liikudes liigub tõukuri küljes olev silindermagneti (2) magnetväli pesa põhjas olevale Halli anduri rakendustsooni ning andur saadab signaali.	Otsiku sisestamisel pesa surutakse otsiku tõukur (1) pesa põhja. Pesa põhja liikudes liigub tõukuri küljes olev silindermagneti (2) magnetväli pesa põhjas olevale keelrelee rakendustsooni ning relee saadab signaali.	Otsiku sisestamisel pesa surutakse otsiku tõukur (1) pesa põhja. Pesa põhja liikudes liigub tõukuri küljes olev teraskruvi (2) pesa põhjas oleva induktiivanduri rakendustsooni ning andur saadab signaali.
Eelised	- kontaktivaba lülitus – ei toimu mehaanilist kulumist - saab kasutada soodsaid ostutooteid - kompaktne - trükkplaadile (4) joodetud andurid, muudavad koostamise lihtsamaks	- saab kasutada soodsaid ostutooteid - suhteliselt kompaktne - trükkplaadile (4) joodetud andurid, muudavad koostamise lihtsamaks	- kontaktivaba lülitus – ei toimu mehaanilist kulumist
Puudused	- andurit võivad mõjutada teiste komponentide poolt tekitatavad magnetväljad	- andurit võivad mõjutada teiste komponentide poolt tekitatavad magnetväljad - anduris olevad klemmid võivad teatud juhtudel kinni jääda	- andurite suuruse tõttu on lahendus mittekompaktne

Väljatoodud kuuest võimalikust tööpõhimõttest jäid otsustuse faasis konkureerima Halli anduritel (lah. nr 4) ja keelreleedel (lah. nr 5) põhinevad lahendused. Mõlema lahenduse määravad positiivsed küljed antud rakenduse kontekstis olid järgnevad:

- kontaktivaba lülitus tagab sõlme pikema eluea (otsiku tõukur ja andur ei puutu füüsiliselt kokku);

- ühel (kettakujulisel) trükkplaadil asuvad andurid muudavad lõppkoostamise lihtsamaks;
- kasutatavad komponendid on soodsa hinnaga.

Lõpuks valiti Halli andurid, sest:

- Halli andur on nn *solid-state* komponent ja seega puuduvad lülitis liikuvad osad – eluiga pikem. Keelrelee on elektromehaaniline komponent, kus klemmid magnetvälja toimele kokku tõmmatakse. Mehaanilise olemuse tõttu võib neis esineda tõrkeid, näiteks relee klemmide kinni jäämist;
- saadaolevad Halli andurid on gabariitmõõtetelt väiksemad kui vastavad keelreleed.

Nagu eelnevalt ka välja toodi, võib mõlema lülitustüübi puhul probleemiks olla teiste elektriliste komponentide poolt tekitatavad magnetväljad. Nii võib näiteks magasinis täituriks oleva alalisvoolu mootori poolt tekitatav magnetväli Halli andurit või keelreleed mõjutada (rakendada), kuna mootor asub lülitile küllaltki lähedal. Eeldati aga, et antud probleem on võimalik lahendada tarkvaraliselt:

- sellel ajal kui oodatakse lüliti signaali, mootor ei tööta – mootori magnetvälja ei esine;
- sellel hetkel, kui mootor käivitatakse, lülitatakse ühtlasi andurite ahel ajutiselt välja.

3.1.6. Koonusdetaili ülemise piirasendi registreerimine

Koonusdetaili ülemises piirasendis toimub otsiku haaramine läbi haaratsmehhanismi. Seetõttu on koonusdetaili ülemise piirasendi korrektne registreerimine seadme töötamise seisukohast kriitilisega tähtsusega. Otsikute haaratav kuuskant-osa on standardsete mõõtetega (vastvalt standardile ISO 1173) [6], kuid tulenevalt vastavatest valmistustolerantidest võivad kuuskant-osa mõtteline ümberjoonestatava ringjoone tegelik läbimõõt ning seega ka koonusdetaili ülemine piirasend varieeruda. Sel põhjusel ei olnud ülemise piirasendi registreerimine mehaanilise lõpulüliti või kontaktivaba anduriga praktikas mõistlikult teostatav.

Alternatiivse lahendusena otsustati koonusdetaili lõppasendi registreerimiseks kasutada mootori voolutugevuse reaajas mõõtmist - kui haaratsmehhanism läheb otsikuga kontakti, hakkab mootori voolutarve kiiresti tõusma ning kontrolleri registreerib

etteantud lävendväärtuse ületamise. Kui lävendväärtus on ületatud, seiskab kontrolleri mootori.

Lahenduse eelised:

- tagab võimalikult konstantse otsiku haaramisjõu sõltumata haaratava otsiku kuuskant-osa tegelikest mõõtmetest ning koonusdetaili lõppasendist;
- volutarbe mõõtmiseks vajaliku komponendi saab paigutada seadme elektroonika sektsiooni, kus on oluliselt väiksemad ruumi piirangud võrreldes haaratsmehhanismi sõlmega;
- korrektselt valitud lävendväärtus aitab kaitsta mootorit ülekoormamise eest.

Selel 3.3 (koonusdetaili ühendus täituriga) positsioonis 7 on näidatud käigukruvi mutri ja koonusdetaili vahel olev PUR kummist surupuks. Antud surupuks muudab ühelt poolt otsiku haaramise mehaaniliselt sujuvamaks ning teisalt tagab selle, et otsiku haaramisega kaasnev volutarbe tõus ei oleks liiga järsk. Sujuvamalt toimuv volutarbe tõus võimaldab lävendväärtuse ületamist täpsemalt registreerida ning seeläbi tagada omakorda konstantsemat haaramisjõudu.

3.1.7. Koonusdetaili alumise piirasendi registreerimine

Peale otsiku haaramist liigub haaratsmehhanismis olev koonusdetail (sele 3.2) töötsoonist välja (alla, kui magasin on asetatud horisontaalsele pinnale). Selleks, et koonusdetaili vedav mootor seiskuks õigel hetkel, peab kontrolleri saama signaali, et koonusdetail on jõudnud oma töökäigu alumisse piirasendisse.

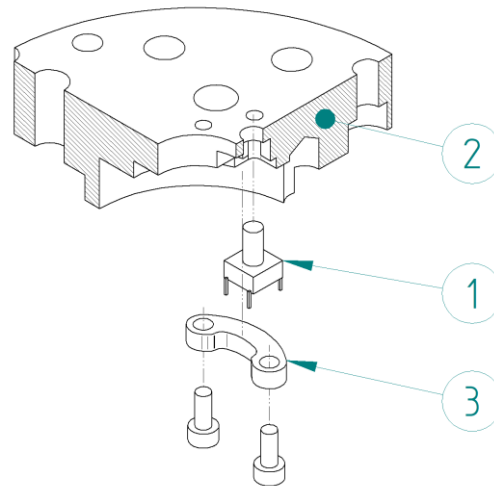
Kuna koonusdetaili lõppasendit registreeriv andur peab paiknema küllatki lähedal elektrilisele täiturile, siis välistati magnetvälja olemasolule reageerivad andurid (Halli andur, keelrelee). Vastasel juhul võinuks elektrilise täituri poolt tekitatav magnetväli hakata segama anduri korrektset tööd.

Väga piiratud ruumi tõttu välistati ka induktiivanduri kasutamine ning valikusse jäid mehaanilised mikrolülitiid. Mikrolüliti täiendavaks eeliseks antud rakenduses on suhteliselt konkreetne lülitushetk võrreldes osade kontaktivabade anduritega.

Valiti nupp-tüüpi mikrolüliti, sest:

- antud tüüpi lüliti on väga kompaktnes;
- saadaval on erineva nupu pikkusega lülitiid, mis lihtsustasid lüliti optimaalset paigutamist koostus.

Üldiselt on seda tüüpi mikrolülitiid joodetud trükkplaadile ja seega eraldi kinnitamist ei vaja. Kuna antud koostus ei olnud lülitid jootmine eraldi trükkplaadile otstarbekas, kasutati lülitid (sele 3.6, pos. 1) kinnitamiseks vaheketta (2) külge spetsiaalset klambrit (3). Kuna nii vaheketas kui klamber valmistatakse plastist (POM-C), siis puudub klemmide lühistamise oht.



Sele 3.6 Lõpulülitina toimiva mikrolülitiid kinnitus vaheketas

Lülitist tulevate juhtmete ühendamise elektroonikamooduliga nähti ette pistik-tüüpi ühendustega (mitte joodistega), kuna antud lülitid paigaldatakse koostu enne moodulit.

3.1.8. Konstruksioonis kasutatud materjalide ülevaade

Elektrilise magasinid prototüübid koostus olevate detailide materjali valikul lähtuti suurel määral kogemustest, mis olid varasemalt saadud mehaaniliste prototüüpid ja seeria toodete arendusel, valmistamisel ning katsetamisel. Materjalide valikut mõjutas oluliselt nn tootmiskeskse projekteerimise põhimõtte kasutamine – iga detaili konstrueerimisel pöörati tähelepanu sellele, et seda oleks tehnoloogiliselt võimalikult lihtne toota ka väikeseeria tingimustes.

1) POM-C (ISO 29988-1:2004) [22], [23] ehk atsetaal kopolümeer – heade mehaaniliste omadustega (tugevus, kulumiskindlus, jäikus, mõõtmete püsivus) termoplast, mis on hästi lõiketöödeldav küllaltki laias lõikerežiimide aknas. Materjalile on iseloomulik madal hõõrdetegur, mis on antud rakenduses oluline liughõõrde tingimustest töötavate pindade puhul (nt koonusdetail/haaratsi tõukurid, koonusdetail/südamik, alumine korpus/ otsiku tõukurid).

POM-C-st valmib magasinid alumine ja ülemine korpus, südamik, koonusdetail, otsiku tõukurid, haaratsi tõukurid, vaheketas ning veel osa väiksemaid detaile.

- 2) AISI 304 (EN 10088-2:2005 X5CrNi18-10 1.4301) [24] – roostevaba teras. Antud materjalist valmistatakse magasinini haaratsmehhanismi suuremat tugevust ja kulumiskindlust (võrreldes plastiga) nõudvad detailid. Roostevaba terast kasutatakse kuna:
- see välistab vastavate detailide korrosiooni (ka siis kui detaili pind mehaaniliselt kulub);
 - detailid ei magneetu magnetadapteris või otsiku tõukurites olevate magnetite mõjul. Kuigi AISI 304 puhul on tegemist küllaltki plastse ja pigem pehmema terasega (ca HB 123), siis on senine kogemus näidanud, et antud rakenduses sellisest kõvadusest piisab, et tagada seadme töökindlus pikema kasutusaja vältel. Sellest materjalist valmistatakse stopperkeeled, haaratsid, matriits ning ülemine ja alumine matriitsi ketas.
- 3) EN 10025-2:2000 S355JR (1.0045) [17] - mittelegeerkonstruktsioonteras voolepiiriga ca 355 MPa. Laialt levinud ja suhteliselt hästi lõiketöödeldav terase mark. Antud materjalist valmistatakse mootori kinnitus flants ning käigukruvi ühendus sidur. Saritootmise korral vajaksid need detailid korrosioonivastast pinnet (nt elektrolüütiline tsinkimine).
- 4) ISO 1874-1:2010 PA6 [23] ehk polüaamiid – tugev ja jäik termoplast, mida laialdaselt kasutatakse plasti survevalu meetodil valmistatavate detailide materjalina. Tulenevalt headest mehaanilistest omadustest üks peamisi materjale, millest valmistatakse kõrgema kvaliteediga tööriistade korpuseid. Elektrilise magasinini prototüübis kasutatakse PA6-te 3D-prinditavate (valikuline laser-paagutus tehnoloogia) detailide materjalina. Vastav printimistehnoloogia koos antud materjaliga võimaldab valmistada geomeetriselt küllaltki täpseid detaile. PA6-st valmistatakse(koonusdetaili) vedaja, elektroonika mooduli raam, korpuse põhi, patarei tasku kaas ning esipaneel.
- 5) ISO 1629:1992 PUR ehk polüuretaankummi [17] – elastne, kulumiskindel kumm, mis kannatab kokkupuudet õlide ja määretega. Antud materjalist valmistatakse surupuks, kuna käigukruvi, millel see istub, on määratav detail.

3.2. Magasini elektriosa

Elektrilise magasinini prototüübi käitamiseks kasutatav elektrisüsteem koostati peaausjalikult hobi- ja arenduskomponentidest (erandiks Halli andurite trükkplaat). Kuigi spetsiaalselt selleks otstarbeks koostatud trükkplaat oleks olnud kahtlemata mõõtmel

kompaktsem, siis valmis ostukomponendid võimaldasid suuremat paindlikkust ning süsteemi kiiremat koostamist. Loodud elektriskeem on toodud lisa (Lisa 2) ning kasutatud komponendid (v.a. mootor) on toodud tabelis 3.5.

Tabel 3.5 Prototüübis kasutatud elektrisüsteemi komponendid [25]

Funktsioon	Ostukomponent	Peamised parameetrid
Kontroller	Arduino Mirco	Tööpinge 5V, digitaalseid I/O pinne 20, analoog I/O kanaleid 12
Mootori juhtseade	Adafruit DVR8871	Mootor pinge $U=6,5..45$ V, loogika pinge kuni 5,5 V, $I_{max} = 3,6$ A
Voolumõõtja	Adafruit INA_219	$U_{max} = +26$ V, $I_{max}=3,2$ A, resolutsioon $\pm 0,8$ mA
Halli andur (diskreetne väljund)	Taiwan Semiconductor TSH282CT B0G	Unipolaarne, sisendpinge $U=3..24$ V, SOT-23 kujundus
Lõpulüliti	Nupp-tüüpi mikrolüliti G4SP (geneeriline tootja)	Nupu kõrgus $h=6$ mm
Piesoelektriline sumisti	Multicomp Pro MCKPT-G1210-3916	3 V, 2 mA, 80 dB
ON/OFF lüliti	Lüliti T125 (geneeriline tootja)	...

3.2.1. Halli andurite kaugus otsiku tõukuritest

Otsiku sisestamisel magasinis pesasse liigub otsiku tõukur maksimaalselt 6,5 mm ulatuses pesa sisse kuni otsiku kuuskant-osa jõuab haaratsi tööalasse. Sellest liikumisulatusel lähtuvalt tuli Halli andurid paigutada optimaalsele kaugusele otsiku tõukurist.

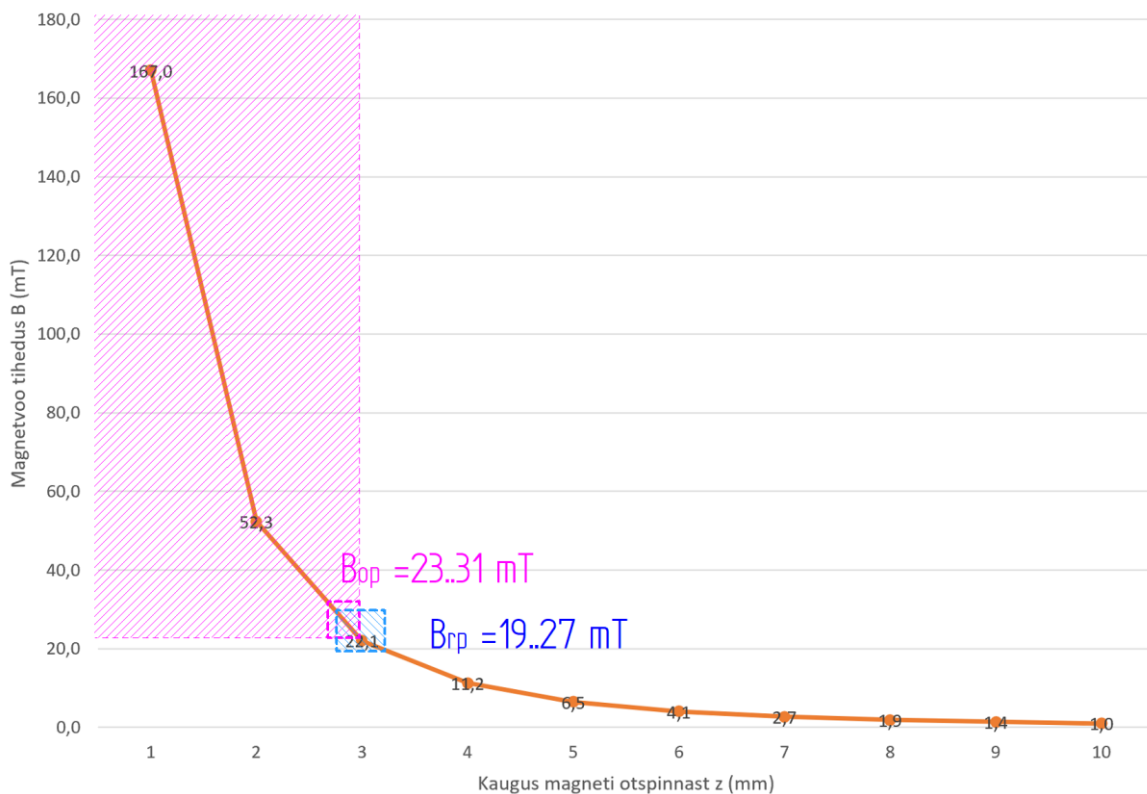
Valitud Halli andurid on digitaalse väljundsignaaliga ja signaal genereeritakse siis, kui magnetvoo tihedus anduri juures jõuab teatud lävendväärtuseni (B_{op}). Signaal lakkab, kui magnetvoo tiheduse väärtus langeb alla vastava lävendväärtuse (B_{rp}). Seejuures ei ole antud väärtused konstandid, vaid need antakse teatud väärtuste piirkondadena. Sellest tulenevalt oli andur vaja paigutada otsiku tõukurist sellisele kaugusele, et n-ö üleval asendis oleva tõukuri magneti magnetvoo tihedus ei ulatuks anduri B_{op} piirkonda. Alla surutud tõukuri magnet peaks aga olema andurile piisavalt lähedal, et jõuda rakenduspiirkonda ja andur rakendada.

Valemiga 3.8 [26] leiti kõigepealt kasutatava silindermagneti poolt tekitatava magnetvälja magnetvoo tihedus B (mT) 10 mm ulatuses magneti otspinnast.

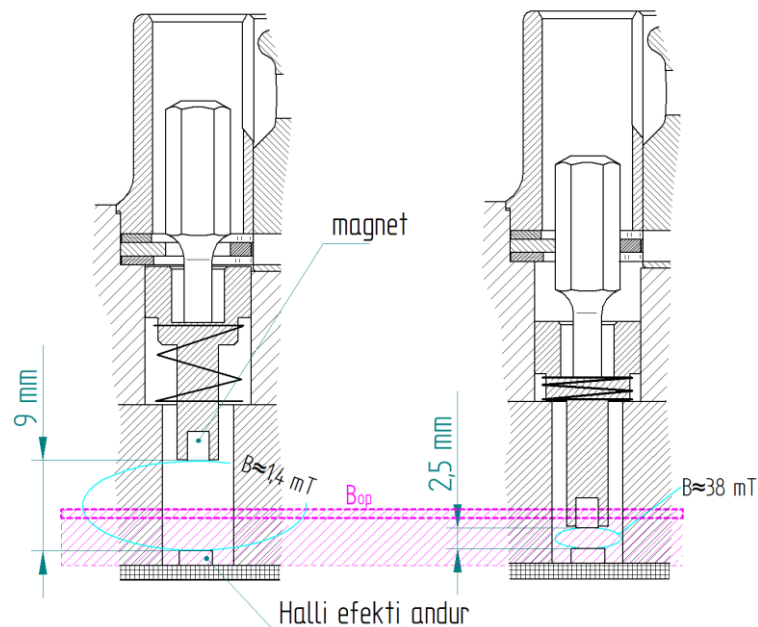
$$B = \frac{B_r}{2} \left(\frac{D+z}{\sqrt{R^2 + (D+z)^2}} - \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right), \quad (3.8)$$

kus B_r – jääk magneetuvus materjalis peale välise magnetvälja kadumist , mT,
 D – silindermagnetid kõrgus, mm,
 R - silindermagneti raadius, mm,
 z – kaugus magneti otspinnast, mm.

Arvutus teostati tabelarvutusprogrammiga ning saadud tulemused on esitatud graafiku kujul selel 3.7. Graafikul on näidatud ka valitud Halli anduri [25] rakenduspiirkond (B_{op} – roosa kast) ning vabastuspiirkond (B_{rp} – sinine kast). Viirutusega ala on see, mille puhul andur on rakendunud. Graafikult on näha, et rakenduspiirkonna kese ehk tüüpiline magnetvoo tihedus, mille juures andur rakendub, asub silindermagneti otspinnast ca 2,7 mm kaugusel. Et garanteerida anduri rakendumine asetati andurid selliselt (sele 3.8), et otsiku tõukuri alumise asendi korral oleks anduri ja tõukuris oleva magneti otspinna vahekaugus nominaalselt 2,5 mm. Sellele asendile vastab magnetvoo tihedus ca 38 mT, mis kindlustab anduri rakendumise. Otsiku ülemises asendis on magneti ja anduri vaheline kaugus 9 mm ning magnetvoo tihedus anduri juures ca 1,4 mT. Seega ei saa andur rakenduda n-ö oote olekus juhuslikult.



Sele 3.7 Magnetvoo tiheduse vähenemine kaugenedes otsiku tõukurites kasutatava silindrilise magneti otspinnast. Näidatud on ka Halli anduri rakendumisala B_{op} ja vabastusala B_{rp} .



Sele 3.8 Arvutustulemuste alusel määratud otsiku tõukuri piirasendid ning vastavad magnetvoo tihedused Halli anduril. Üleval asendis on magnet andurist piisavalt kaugel, et see ei saaks rakenduda. All asendis on magnet andurile piisavalt lähedal, et garanteerida selle rakendumine

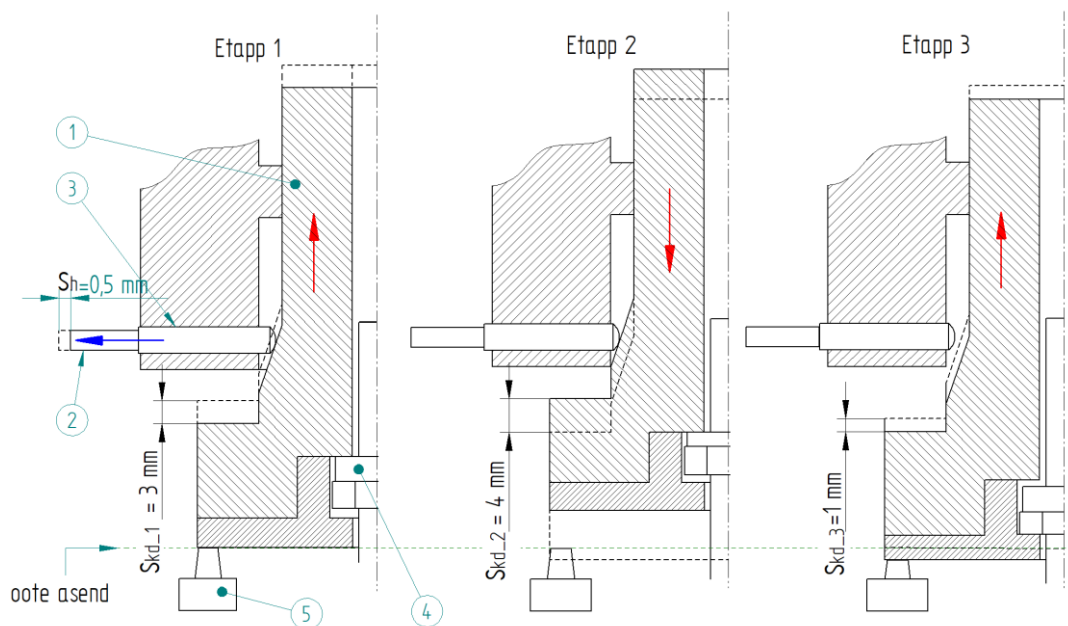
3.2.2. Magasini mootori energiatarbe arvutus

Elektrilise magasinimootori orienteeruva energiatarbe määramiseks vaadati töötsükli erinevaid etappe eraldi ja hinnati mootori koormatust erinevates etapi faasides.

Töötsükkel koosneb kolmest peamisest etapist ning iga etapi ajaline kestvus ning koormusolukord on erinev. Mootori töötamise aeg ühes etapis sõltub etapi käigus koonusdetaili (sele 3.9, pos. 1) poolt tehtava lineaarse siirde teepikkusest ning lineaarliikumise kiirusest. Siirete teepikkus omakorda on määratud haaratsi (2) ja haaratsi tõukuri (3) tööks vajaliku liikumisulatusega. Mehaanilise magasinimootori arendamisel saadud kogemustest määrati optimaalseks haaratsi liikumisulatuses $S_h = 0,5$ mm.

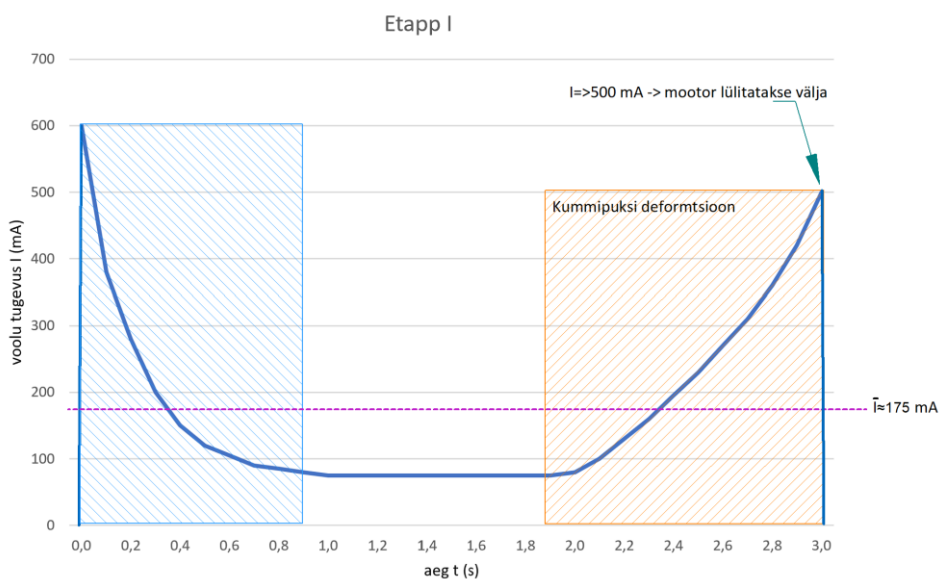
Töötsükli etapid (sele 3.9):

- etapp 1 - mootor saab käivitussignaali (CW) ja koonusdetail liigub töötsükli - siirde pikkus $s_{kd_1} \approx 3$ mm (arvestatud on ka surupuksi, pos. 4, deformeerumist);
- etapp 2 - mootor saab käivitussignaali (CCW) ja koonusdetail liigub töötsüklist ära, kuni jõuab lõpulülitini (5) - siirde pikkus $s_{kd_2} \approx 4$ mm;
- etapp 3 - mootor saab käivitussignaali (CW) ja koonusdetail vabastab lõpulüliti - siirde pikkus $s_{kd_3} \approx 1$ mm;



Sele 3.9 Otsiku haaramise töösükli etapid 1,2 ja 3

Selel 3.10 on toodud esimese etapi eeldatav voolutarbe graafik, lähtudes mootori tootja andmetest ja võrreldava mootori katseandmetest. Käivitusel tekib alalisvoolu-mootoritele iseloomulik kõrge käivitusvool. Seejärel voolutarve oluliselt langeb ja hetkeks stabiliseerub (koonusdetail liigub ilma koormuseta ühtlaselt). Kui koonusdetail jõuab tööalasse ja haarats läheb otsikuga kontakti, hakkab telgjõudu üle kandva mutri peal olev surupuks deformeeruma ning voolutarve tõusma. Kui voolutarve jõuab programmis määratud lävendväärtuseni $I=500$ mA, lülitatakse motor välja.



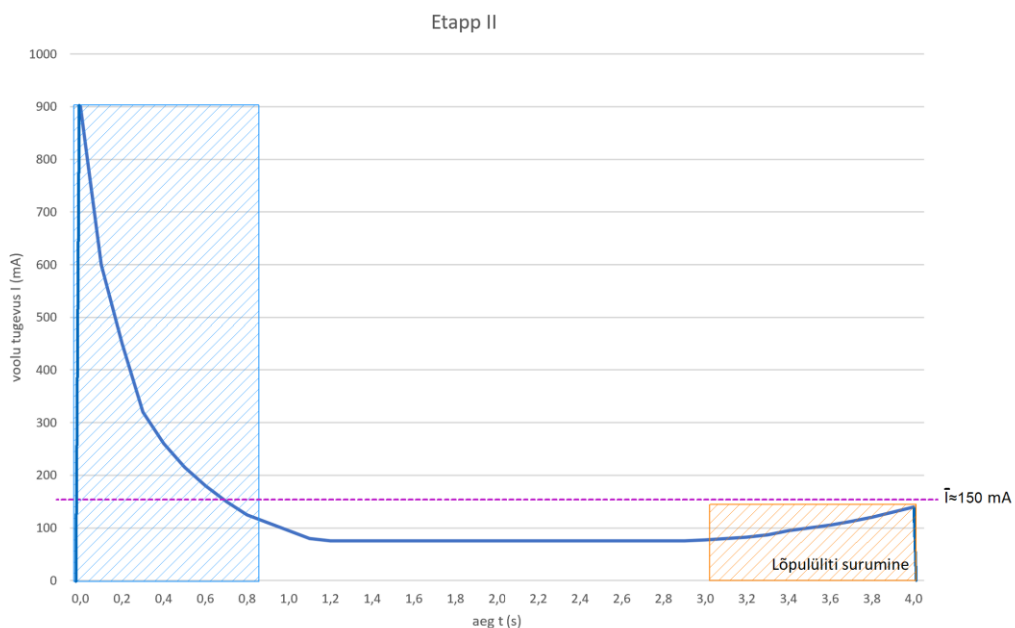
Sele 3.10 Hinnanguline voolutarbe muutumine etapis 1 ning keskmine voolutarve \bar{I}_1

Voolutarve etapi vältel on keskmiselt $\bar{I}_1 \approx 175$ mA ja etapi summaarne energiatarve E_{e1} seega [17]:

$$E_{e1} = P \cdot t = U \cdot I \cdot t = U \cdot \bar{I}_1 \cdot \frac{s}{v} = 7,5 \cdot 0,19 \cdot \frac{3}{1} \approx 3,9 \text{ (Ws)}, \quad (3.9)$$

kus U – toiteallika pinge, V,
 s – etapi käigus tehtav koonusdetaili lineaarne siire, mm,
 v - koonusdetaili lineaarliikumise kiirus, s.

Selel 3.11 on toodud teise etapi eeldatav voolutarbe graafik. Käivitusvool on esimese etapiga võrreldes kõrgem, kuna etapi alguses on koonusdetail surutud asendis (käigumutrile mõjub telgjõud) ning sellest tulenevalt on seisuhõõrde ületamiseks vajalik suurem moment. Etapi keskel toimub koormamata koonusdetaili ühtlane liikumine. Etapi lõpus voolutarve vähesel määral suureneb, kuna koonusdetail hakkab suruma lõpulülitit.

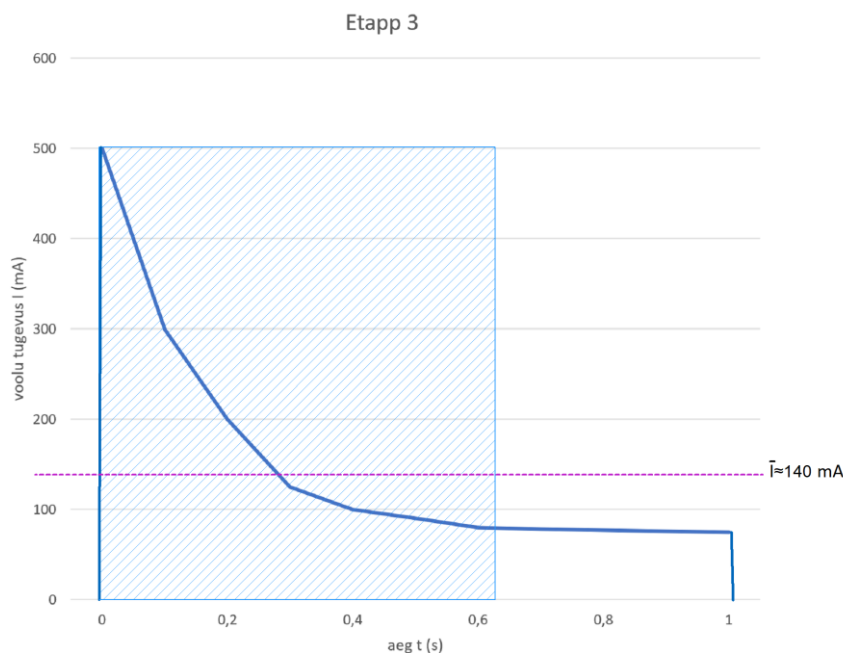


Sele 3.11 Hinnanguline voolutarbe muutumine etapis 2 ning keskmine voolutarve \bar{I}_2

Voolutarve etapi vältel on keskmiselt $\bar{I}_2 \approx 150$ mA ja etapi summaarne energiatarve E_{e2} seega:

$$E_{e2} = U \cdot \bar{I}_2 \cdot \frac{s}{v} = 7,5 \cdot 0,15 \cdot \frac{4}{1} \approx 4,4 \text{ (Ws)} \quad (3.9)$$

Selel 3.12 on toodud kolmanda etapi eeldatav voolutarbe graafik. Kõrgele käivitusvoolule järgneb hetkeline stabiliseerumine.



Sele 3.12 Hinnanguline voolutarbe muutumine etapis 3 ning keskmine voolutarve \bar{I}_3

Voolutarve etapi vältel on keskmiselt $\bar{I}_3 \approx 140$ mA ja etapi summaarne energiatarve E_{e3} seega:

$$E_{e3} = U \cdot \bar{I}_3 \cdot \frac{s}{v} = 7,5 \cdot 0,14 \cdot 1 \approx 1,1 \text{ (Ws)} \quad (3.9)$$

Leiti summaarne ühe töötsükli energiatarve E_{ts} :

$$E_{ts} = E_{e1} + E_{e2} + E_{e3} = 4,1 + 4,4 + 1,1 = 9,4 \text{ (Ws)} \quad (3.10)$$

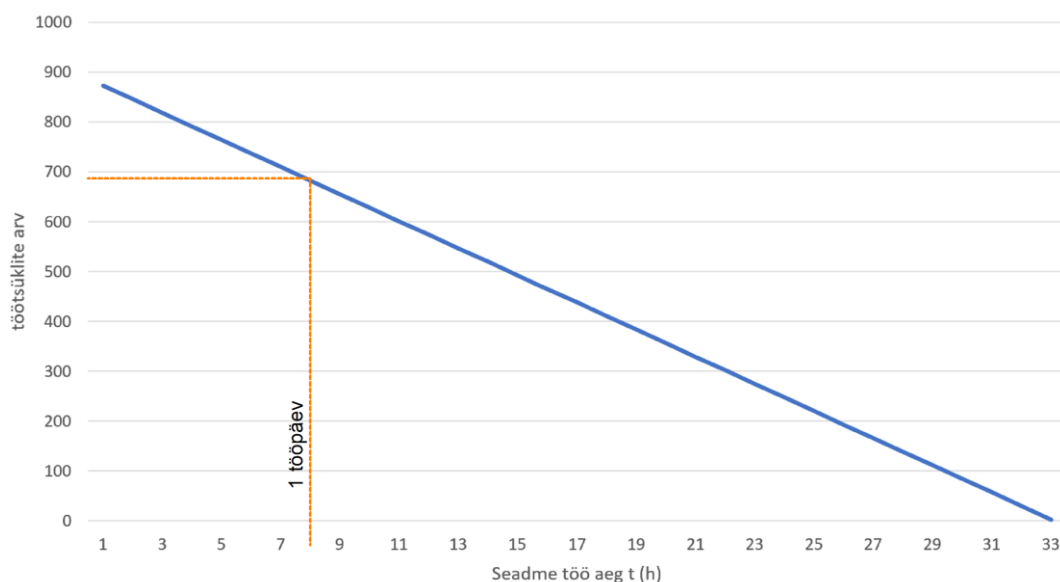
Hindamaks seda, kui mitu töötsükli (otsiku sisestust) on võimalik teha täislaetud 9V patareiga varustatud magasiniga, leiti 9V patarei teoreetiline energiahulk E_{bat} . Energia hulga arvutusel lähtuti allikas [27] toodud empiirilistest patarei tühjenemise katsetest. Katsed näitasid, et patarei tühjenemisel ca 300 mAh võrra kaasneb pinge langus 9 voldist kuni 7 voldini. Sealt edasi kukub pinget järsult 0 voldini. Seetõttu kasutati arvutusel keskmist pinget 8 V ning realselt kasutatavat mahtuvust 300 mAh.

$$E_{bat} = U \cdot I \cdot t = 8 \cdot 0,3 \cdot 3600 \approx 8640 \text{ (Ws)} \quad (3.11)$$

Võttes aluseks ainult elektrimootori käitamise energiavajaduse, saadi töötsükli arvuks n_{ts} :

$$n_{ts} = \frac{E_{bat}}{E_{ts}} = \frac{8640}{9,4} \approx 900 \quad (3.12)$$

Tegelikult kulub osa patarei energiast ka kontrolleri ja muude elektriskeemi komponentide toiteks. Seega tegelik töötüklite arv sõltub sellest, millise aja jooksul töötüklid tehakse, sest andurid ja kontroller tarbivad voolu ka ooterežiimis (kui seade on sisse lülitatud). Selel 3.13 on toodud seadme sisselülitatud oleku aja ja töötüklite arvu seos. Nii näiteks on ühe tööpäeva jooksul (8h) võimalik teha ca 680 otsiku vahetust.



Sele 3.13 Täislaetud patareiga tehtavate otsiku vahetuste arvu ja seadme ooteaja seos

Kuigi leitud töötüklite arv on kooskõlas lähteülesandes määratud nõudega (vähemalt 500 vahetust täpsustamata aja jooksul), siis vahetuste arvu niivõrd suur sõltumine ooteajast on kahtlemata negatiivne. Ooteajaga oleks võimalik pikendada:

- elektriskeemi ja juhtprogrammi optimeerimisega;
- universaalse arenduskontrolleri (Arduino Micro) ja teiste arenduskomponentide asendamisel spetsiaalse trükkplaadiga, millel pole ebavajalikke funktsionaalsusi ning mis kasutab seega vähem voolu;
- suurema mahtuvusega vooluallika kasutamisel.

Kuna loodava magasinini prototüübi esmaseks eesmärgiks on uurida seadme funktsionaalsust ja kontrollida mehaanika lahenduse toimivust, siis loeti saadud tulemused esialgu rahuldavaks.

Eelnevalt loetletud ooteaja pikendamist võimaldavad muudatused oleks kindlasti vajalik sisse viia võimaliku tulevase elektrilise magasinini seeriatoote välja töötamisel.

3.3. Magasini kontrolleri programmeerimine

Kontrolleri programmi kirjutamiseks koostati otsikute vahetamise töötsükli kirjeldus. Töötsükkel hõlmab tegelikkuses ainult otsikute sisestamist, sest otsiku võtmine magasinist ei puuduta haaratsmehhanismi ja on täies ulatuses mehaaniline protsess.

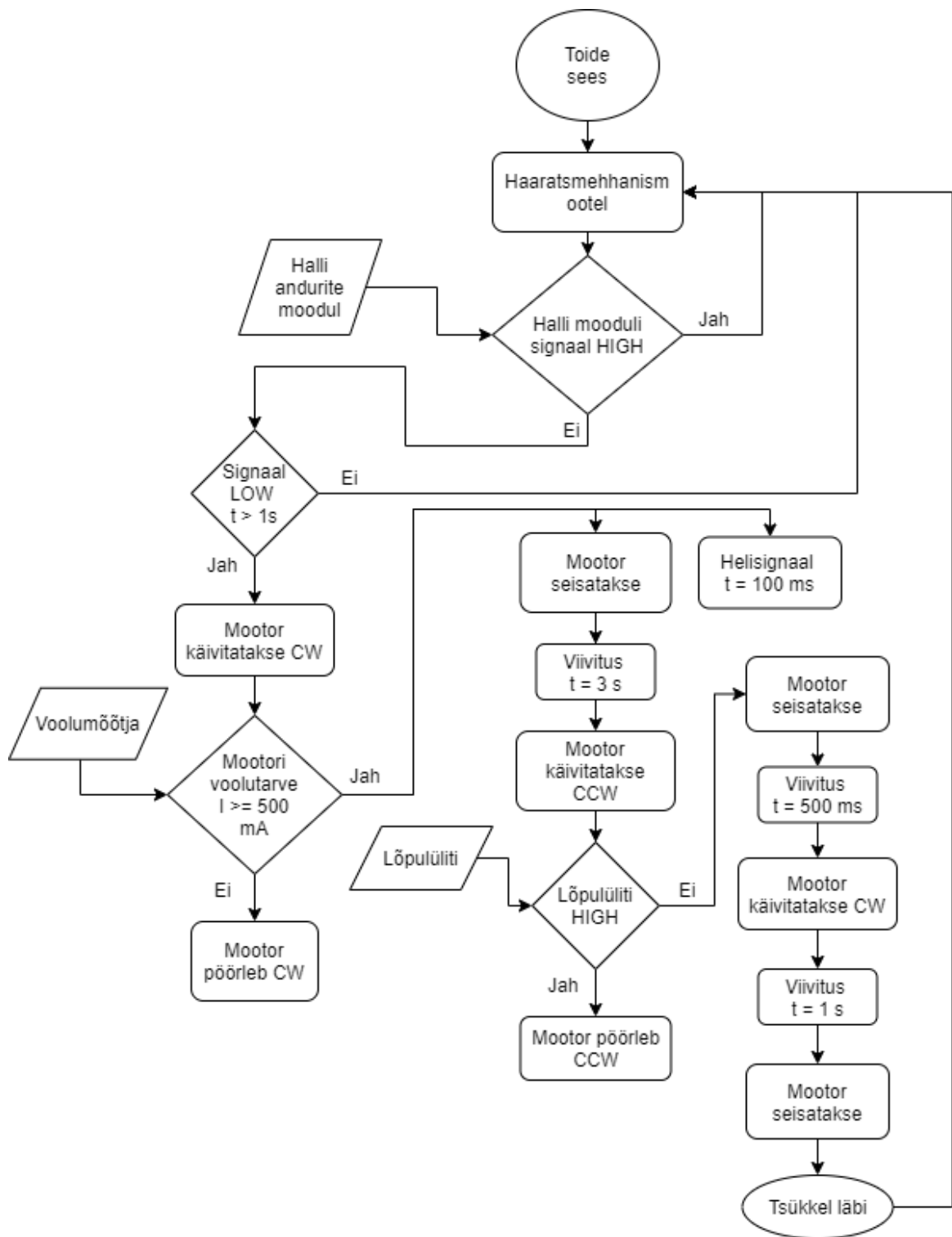
Otsiku sisestamise tsükkel on järgmine:

/ ON/OFF nupust lülitatakse seade sisse -> seade on ooterežiimil /

- otsiku sisestamisel aktiveeritakse üks kümnest Halli andurist. Kui andur on aktiveeritud üle 1 sekundi, on see signaaliks kontrolleri mootori käivitamiseks. Katkestuse pikkus on oluline, et vältida mootori käivitamist otsiku võtmisel pesast (ka siis surutakse korraks otsiku tõukur alla ja seega võib toimuda hetkeline lüliti aktiveerimine);
- mootor käivitub ning koonusdetail hakkab liikuma töösooni;
- kui koonusdetail hakkab otsikut kinni suruma, registreerib kontrolleri mootori voolutarve tõusu. Teatud lävendi ületamisel lülitab kontrolleri mootori välja ning ühtlasi antakse sellest kasutajale teada lühikese helisignaaliga;
- rakendub viivitus (3 s), mille jooksul kasutaja peab adapteri pesast välja tõmbama;
- kui viivitus on möödunud, käivitub mootor vastupidises suunas ja koonusdetail liigub tagasi (ühtlasi haarats vabastab otsiku ning otsiku tõukur surub otsiku tööalast välja vastu stopperkeelt);
- mootor pöörleb, kuni koonusdetail on jõudnud lõpulülitini ja lüliti saadab kontrolleri signaali mootori peatamiseks;
- peale mootori seiskumist käivitab kontrolleri mootori uuesti päripidi pööreldes üheks sekundiks, et vabastada lõpulüliti surutud olekust
- (peale ühte sekundit töötamist) mootor seiskub ja jääb uue tsükli ootele

/ tsükkel läbi /

Töötsükkel on plokkiagrammi kujul toodud seel 3.14. Kõik esialgselt määratud viivitused, lävendid ja muud parameetrid korrigeeritakse vajadusel peale prototüübi magasinist katsetusi.



Sele 3.14 Magasini töösükli juhtprogrammi ülesehitus

4. MAJANDUSLIK OSA

Majanduslikus osas arvutatakse elektrilise magasiniga omahind eeldusel, et valmistatav toode baseerub otseselt loodaval prototüübil. Toote omahinna moodustavad kulud toormaterjalile, detailide valmistamisele, ostutoodetele ning koostamisele. Arvutuste aluseks võeti väikeseeria tootmine, partii suurusega 500 tükki.

4.1. Valmistatavate detailide ja ostutoodete maksumus

Nende detailide hinnad, mis on kasutusel ka mehaanilises magasinis, on antud vastavalt reaalsele ostuhindadele.

Uute detailide valmistamise maksumuse arvutamisel lähtuti kasutatavate seadmete orienteeruvatest tunnihindadest, mis omakorda sõltuvad seadmete tüübist ja keerukusest. Tabelis olevad tükiajad on määratud järgides operatsiooniaegade normeerimise põhimõtteid (4.1) [28]. Põhiaja ehk masinaaja määramisel võeti arvesse prototüüpide valmistamise ja seeriatootmise kogemust ning töödeldavate materjalide puhul kasutatavaid optimaalseid töötlusrežiime. Töötluse orienteeruv tööriistakulu lisati seadme tunnihinnale.

$$t_{tk} = t_p + t_a + t_{org} + t_{teen} + t_v, \quad (4.1)$$

kus t_{tk} – tükiaeg, min,

t_p - põhiaeg (masinaaeg), mille kestel toimub tööpingis detaili kuju, mõõdete, omaduste muutmine, min,

t_a - abiaeg, mis haarab põhiaja täitmisega kaasnevaid töid, min,

t_{op} - põhi- ja abiaja summa ($t_{op} = t_p + t_a$), min,

t_{org} - organisatsioonilise teenindamise aeg, mis arvestab ajakulu töökoha ettevalmistamiseks tööpäeva algul, töökoha koristamiseks vahetuse lõpul, tööpingi õlitamiseks, puhastamiseks ja teisteks analoogilisteks töödeks vahetuse kestel. Antakse tavaliselt protsentidest operatiivajast, min,

t_{teen} - tehnilise teenindamise aeg, mida kulutatakse nürinenud lõikeriista vahetamiseks, seadme järelhääletamiseks. Antakse tavaliselt protsentides operatiivajast või kasutatakse lihtsustatud käsitlust: ($t_{teen} = 2 \cdot t_{org}$), min,

t_v – töö vaheajad määratakse töölise puhkuseks ja vahepausideks, min.

Materjali hinna arvestamisel võeti arvesse asjaolu, et metalse toormaterjali tootmisjäak on võimalik taaskasutada (valem 4.2 [28]). Termoplast toormaterjali kulu arvutusel lähtuti sellest, et kogu jääkmaterjal läheb utiliseerimisele.

$$D_m = (q \cdot h) - (q_j \cdot h_j), \quad (4.2)$$

kus D_m - kulu materjalile ühe toote valmistamiseks, EUR,

q - ühele tootele kuluva materjali mass, kg,

h - materjali ühe kg hind, EUR,

q_j -ühe toote valmistamisel tekkiva jääkmaterjali mass, kg.

Detailide maksumused, mis sisaldavad valmistamise ja toormaterjali hinda, arvatati tabelarvutusprogrammis ning tulemused on toodud tabelis 4.1. Helehalliga on tähistatud need detailid, mis muutmata kujul võeti üle mehaanilisest magasinist.

Tabel 4.1 Valmistatavate detailide maksumused (hinnad sisaldavad KM)

	Detail	Materjal	Tehnoloogia	Kogus	Maksumus [EUR]
1	Ülemine korpus	POM-C	Lõiketöötlus	1	10,20
2	Südamik	POM-C	Lõiketöötlus	1	8,15
3	Kinntuskaas	POM-C	Lõiketöötlus	1	1,22
4	Matriits	AISI 304	Laserlõikus	1	0,68
5	Ül. matriitsi kate	AISI 304	Laserlõikus	1	1,15
6	Al. matriitsi kete	AISI 304	Laserlõikus	1	0,68
7	Stopperkeel	AISI 304	Laserlõikus	10	0,18
8	Stopperi tõukur	POM-C	Lõiketöötlus	10	1,00
9	Haarats	AISI 304	Laserlõikus	10	0,96
10	Haaratsi tõukur	POM-C	Lõiketöötlus	10	1,10
11	Alumine korpus	POM-C	Lõiketöötlus	1	33,50
12	Koonusdetail	POM-C	Lõiketöötlus	1	2,45
13	Koonuse ots	POM-C	Lõiketöötlus	1	1,50
14	Vedaja*	POM-C	Lõiketöötlus	1	3,28
15	Vaheketas	POM-C	Lõiketöötlus	1	13,45
16	Mootori kinnitus flants	S355JR	Lõiketöötlus	1	3,18
17	Sidur	S355JR	Lõiketöötlus	1	1,98
18	Otsiku tõukur	POM-C	Lõiketöötlus	10	2,80
19	Käigukruvi	C22E	Lõiketöötlus	1	1,25
20	Lüliti kinnitus	POM-C	Lõiketöötlus	1	1,20
21	Tugiketas	POM-C	Lõiketöötlus	2	0,50
22	Surupuks	PUR	Lõiketöötlus	1	0,25
23	Elektroonika mooduli raam	PA6	3D printimine	1	22,50
24	Põhi	PA6	3D printimine	1	23,25
25	Patarei luuk	PA6	3D printimine	1	6,75
26	Esipaneel	PA6	3D printimine	1	8,90

*saritootmisse minev detail eeldab prototüübi detailiga võrreldes teatud modifikatsioone

Võimaliku tulevase seeriatoote välja töötamisel asendatakse suuremad elektroonika süsteemi ostukomponendid spetsiaalselt valmistatud trükkplaadiga, mille hind saab tõenäoliselt olema tunduvalt madalam. Kuna aga magistriöö raames antud trükkplaati ei disainitud, siis ei olnud võimalik objektiivselt määrata selle hinda. Seetõttu võeti hinnakalkulatsioonis aluseks kõik kasutatud ostukomponendid ja nende hinnad.

Ostutoodete maksumused on toodud tabelis (4.2).

Tabel 4.2 Ostutoodete maksumused (hinnad sisaldavad KM) [15], [25], [29]

	Toode	Kogus	Hind (EUR)
1	Reduktoriga mikromootor	1	14,35
2	Arduino Mirco kontrolleri	1	14,91
3	Adafruit DVR8871 mootori juhtseade	2	7,18
4	Adafruit INA_219 voolumõõtja	3	10,28
5	Taiwan Semiconductor TSH282CT B0G Halli lüliti	10	14,70
6	Nupp-tüüpi mikrolüliti	1	1,12
7	Multicomp Pro MCKPT-G1210-3916 piesoelektriline sumisti	1	3,62
8	ON/OFF lüliti	1	1,25
9	Halli andurite trükkplaat	1	0,85
10	Juhtmeköidis	1	1,00
11	Silindermagnetid	10	2,00
12	Silinderpeakruvi M4x20	5	0,60
13	Silinderpeakruvi M3x10	4	0,40
14	Silinderpeakruvi M2,5x8	2	0,14
15	Peitpeakruvi M5x15	1	0,14
16	Peitpeakruvi M4x45	5	0,60
17	Peitpeakruvi M3x6	5	0,35
18	Ümarpeakruvi M3x8	2	0,16
19	Ümarpeakruvi M3x6	15	1,05
20	Seadekrugi M2,5x6	2	0,22
21	Plastikruvi 2,2x5	6	0,60
22	Mutter M4	1	0,06
23	Madal mutter M4	1	0,08
24	Keermeisnert Spreadert 0835 M4	10	1,00
25	Silindertihvt d4x14	1	0,16
26	Silindertihvt d4x10	1	0,14
27	Silindertihvt d3x10	1	0,12
28	Silindriline survevedru 0,5x10x10	10	0,60
29	Silindriline survevedru 0,3x4x7	10	0,60

4.2. Toote koostamine ja omahind

Võttes aluseks mehaanilise magasinini seeriatootmisest saadud kogemuse, hinnati prototüübil baseeruva elektrilise magasinini koostamisajaks rahuliku töötempo juures ca 40 minutit. Sellest ca 10 minutit loeti elektrimooduli koostamisele kuluvaks. Antud hinnangut tuleb pidada pigem konservatiivseks ning võimalike koosterakiste ja abinõude kasutamine kindlasti kiirendaks protsessi.

Võttes koostamise eest makstavaks neto töötasuks 7 EUR/h, saadi vastavaks palgafondiks ühe töötaja kohta 11,37 EUR/h. Kuna tunnis jõuab töötaja koostada hinnanguliselt poolteist toodet, siis on kulu ühe toote koostamisele $11,37/1,5 \approx 7,5$ EURi.

Koondtabelis (tabel 4.3) on veekord välja toodud kõik omahinna komponendid ning lõplik summaarne omahind.

Tabel 4.3 Prototüübi omahinna koondtabel

Prototüüp	Valmistatud detailid, EUR	Ostutooted, EUR	Koostamine, EUR	Kokku, EUR
ETL1.1.28	141,86	78,28	7,5	227,64

Elektronikamoodulis ostukomponentide asendamine spetsiaalselt disainitud trükkplaadiga langetaks antud mooduli maksumust ilmselt ca 70..80%.

Samas, nagu tabelist 5.3 on näha, mõjutavad peamiselt omahinna kujunemist toote korpusega seotud lõiketöödeldavad ning 3D prinditavad detailid. Need oleks võimalik asendada plasti survevalu meetodil valmistatud detailidega, mis oleksid vähemalt suurusjärgu võrra odavamad. Küll aga eeldaks see suurt alginvesteeringut valuvormide valmistamise näol ning oleks seega majanduslikult mõistlik alles saritootmise tingimustes, kus partii suurused oleksid vähemalt 2000...3000 toodet aastas.

Seega saab järeldada, et otseselt magistritöös loodud prototüübil baseeruv toode eeldaks liiga kõrget müügihinda ning ei oleks turul konkurentsivõimeline. Prototüüp annab aga võimaluse hinnata elektrilist magasinini kui kontseptsiooni ning saadava kogemuse najal on võimalik hakata konstruktsiooni uute prototüüpide iteratsioonide läbi optimeerima.

KOKKUVÕTE

Käesolevas magistritöös konstrueeriti kruvikeeraja otsikute magasinil elektro-mehaaniline prototüüp. Loodud prototüüp põhineb mehaanilisel otsikute magasinil, mille arendamise, tootmise ja turustamisega tegeleb Nelepet OÜ. Otsiku magasinid on uudsed ehitusvahendid, mis võimaldavad kruvikeeraja otsikute hoiustamist ning nende vahetamist ilma sõrmi kasutamata. Elektrilise magasinil puhul käitab otsiku vahetamist läbi viivat mehhanismi elektriline täitur.

Töö esimeses osas kirjeldati valdkonna tausta ning tutvustati mehaanilise otsikute magasinil olemust ja tööpõhimõtet. Lisaks anti ülevaade mehaanilise magasinil tootearendusprotsessist ning selle käigus loodud erinevatest prototüüpidest ja modifikatsioonidest.

Konstrueerimise osas püstitati konstrueerimise lähteülesanne, tuues välja nii funktsionaalsed kui ka tehnilised parameetrid, millele loodav prototüüp vastama peaks. Väljatoodud nõuded kattuvad osaliselt mehaanilise magasinil prototüübi loomisel kasutatud nõuetega, kuid neid on vastavalt saadud kogemustele muudetud või täiendatud. Täiesti uued nõuded lisandusid seoses elektrilise täituri kasutusele võtuga. Põhimõttelised muutused lähteülesandes olid tingitud ka asjalolust, et kui mehaaniline magasin on ennekõike mõeldud kasutamiseks ehitusobjekti tingimustes kaasaskantavana, siis elektriline magasin sobib kasutamiseks statsionaarsel töökohal.

Konstrueerimise osa mehaanika alamosas kirjeldati esialgne kontseptuaalne mudel ning toodi välja erinevate sõlmede lahenduste valikuprotsessid ja konstrueerimispõhimõtted:

- haaratsmehhanismi elektrilise täituri valik;
- otsiku sisestuse tuvastuse lahenduse ning vastava konstruktsiooni valik;
- haaratsmehhanismi koonusdetaili ülemise ja alumise piiraasendi registreerimise lahenduse ning vastava konstruktsiooni valik;
- kasutatud materjalide ülevaade.

Elektrisüsteemi alamosas kirjeldati prototüübis kasutatava elektrisüsteemi ülesehitust ning selle loomise kaalutlusi. Lisaks täpsustati vastavate arvutustega otsiku sisestuse registreerimise süsteemis kasutatavate Halli andurite paigutused otsiku pesades. Arvutati ka seadme opereerimise energiakulu ja leiti seeläbi täislaetud patareiga tehtav otsiku vahetuste arv.

Programmeerimise alamosas kirjeldati seadme tööd juhtiva juhtprogrammi koostamise põhimõtted ning programmi ülesehitus.

Konstrueerimise viimase sammuna koostati välja töötatud prototüübi koostejoonised ning detailide tööjoonised, mis on vormistatud, mõõtmestatud ja tolereeritud ISO GPS süsteemi standardite kohaselt (joonised on lisatud magistritöö üleslaadimis-konteinerisse).

Töö majanduslikus osas leiti otseselt prototüübil baseeruva tingliku toote valmistamise omahind väikeseeria tingimustes võttes aluseks partii suuruse 500 toodet. Esiagne omahind osutus ootuspäraselt väga kõrgeks ning sellise hinna juures turul ilmselt konkureerida ei suudetaks. Sellegipoolest täidab loodud prototüüp oma peamise ülesande, võimaldades ettevõttel läbi viia erinevad katsetused ning analüüsid:

- kontseptuaalse lahenduse funktsionaalsuse ning ergonoomika analüüs eesmärgiga hinnata, milline oleks vastava toote kasutusrutiin ning kasutusmugavus;
- elektrilise haaratsmehhanismi talitluse ja töökindluse katsetamine;
- juhtprogrammi analüüs eesmärgiga hinnata, kas määratud programmi parameetrid (lävendid, viivitused jne) tagavad seadme sujuva töö ning millised (tarkvaralised) tõrked seadme töös võivad ette tulla;
- elektrilise ja mehaanilise magasinini võrdlus ja analüüs – kas elektriline täitur tõstab magasinini kasutusmugavust.

Saadavate tulemuste põhjal on võimalik otsustada, kas arendatav toode on perspektiivne. Juhul kui arendusprotsessiga on otstarbekas edasi liikuda, võetakse põhjalikuma uurimise alla:

- esiteks, millisel määral on võimalik elektrilise magasinini konstruktsiooni optimeerida, eesmärgiga saavutada võimalikult madal toote omahind;
- teiseks, kas elektrilise magasinini konstruktsiooni on võimalik muuta nii palju kompaktsemaks, et see oleks teostatav ka kaasaskantava versioonina?

SUMMARY

In the current masters thesis the design process of an electromechanical (from this point on „electrical“) screwdriver bit magazine prototype was carried out. The designed prototype is based on a mechanical bit magazine, which is designed, produced and marketed by Nelepet OÜ. Bit magazines are novel construction implements, which allow bit storing and bit changing without using ones fingers. In the electrical magazine the mechanism which grips the bit is driven by electrical actuator.

In the first part of the thesis the background of the field and comparable products were discussed and the mechanical magazine product was introduced. Also an overview of the mechanical magazine design process were given, which included different prototypes and modifications.

In the design chapter the initial design requirements (functional and technical) were established. The requirements to some extent overlap with the initial requirements used in the mechanical magazine design, but there are also updates and changes due to experiences received from the original (mechanical) design. Completely new requirements were introduced due to the use of electrical actuator in the device. Principal changes in functional requirements were also made because of the fact that the electrical magazine is primarily intended to be used in a stationary workplace rather than on a construction site.

In the mechanical design subchapter the initial conceptual model of the prototype was described and the design of individual subassemblies was specified:

- The choice of electrical actuator;
- the principal solution and design of the bit insertion registration system;
- registration of centercone upper and lower limit positions;
- overview of used materials.

In the electrical system subchapter the electrical system design was described. The precise location of Hall effect sensors in the bit socket was determined and also the prototype device power consumption was calculated.

In the programming subchapter the principles of the prototype device control program were laid out.

As a last step in the design process, assembly and part drawings of the prototype were created (and are added to the thesis container). All the drawings are dimensioned and toleranced in accordance to the ISO GPS system.

The final economics chapter includes the price calculation for an electric bit magazine product taking into account the limitations of low-volume production (batch size 500 products). Although the results clearly showed that a product based directly on the prototype would be too expensive for the market, the prototype still fulfills its main purpose which is to carry out extensive testing and evaluation of the conceptual product:

- the functionality and ergonomics of the product;
- the performance and durability of the electric gripper-mechanism;
- analysis of the control program to evaluate overall device operation (possible software failures) and to determine optimal parameter values for thresholds, delays etc.;
- the comparison of mechanical and electrical bit magazines to determine whether the use of electrical actuator actually increases user comfort and ergonomics.

After the testing phase it is possible to determine, whether the electrical bit magazine concept is feasible. If feasible, the product development process could proceed into two separate directions:

- first, to what extent can the design be optimized in order to lower product cost;
- second, whether the magazine design can be scaled down enough to enable a portable/carriable version of the product?

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] *ISO 225:2010 Fasteners -- Bolts, screws, studs and nuts -- Symbols and descriptions of dimensions*, Geneva : International Organization of Standardization, 2010.
- [2] "Tool Market," [Online]. Available: <http://www.toolmarket.com/catalog.aspx?cid=592&p=1>. [Accessed 21 aprill 2021].
- [3] "BitPass," [Online]. Available: <http://www.bitpass.ch/en/>. [Accessed 18 aprill 2021].
- [4] "BitMag Bitholder," [Online]. Available: <http://bitmag.se>. [Accessed 25 aprill 2021].
- [5] "Worx Tools Eesti," [Online]. Available: <https://www.worx.com/et-EE/4V-MAX-liitiumioonakuga-mitmeotsakuga-kruvikeeraja-ET.aspx>. [Accessed 22 aprill 2021].
- [6] *ISO 1173:2001 Assembly tools for screws and nuts -- Drive ends for hand- and machine-operated screwdriver bits and connecting parts -- Dimensions, torque testing*, Geneva : International Organization for Standardization, 2001.
- [7] "Makita Power Tools," [Online]. Available: <http://www.makitatools.com/en-us/Modules/Accessories/Default.aspx?CatID=91>. [Accessed 20 aprill 2021].
- [8] P. Šverns, *Akukruvikeeraja otsikute magasinini prototüübi valmistamine, bakalaureusetöö*, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2019.
- [9] S. Noh, B. Choi and C. Han, "Effects of Heat Treatments on Microstructures and Mechanical Properties of Dual Phase ODS Steels for High Temperature Strength," *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 45, no. 6, pp. 821-826, 2013.
- [10] H. Buschmann, *Rakiste projekteerimine*, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkooli Kirjastus, 2008.
- [11] F. Lamb, *Industrial Automation Hands-On*, New York: McGraw-Hill Education, 2013.
- [12] R. H. Bishop, "The Mechatronics Handbook," 2002. [Online]. Available: http://www.sze.hu/~szenasy/Szenzorok%20%E9s%20aktu%E1torok/Szenzakt%20jegyzetek/Mechatronics_handbook%5B1%5D.pdf. [Accessed 10 aprill 2021].

- [13] "Ningbo Leison Motor Co., Limited," [Online]. Available: <https://leisonmotor.en.made-in-china.com/product/SBiEvCQyyWhd/China-12mm-3V-6V-12V-M3-M4-Lead-Screw-N20-Small-DC-Gear-Motor.html>. [Accessed 28 aprill 2021].
- [14] "TME Electronic components," [Online]. Available: <https://www.tme.eu/ee/details/df-fit0495-e/alalisvoolumootorid/dfrobot/fit0495-e/>. [Accessed 28 aprill 2021].
- [15] "YEInternational," [Online]. Available: <https://www.yeint.ee/elektroonika-1/releed/solenoidid/large-push-pull-solenoid>. [Accessed 28 aprill 2021].
- [16] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, Shigley`s Mechanical engineering Design, London: McGraw-Hull Education, 2015.
- [17] K. P., J. Kübrasepp and A. Laansoo, Mehaanikainsenenri käsiraamat, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2015.
- [18] "Rakendusmehaanika, õppematerjal," [Online]. http://www.ene.ttu.ee/leonardo/rak_meh/Rakendusmehaanika.pdf [Accessed 10 aprill 2021].
- [19] H. Brinson and L. C. Brinson, Polymer Engineering Science and Viscoelasticity: An Introduction, Houston: Springer, 2008.
- [20] "Tech Plasty," [Online]. Available: https://www.techplasty.com/material/pom/pom-c-polyacetalcopolymer?gclid=Cj0KCQjw7pKFBhDUARIsAFUoMDbv5AzBbJxAT4x6AevcHwByqKGN3iZH0QJASDjBKJ4PumpvimfTOh4aAoplEALw_wcB. [Accessed 28 aprill 2021].
- [21] D. Šapiro, A. Podorvanova and A. Mironov, Tugevusõpetus. Ülesannete kogu, Tallinn: Kirjastus Valgus, 1967.
- [22] *ISO 29988-1:2019 Plastics — Polyoxymethylene (POM) moulding and extrusion materials — Part 1: Designation system and basis for specifications*, Geneva: International Organization of Standardization, 2019.
- [23] J. M. Margolis, Engineering Plastics Handbook, New York: McGraw-Hill Education, 2006.
- [24] "Steel Number," [Online]. Available:

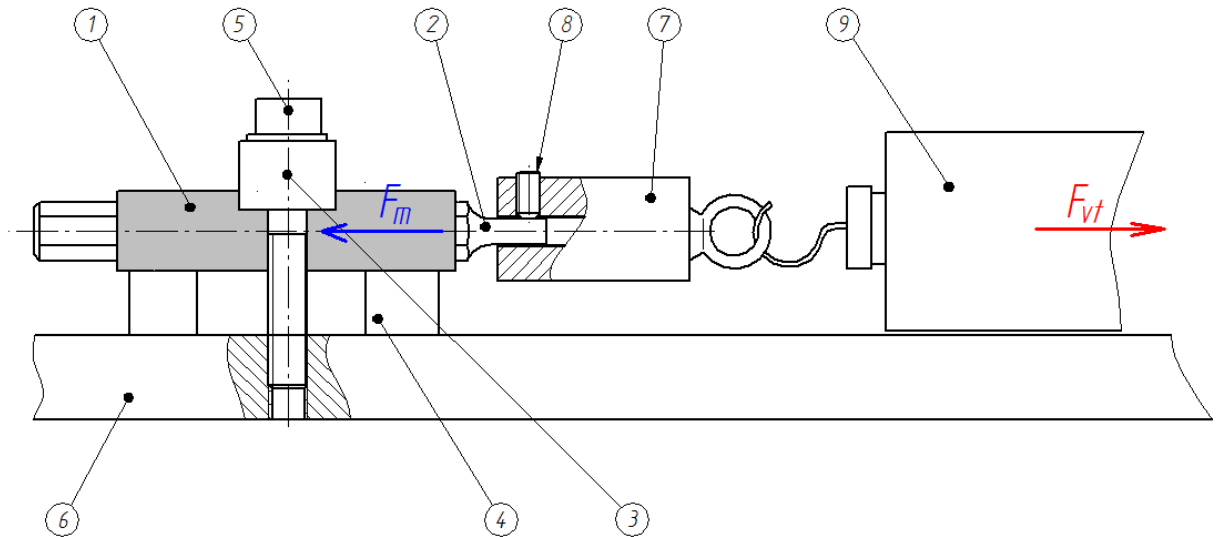
<http://www.steelnumber.com/>. [Accessed 10 aprill 2021].

- [25] "Elfa Distrelec," [Online]. Available:
<https://www.elfadistrelec.ee/et/>. [Accessed 1 mai 2021].
- [26] C. Cooper, *The Basics of Magnetism (Core Concepts)*, New York: Rosen Publishing Group, 2014.
- [27] "PowerStream," [Online]. Available:
<https://www.powerstream.com/9V-Alkaline-tests.htm>. [Accessed 29 aprill 2021].
- [28] R. Mesila, A. Hermeste and K. Pääsuke, Eds., *Detaili tehnoloogilise protsessi ja omahinna arvutamiseks*, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2008.
- [29] "Baltic Bolt," [Online]. Available:
<https://www.balticbolt.ee/>. [Accessed 15 mai 2021].

LISAD

Lisa 1. Otsiku adapterist eemaldamiseks vajaliku jõu katseline määramine

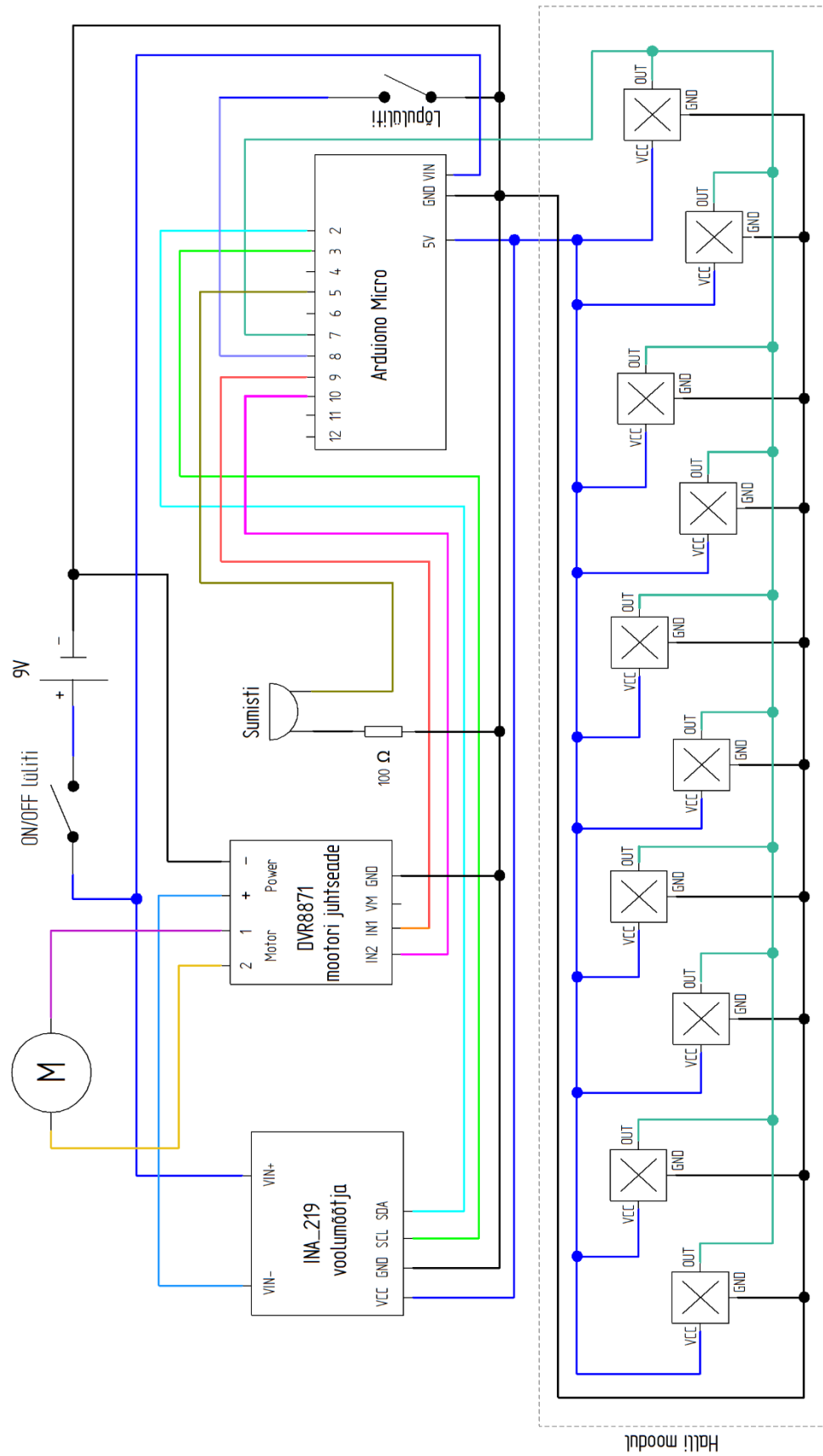
Otsiku adapterist eemaldamiseks vajalik jõud määrati katseliselt. Katses kasutati viie erineva tootja magnetadaptereid. Katse ülesseade skeemil: 1 – magnetadapter, 2 – otsik, 3 – kinnitusklamber, 4 – toed, 5 – M6 kruvid, 6 – universaalne rakise alusplaat, 7 – vahepuks, 8 – M4 seadekruvi, 9 – digitaalne dünamomeeter.



Iga adapteri puhul korrati katset kümme korda ning kokku saadi seega 50 tulemust. Tulemused on toodud tabelis. Otsikute pinnale tekkiv roostekiht hõõrdudes adapteri siseseintega võib suurendada otsiku väljatõmbamiseks vajalikku otsiku ja haaratsi vahelist hõõrdejõudu. Seetõttu otsustati katsest saadud maksimaalne tulemus $F_{m_max} = 13,6$ N omakorda korrutada varuteguriga 1,5. Saadud tulemus ümardati lähima suurema täisarvuni $F_{m_a} = (1,5 \cdot 13,6) \approx 21$ N. Varuteguriga võeti arvesse ka otsiku tõukuri vedru surumisjõud, mis üritab otsikut haaratsi vahelt välja lükata.

Katse nr	Adapter #1 F_m [N]	Adapter #2 F_m [N]	Adapter #3 F_m [N]	Adapter #4 F_m [N]	Adapter #5 F_m [N]
1	9,3	12,5	11,1	9,9	13,2
2	9,9	12,4	10,9	9,7	13,6
3	10,1	12,0	11,5	9,6	13,1
4	9,5	12,6	11,0	10,5	12,9
5	8,9	11,9	10,0	9,8	13,5
6	10,1	12,2	11,2	10,4	12,8
7	9,6	11,5	10,6	10,2	12,7
8	9,0	12,4	10,4	9,6	13,4
9	9,3	12,4	11,2	9,4	13,0
10	9,4	11,8	11,3	10,0	13,4

Lisa 2. Elektrilise magasini prototüübi elektriskeem



Lisa 3. Elektrilise magasin prototüübi juhtprogramm

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>

Adafruit_INA219 ina219;
float current_mA = 0;

#define MOTOR_IN1 9
#define MOTOR_IN2 10
const int inPin = 7; //Andurid
const int l6pulyliti = 8; //Lõpulüliti
const int buzzer = 5; //Pieso elementi (buzzer) väljund

int andur;
int period = 1000; //Kaua lüliti peab ühendust andma
int period2 = 3000; //Kaua ootab peale mootori seiskamist
int period3 = 500; //Kaua ootab peale lõpulüliti
int period4 = 1000; //Kauaks lülitab mootori peale lõpulüliti
int period5 = 100; //Käivitusvoolu tundetusaeg
int period6 = 100; //Buzzeri signaali pikkus
const int kiirus = 10; //Kui kiirelt mootor max pöörded saavutab
const int mootor_mA = 500; //Max voolutugevus surumisel
const int max_mA = 1000; //Max lubatud voolutugevus mootoril (ülekoormus)
bool mootor_stopp = false;
bool mootor_stopp2 = false;
long time_now1 = 0; //Halli anduri viivitus

void setup(void)
{
  Serial.begin(115200);
  uint32_t currentFrequency;
  pinMode(inPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(l6pulyliti, INPUT_PULLUP);
  pinMode(MOTOR_IN1, OUTPUT);
  pinMode(MOTOR_IN2, OUTPUT);
  if (! ina219.begin()) {
    Serial.println("Failed to find INA219 chip");
    while (1) { delay(10); }
  }
  Serial.println("Measuring voltage and current with INA219 ...");
}

void loop(void)
{
  current_mA = ina219.getCurrent_mA();
  if (current_mA >= max_mA) { //Stopp
    digitalWrite(MOTOR_IN1, LOW);
    digitalWrite(MOTOR_IN2, LOW);
  }
  if (digitalRead(inPin) == LOW) { //Edasi
    if (millis() - time_now1 > period) {
      Serial.println("Mootor CW");
      digitalWrite(MOTOR_IN1, LOW);
      digitalWrite(MOTOR_IN2, HIGH);
      delay(period5);
      while (ina219.getCurrent_mA() < mootor_mA);
      digitalWrite(MOTOR_IN1, LOW);
      digitalWrite(MOTOR_IN2, LOW);
      mootor_stopp = true;
      tone(buzzer, 1000);
      delay(period6);
      noTone(buzzer);
    }
  }
}
```

```

    delay(period2-period6);
  }
}else{
    time_now1 = millis();
  }
if (mootor_stopp == true){ //Tagasi
  Serial.println("Mootor CCW");
  digitalWrite(MOTOR_IN1, HIGH);
  digitalWrite(MOTOR_IN2, LOW);
  delay(period5);
  mootor_stopp = false;
  mootor_stopp2 = true;
}
if (digitalRead(l6pulyliti) == LOW && mootor_stopp2 == true){
  digitalWrite(MOTOR_IN2, LOW);
  digitalWrite(MOTOR_IN1, LOW);
  delay(period3);
  Serial.println("Mootor CW");
  digitalWrite(MOTOR_IN1, LOW);
  digitalWrite(MOTOR_IN2, HIGH);
  delay(period4);
  digitalWrite(MOTOR_IN2, LOW);
  digitalWrite(MOTOR_IN1, LOW);
  mootor_stopp2 = false;
}
}
}

```

Lisa 4. Koostejoonised ja detailide tööjoonised