

**TAL
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ÕUNAKORJAMISE ROBOTI HAARATS
End-effector of Apple Picking Robot
BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Igor Bazarkin

Üliõpilaskood 155501MAHB

Juhendaja: Märt Juurma, nooremteadur

Tallinn 2021

(Tiitellehe pöördel)

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.

"....." 2021

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 2021

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2021

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Igor Bazarkin

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Õunakorjamise roboti haarats“ mille juhendaja on Märt Juurma
 - 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.

_____ (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 reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Igor Bazarkin, 155501MAHB (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MAHB02/13, Mehhatroonika(kood ja nimetus)
Juhendaja(d): Märt Juurma, nooremteadur, 620 3207 (amet, nimi, telefon)
Konsultant:(nimi, amet)
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Õunakorjamise roboti haarats
(inglise keeles) End-effector of apple picking robot

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Luua ülevaade olemas olevatest korjehaaratsite arendustest ja toodetest.
2. Valida töökindel õuna korjamise meetod, mis oleks kiire ja ei vigastaks õuna.
3. Disainida valitud süsteem.
4. Paralleelselt ülalmainituga, töö dokumenteerimine.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse/taustuuringu tulemuste esitamine, lahenduse esialgne valik.	Märtsi II v. III nädal
2.	Valitud lahenduse detailse spetsifikatsiooni koostamine.	Aprilli II nädal
3.	Valitud lahenduse detailne disain.	Mai I nädal

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "18." Mai 2021 .a

Üliõpilane: ".....".....2021 .a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....2021 .a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....2021 .a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....202... .a
/allkiri/

SISUKORD

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	4
EESSÕNA	6
Lühendite ja tähiste loetelu	7
SISSEJUHATUS	8
1. OLEMASOLEVATE OTSEFEKTORITE ANALÜÜS	9
1.1. Kõõluse juhitud otsefektor	9
1.2. Vakuum otsefektor.....	10
1.3. Pneumaatiline otsefektor	12
1.4. Magnetoreoloogiline otsefektor	12
2. PROTOTÜÜBI PROJEKTEERIMINE	15
2.1. Ajami valik.....	15
2.2. Sõrma ja õunahoidja disain	16
2.3. Sõrma stressi analüüs	17
2.4. Haaratsikontroll	19
3. Haaratsi testimine.....	22
3.1. Kiirenduskatse.....	22
3.2. Tõmbekatse	23
3.3. Muud tähelepanekud	24
KOKKUVÕTE	26
KASUTATUD KIRJANDUS	28

EESSÕNA

Haaraja loomise idee pakkus mulle välja nooremteadur Märt Juurma. Pärast alusmaterjali uurimist selgus, et selektiivse koristamise automatiseerimise idee on asjakohasem kui kunagi varem meie ajal. Eriti üllatav oli see, et hetkel pole turul ühtegi autonoomset õunakorjajat. Pärast mitmete uuringute lugemist märgati, et tänapäevased projektid peamiselt kasutavad elektriajamat, sellega seoses muutus huvitavaks uurida pneumaatilise süsteemi plusse ja miinuseid.

Töö on koostatud koostöös Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudiga, kes andis võimalus kasutada pneumaatika laborit ja aitas leida vajatud komponente. Autor tahaks tänada Viktor Rjabtšikov, kes aitas 3D mudelite prindimisega.

Lühendite ja tähiste loetelu

3D	kolmemõõtmeline
DC	alalisvool
AC	vahelduvvool
NBR	nitriilkumm (nitrile rubber)
CCD	laengsidestusseadis (Charge-Coupled Device)
P&P	pick and place

SISSEJUHATUS

Õun on üks enimkasvatatud puuviljatüüpe maailmas. ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsiooni andmetel oli õunatoodang 2019. aastal ligikaudu 87,24 miljonit tonni, mis on maailma puuviljatootmises kolmandal kohal. Õunatoodang kasvas viimase 10 aasta jooksul 22,5% [1]. Suureneva nõudlusega värskete puuviljade järele kasvab ka vajadus põllumajandustehnoloogia täiustamise järele.

Saagikoristus on töömahukas ja kulukas töö, mille probleemiks on tööjõupuudus [2]. Arvestades, et koristamiskulud moodustavad 48% operatsiooni kogukuludest, on selle ühe toimingu tõhususe parandamise kaudu võimalik tootmise kogukulusid märkimisväärselt vähendada [3].

Apple on kõrge väärtusega saak, mis nõuab enne lõpliku kliendini jõudmist selektiivseid koristusmeetodeid, et vältida toote kahjustamist. Selektiivset koristamismeetodit on raske automatiseerida, kuna värsked puuviljad on kahjustuste suhtes haavatavad. Pealegi on õun mitmeaastane põllukultuur, mistõttu tuleb koristamise ajal taime kahjustamist vältida, et vähendada kadusid [4]. Selle ülesande raskust tõestab selektiivsete robotite puudumine turul.

Selle uurimistöo eesmärk on luua lihtne otsefaktori disain, mis on võimeline viljapuuaiast võimalikult väikeste kahjustustega puuvilju koristama, mida saab hiljem integreerida täielikult automatiseeritud lahendusse.

1. OLEMASOLEVATE OTSEFEKTORITE ANALÜÜS

1.1. Kõõluse juhitud otsefaktor

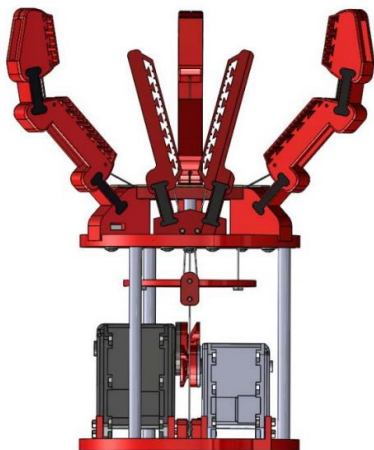
Washingtoni osariigi ülikooli teadlane esitas disaini, mis kasutab paindliku mehaanikat kindla haarde saavutamiseks. Selle kujunduse peamine eesmärk on korrata inimese käe manipuleerimist õunakorjamise käigus. Nagu on näidatud joonisel 1.1, kasutab manipulaator vilja kindlustamiseks sfäärilist jõuharutust. Suured kokkupuutealad puuvilja- ja sõrmepeadade vahel aitavad muljutisi minimeerida. Õuna eraldamiseks oksast liigutab käsi õuna pendli liikumisega. Vilja samaaegsel pööramisel tõmmates ja seeläbi varre painutades tekib kombineeritud tõmbe- ja pendli liikumine, mis indutseerib nihkejõude. [5]

Struktureerimata viljapuuaias keskkonnas töökindluse suurendamiseks valiti passiivselt painduvate sõrmedega alarõhutatud otsefaktorid. Alaliigendatud süsteem pakub struktureerimata õunaaia keskkonnas mitmeid eeliseid.

Kõige olulisem on see, et sõrmede vaheliste alaliigenduse abil saab muutuva geomeetriaga vilja kuju järgi kohandada. Alaliigendatud lõppefaktorid konstruktsioon võimaldab ülejäänud sõrmedel jätkata objekti sulgemist pärast teiste sõrmede kokkupuutel immobiliseerimist, tagades, et igale kõõluse kaablile avaldatakse võrdset pinget, sõltumata sõrme asendist või kontakti olekust. [8]

Definitsiooni kohaselt on alaliigendatud mehaanilisel süsteemil vähem juhtimissisendeid kui vabadusastmeid. Üks ajam ajab käe kolme sõrme, muutes haaratsit lihtsamaks ja kergemaks.

Painutusliidete eeliseks on ka see, et nad võivad läbipainet kannata tahtmatute kokkupõrgete ajal, mis on tõenäoline autonoomse koristamise ajal.



Joonis 1.1 Kõõluse juhitud otsefaktori CAD-mudel

1.2. Vakuum otsefaktor

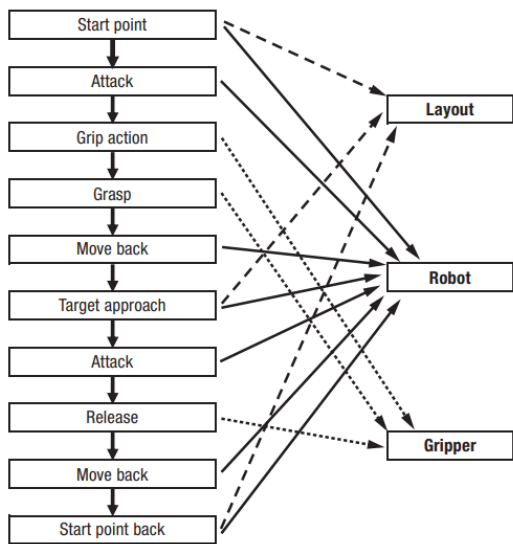
ACRO teadlased töötasid välja haaraja, mis kasutab vaakumit õunte ohutuks manipuleerimiseks põllukeskkonnas. Lõppefaktori prototüüpi on näha joonisel 1.2. Haaratsil on kaks peamist funktsiooni: õuna kinnipüüdmine ja kaamera ümbritsemine. Haarats on valmistatud süsinikfiibrist, mis tagab kindla haarde vilja kahjustamata. Katsed näitavad, et õuna pikaajaline kokkupuude kasutatud vaakumitasemega ei kahjusta õuna mingil viisil. Kaamera asetatakse haarde keskele, mis annab arvukalt eeliseid. Esiteks on haarats alati kaamera ja seega ka pildiga kooskõlas, mis lihtsustab koordinaatide teisendamist pildilt robotile. Lisaks on kaamera asukoht täielikult kontrollitav. Kaamera suudab oma optilise telje alati õuna poole suunata. See vähendab pildi moonutusi ja välistab põhjaliku kalibreerimise vajaduse. [6]

Koristusrobotite levinum probleem on pikk korjamistsükkel. Tsükkel võib ulatuda 10 kuni 50 sekundini. Joonisel 1.3 on kujutatud vooskeemi koos disaini mõjutavate sammudega, mis on faasid, mida tuleb optimeerida madalama tsükliaja saavutamiseks. [7]

Selle probleemi lahendamiseks töötas Abundant Robotics välja uut tüüpi haaratsid. Vaakumpõhise lahusega suutsid nad vähendada ühe vilja koristamiseks vajalike sammude arvu. Nagu on näidatud joonisel 1.4, kasutatakse vaakumtorusid õuna eemaldamiseks puust ja viimiseks koheselt hoidlasse. Robotitsükli aeg võib ulatuda 3 sekundini. See robot on üks lähimaid, kes näeb kommertskasutust.



Joonis 1.2 Vakuum otsefaktor (ACRO)



Joonis 1.3 P&P operatsiooni vookeem



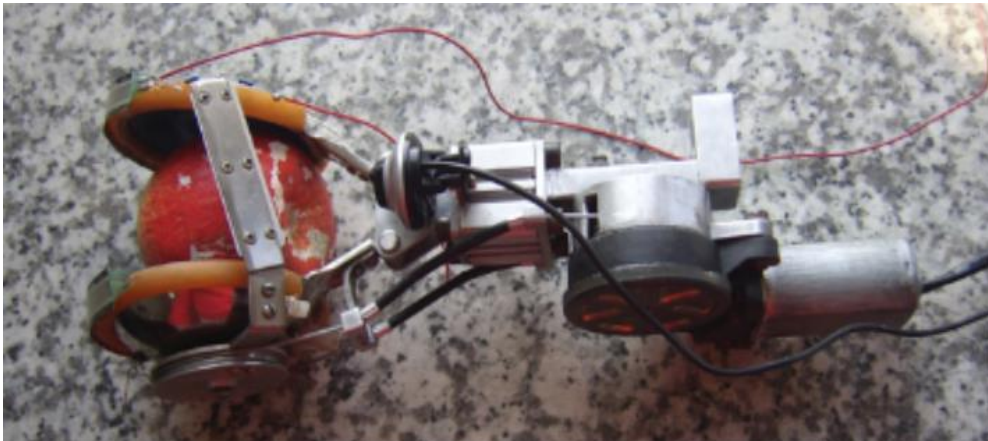
Joonis 1.4 Vaakum otsefaktor (Abundant Robotics)

1.3. Pneumaatiline otsefektor

Jiangsu ülikooli arendajad löid pneumaatilisel käivitamisel põhineva otsefektori. Lõpptefektori prototüüpi on näha joonisel 1.5. Lõpefektor koosneb haaratsist, löikemehhanismist ja anduritest. [9]

Otsefektor kasutab mitmeid erinevaid andureid, sealhulgas nägemisandurit, asendiandurit, kokkupõrkeandurit ja rõhuandurit. CCD videokaamera mängib võtmerolli piltide omandamisel, puuviljade otsimisel ja tuvastamisel. Laia ja otsefektori poolt mõjutamata nähtavavälja saamiseks on nägemisanduri positsioon režiimis silm-käes.

Kui fotoelektrilised positsiooniandurid on puuvilja poolt varjatud, hakkab käsi aeglustuma. Rõhuandurit kasutatakse signaali andmiseks, kui puu on haaratsisse kindlalt kinnitatud. Kui haaratsil olev rõhuandur tunneb teatud survet, pöörleb elektrilõikur ja lõikab pedikeli ära. Asendiandur piirab elektrilise löikenõela liikumist.



Joonis 1.5 Pneumaatiline otsefektor

1.4. Magnetoreoloogiline otsefektor

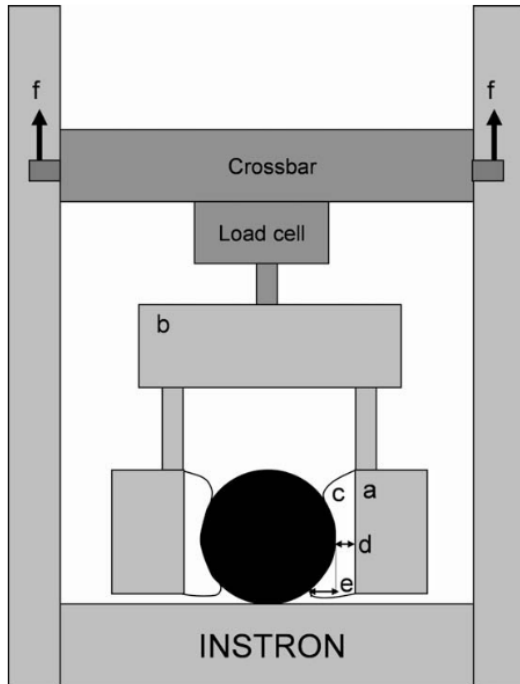
Hispaania ajakirjas Journal of Agricultural Research avaldatud artikkel kirjeldab uut tüüpi haaratsit, mis kasutab ära magnetorheoloogilise vedeliku omadusi, et ületada traditsiooniliste lõualuude haaratsitega leitud tugev. Leiti, et MR-vedelike ainulaadsed omadused on nii suurepärase vastavuse kui ka kindla haarde kindlustamise võime.

Magnetorheoloogiline vedelik on materjal, mille magnetvälja rakendumisel reoloogilised omadused muutuvad. MR vedelikud on mikronisuuruste polariseeruvate osakeste

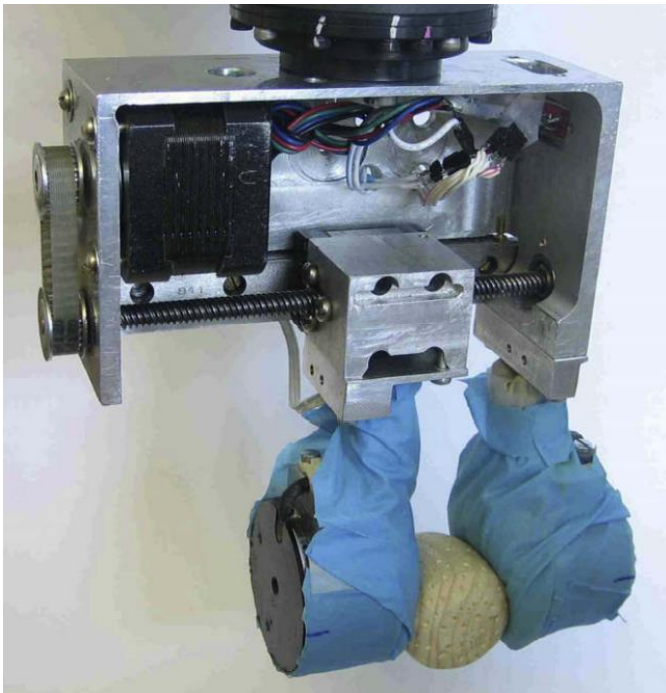
suspensioonid. Osakesed on üldiselt raudsed ja kasutatav kandevedelik nt. õli või vesi. Ümbritsevatel tingimustel näitavad MR vedelikud Newtoni voolukäitumist, kuid magnetväljas on vedelikul voolavuspiir.

Kõrgem magnetväli tekitab universaalselt suurema küllastustugevuse kuni küllastustasemeni. Magnetvälja genereerimiseks võib kasutada püsिमagnetit või elektromagnetit. Elektromagneti eeliseks on see, et magnetvälja saab hetkega aktiveerida ja deaktiveerida ning juhtida mikrokontrolleri abil. MR vedeliku sisaldamiseks kasutati õlikindlaid polüuretaankotte. Kotid on vedeliku vabaks voolamiseks ainult osaliselt täidetud. Need elektromagnetid paigaldati MR-kotid üksteise vastas paralleelse haaratsi sõrmadele. Täiturmehhanismi konstruktsioonis kasutatakse lineaarse laagri ja kuulkruviga samm-mootorit.

Kui haarav tsükkel on alanud, sulguvad haaratsivarred haaratavale objektile. Kui MR-vedelikuga täidetud kotikesed jõuavad toote külgedele, hakkavad kotid deformeeruma, ilma kotti materjali venitamata, ja kujunevad toodete kontuurini, kui madala viskoossusega MR-vedelik voolab teelt välja. Haaratsivarred peatatakse ettemääratud asendis, jättes magnetpinna ja toote vahele mõlemale küljele 0–7,5 mm vahe, vaata joonis 1.6. See haaratsivarre eraldus määratakse iga toote jaoks eraldi, kasutades visioonide süsteemi abil eraldatud laiuse või läbimõõdu parameetreid. Elektromagnetite aktiveerimine indutseerib MR vedeliku voolavuspiiri ja toode on nüüd haaratud. Selles etapis saab toodet tõsta [11].



Joonis 1.6 Eksperimentaalse seadistuse skemaatiline kirjeldus. (a) elektromagnet, (b) täiturmodul, (c) MR-vedelikuga täidetud kott, (d) haardevahe, (e) vormimissügavus



Joonis 1.7 Maasika mudelit haarav MR vedeliku haarats. Parim kõige haaratsimishoob on statsionaarne ja varustatud pingutusmooturi jõuanduriga. Vasakul on näha samm-mootori ja rihtmülekannet ning keskel kuulkruvi ja lineaarne kuullaager

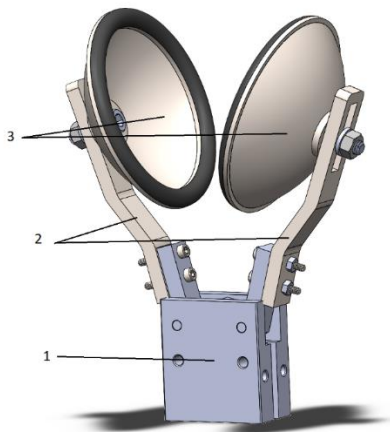
2. PROTOTÜÜBI PROJEKTEERIMINE

Esimeseks valmistamise meetodiks valiti freesimine, kuid uuringute käigus sai selgeks, et see on liiga aeganõudev process ja ei ole mõistlik. Plastiku tugevusomadused on määratud ülesannete täitmiseks täielikult piisavad. Selle tulemusena valiti peamiseks valmistamismeetodiks 3D-printimine. 3D mudeli loomiseks oli kasutatud Solidworks 2020.

Materjalina kasutati ABS-plastikut, seega on see üks kõige kõvema ja vastupidavamaid plastikutüüpe. Pehmema plastiku kasutamisel on olemas haarava jõudu vähenemise oht.

Harrats koosneb kolmest põhiosast:

1. Ajam
2. Sõrmad
3. Õunahoidjad



2.1. Ajami valik

Valiti pneumaatiline ajam, kuna see on odav, väga vastupidav, kiire ja kergesti puhastatav [7]. Sarnase elektroonilise ajami hind on mitu korda rohkem kui pneumaatiline. Samuti on see ajam vastupidav väliskeskkonna mõjule. Valitud ajam kasutab NBR tihendit, mis kaitseb seda veekahjustuste eest. Ajami lõualuude maksimaalne pikkus on 90 mm, mis on oluline tegur, mida tuleb süsteemi kavandamisel arvestada.

Ajami parameetrid:

- Varda läbimõõt (mm) – 20
- Materjal – Alumiinium
- Tihendi materjal - NBR (nitriilkummi)
- Maksimaalne lõualuu pikkus (mm) – 90
- Rõhk (bar) - 1.5 bar kuni 7 bar
- Temperature (°C) - -5 °C to 60 °C



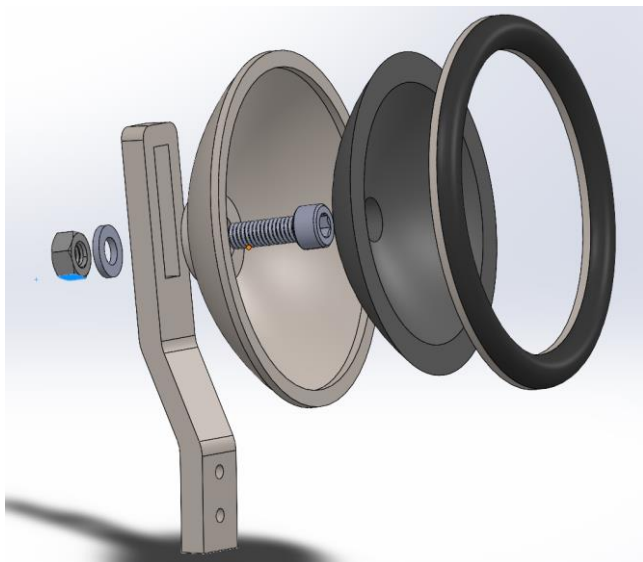
Joonis 2.1 Ajam Mindman MCHA-20

2.2. Sõrma ja õunahoidja disain

Kujunduse põhiidee on lusikakujuline disain, mis kordab osaliselt õuna sfäärilist kuju. See disain suudab õuna kindlalt haarata. Pneumaatilised süsteemid töötavad järsult, mis võib õuna väliskesta kahjustada. Kahjustuste vähendamiseks on lisatud täiendav vahtkummist sisekiht. Vahtkummi kõrge elastsus sobib hästi löögi amortiseerumiseks. Õuna hea kinnitamiseks haaratsis kasutati kummirõngast, mis takistab õuna haaratsist välja libisemist, kuna kummi ja õuna vahel on suur hõõrdejõud. Lahti võetud kujundust saab vaadata joonisel 2.2.

Sõrma peamine disainikriteerium oli võimalus kiiresti testida sõrmede pikkust. Tänu sellele oli võimalik katsetada erinevaid haarde pikkusi ja nende mõju õuna kahjustustele. Selleks sõrmas tehti soon suurusega 6x30 mm ja õunahoidjas tehti auk läbimõõduga 6 mm. Õunahoidja ja sõrma kinnitamiseks kasutati M6 poldid. Õuna maksimaalne suurus, mida saab haarata, sõltub sõrme pikkusest ja varieerub vahemikus 65–95 mm.

Selles disainis ei kasutata lõikeriistu. Manipulaatori pöördliikumist kasutatakse õuna eraldamiseks puust.



Joonis 2.2 Lahti võetud vaade

2.3. Sõrma stressi analüüs

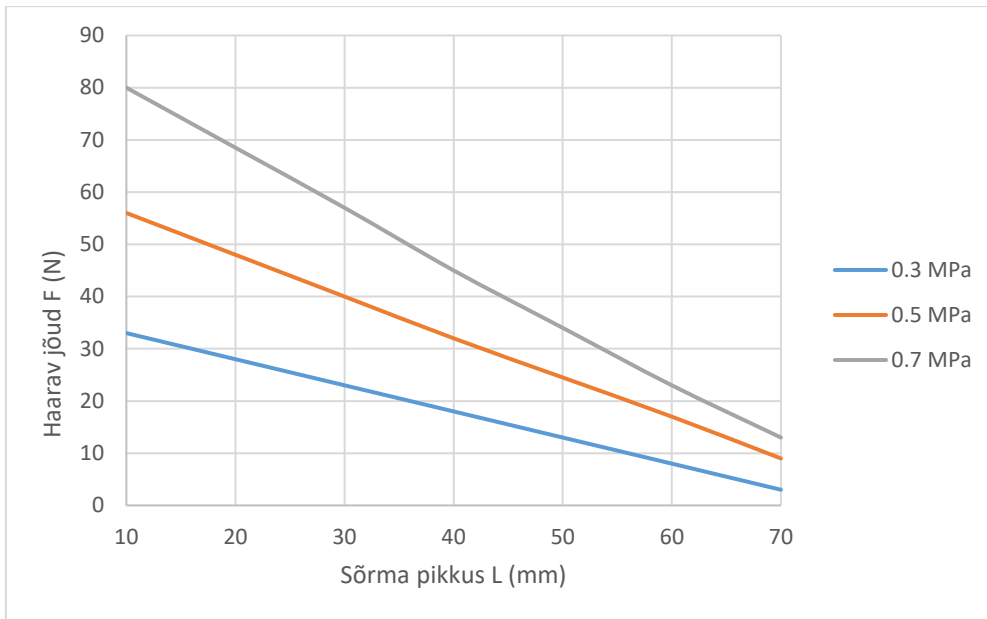
Selles disainis on haaratsisõrmed struktuuri kõige haavatavam osa, mis võtab suurema osa koormusest. Töötamise ajal kahjustuste vältimiseks viidi selle osa jaoks läbi stressianalüüs. Stressi analüüs oli tehtud kasutades Solidworks Simulation.

Võttes arvesse, et analüüsi objektiks on plast, elastne materjal, kasutati täpsemate andmete saamiseks mittelineaarset analüüsi. Simulatsiooni kestus on 2 sekundit sammuga 0.1 sekundit.

Algandmed:

- $p = 0.5 \text{ MPa}$
- $L = 70 \text{ mm}$

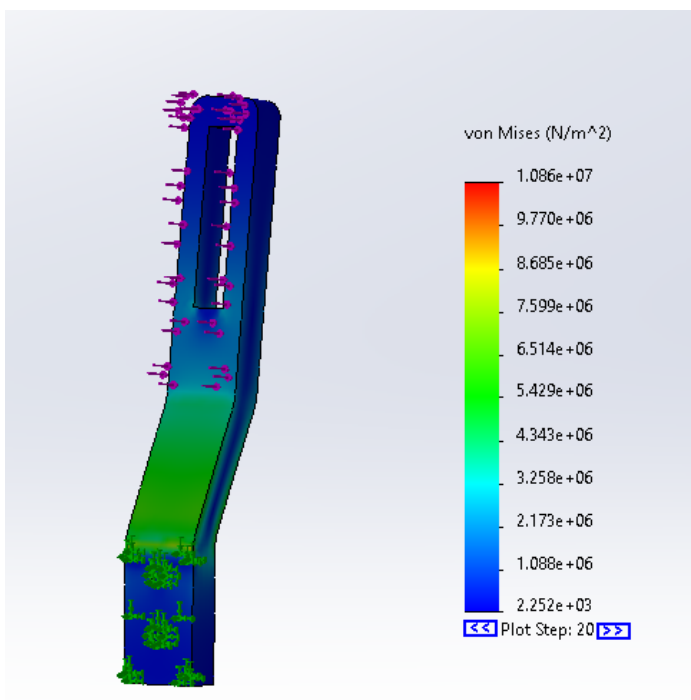
Kasutades joonis 2.3 saame, et ühel sõrmel vajutav jõud on 10 N.



Joonis 2.3 Haardetugevuse sõltuvus sõrmede pikkusest

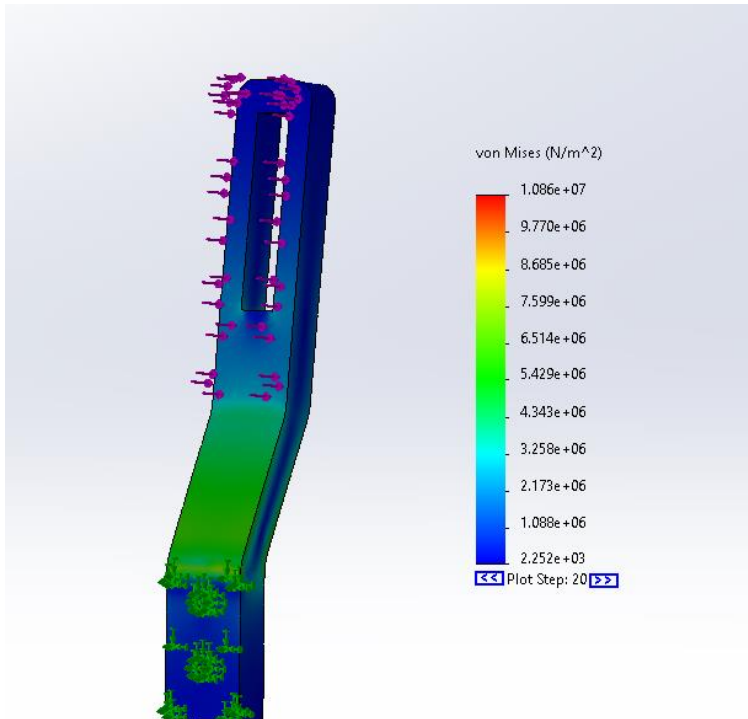
ABS plastiku tõmbetugevus on 13 – 65 MPa [10]. Keskmine tõmbetugevus on 30 MPa. Stressi analüüsist saame, et maksimaalne surve on 10 MPa. Kasutades valemit 2.1 arvutame, et ohutustegur on 3, mis on hästi piisavalt.

$$Ohutustegur = \frac{Tugevus}{Stress} = \frac{30}{10} = 3 \quad (2.1)$$



Joonis 2.4 Stress analüüs (von Mises skaala)

Tehti ka nihketesti. Saadud andmete kohaselt oli sõrme ülemise osa maksimaalne nihe 2,159 mm.



Joonis 2.5 Nihe analüüs

2.4. Haaratsikontroll

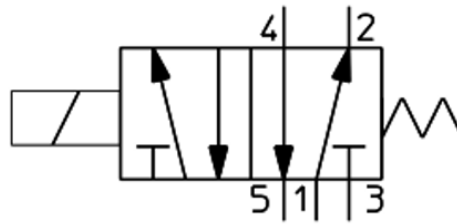
Haaratsi juhtimiseks kasutati pneumaatilist solenoidi.

Klappi parameetrid:

- Tootja - SNS Pneumatic
- Mudeli number - 4V210-06
- Töö printsiip - 5-suunalne 2-asendiline
- Tüüp - elektriline
- Pinge - 12V
- Energiaallikas - DC
- Materjal - Alumiinium



Joonis 2.6 Solenoidklapp

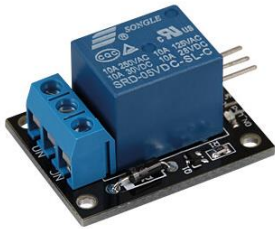


Joonis 2.7 Klappi skeema

Juhtimine klapi asendi üle toimub toiteallikaga ühendatud relee kaudu. Selleks, et lihtsustada süsteemi paigatust kasutati relee mooduli, mida saab lihtsasti ühendada mikrokontrolleriga ja toiteallikaga.

Relee mooduli parameetrid:

- Pinge vahemik: 240 V AC/28 V DC @ 10 A
- Tööpinge: 5 V



Joonis 2.8 Relee moodul

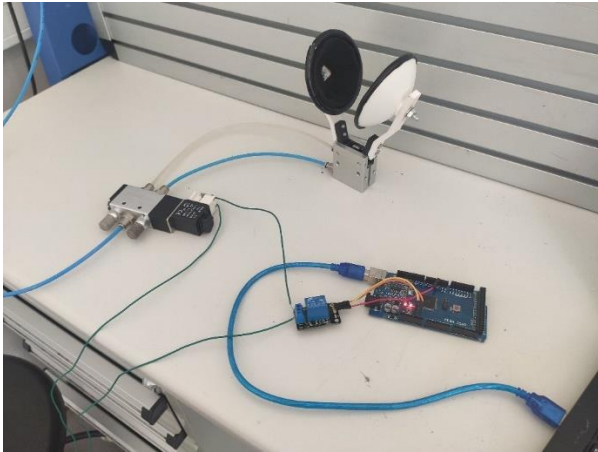
Relee on ühendatud 12V toiteploki. Kogu juhtimis süsteemi saab vaadata joonisel 2.10. Elektrooniline ühendusskeem on näidatud lisa 1.

Toiteploki parameetrid:

- Sisend – AC 85-265V
- Väljund – DC 12V



Joonis 2.9 Toiteallikas



Joonis 2.10 Haaratsi juhtimissüsteem.

3. Haaratsi testimine

Testimise põhieesmärgid oli välja selgitada, kas haarats hoiab õuna piisavalt tihedalt ja kas seda protsessi käigus ei kahjusta õunat. Так же важно было выяснить поведение объекта в случае, если объект был схвачен не полностью, а лишь частично.

Süsteem on katsetatud erineva läbimõõduga õuntega ja erineva sõrme pikkustega. Katse puhtuse huvides võeti õuna maksimaalne läbimõõt. Testimisel kasutati järgmise läbimõõduga õunu: 70, 86 ja 96 mm.

Süsteemi testimiseks kasutati mikrokontrollerit Arduino Mega 2560. Testimisel kasutatud koodi saab näha lisa 2.



Joonis 3.1 Katseobjektid

3.1. Pöörlemiskatse

Esimese testi põhimõtte oli selles, et haarata iga objekti ja haaratsit käsitsi kiirendada, simuleerides manipulaatori tööd. Selles katses testiti juhtumit, kui objekt ei olnud täielikult haaratud. Vaata joonis 3.2.

Vilja eraldamine taimest toimub manipulaatori pöörleva liikumisega. Sellega seoses on vaja testida, kas on võimalik objekti manipuleerida osalise haarega. Selleks fikseeriti katseobjekti haaratsisse, misjärel haaratsile tehti ümber oma peatelje 180 kraadi kiiret pöörlemist.

Kaste 1. Sõrma pikkus 65mm, õuna läbimõõt 70mm.

Tulemused: Õun jäi samass asendis.

Katse 2. Sõrma pikkus 76mm, õuna läbimõõt 86mm.

Tulemused: Õun jäi samas asendis.

Katse 3. Sõrma pikkus 85mm, õuna läbimõõt 96mm.

Tulemused: Iga pöördega muutis õun haaratsis oma positsiooni. Mõnel juhul libises objekt haaratsist välja.

Selle katse tulemuste põhjal selgus, et haarats ei suuda 96 mm läbimõõduga objekti piisavalt kinni hoida juhul, kui objekt ei ole hästi haaratud, mis võib viia toote kaotamiseni.



Joonis 3.2 Osaliselt haaratud õun

3.2. Tõmbekatse

Juhul, kui manipulaatori pöördliikumine on blokeeritud, peab haarats suutma õuna otse tõmmata. Manipulaatori liikumisele vastupidine eeldatav jõud on 10 N.

Haardetugevuse testimiseks kinnitati haaratsisse dünamomeetriga ühendatud õun. Pärast seda avaldati õunale survet ja registreeriti maksimaalne näitaja. Testide jooksul süsteemi rõhk oli 0.5 MPa.

Tabel 3.1 Testimise tulemused

Test	Sõrma pikkus (mm)	Õuna läbimõõt (mm)	Mõõdetud jõud (N)	Keskmine jõud (N)
1	65	70	40, 38, 36, 38, 38	38
2	85	70	30, 26, 28, 27, 26	27.4
3	76	86	22, 21, 23, 20, 18	20.8
4	85	96	8, 4, 3, 4, 5	4.8

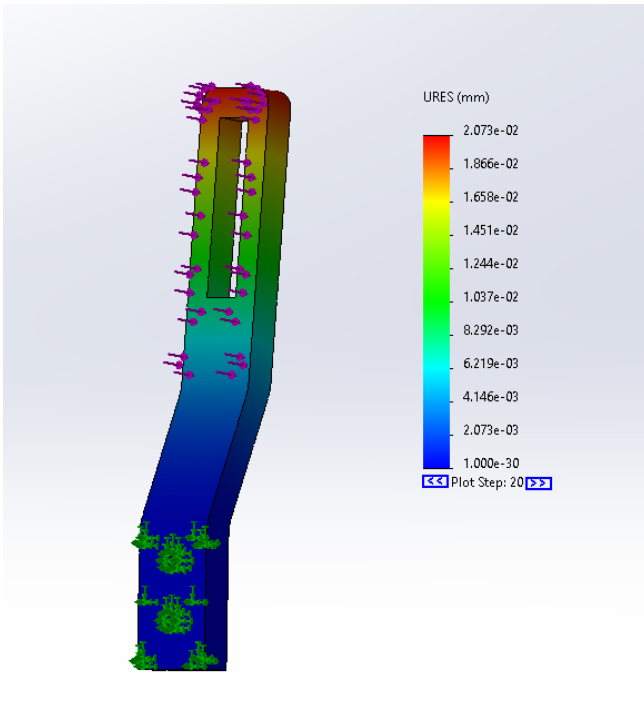
Tulemustest selgus, et see haarats ei ole võimeline manipuleerima üle 90 mm läbimõõduga õuntega, kuna haarav jõud tugevalt langeb ja õunahoidjad ei saa hästi õunat ümbristada.

Kõigi katsete ajal ei saanud õun kahjustusi, kui õun asus õunahoidja keskel. Juhtudel, kui õun haarati manipulaatori servast, siis võis selle kestal näha väikseid märke.

3.3. Muud tähelepanekud

Testide käigus selgus, et haaratsi avamisel hakkasid sõrmed tugevalt vibreerima. Soovimatud vibratsioonid põhjustavad materjali väsimust ajami sõrmedes. See võib ajami pikaealisust oluliselt mõjutada ja põhjustada selle lagunemist. Sel põhjusel tehti täiendav analüüs, kasutades materjalina teras.

Joonisel 3.3 on nähtav, et juhul kui sõrma on toodetud terasest, siis maksimaalne nihe on 0.02 mm. See võib hästi vähendada vibratsiooni amplituudi ja selle kahjulik mõju mehhanismi struktuurile.



Joonis 3.3 Nihe analüüs (teras)

KOKKUVÕTE

Selle uuringu põhieesmärk oli kujundada õunahaarats, mida saab hiljem integreerida täielikult automatiseeritud lahendusse. Peamine disainikriteerium on objekti võimalike kahjustuste minimeerimine.

Enne projekteerimist viidi läbi olemasolevate lahenduste uuring, mille põhjal töötati välja lusikakujuline kontseptsioon. Disain põhineb kahekordse toimega pneumaatilisel nurkhaaratsil. See kujundus kordab osaliselt õuna sfäärilist kuju, mis tagab esemele kindla haarde. Lisati ka sõrmede pikkuse muutmise võimalus, mis võimaldas prototüübi toimimist testida erineva läbimõõduga õuntega.

Seda süsteemi juhitakse 12-voldise elektroonilise solenoidklapi abil, mis on ühendatud relee ja toiteploki. Disaini testimiseks kasutati Arduino kontrolleri.

Testimise tulemusena selgus, et prototüübi optimaalseks toimimiseks ei tohiks objekti läbimõõt ületada 90 mm. Kogu katsetamise ajal ei täheldatud õuna väliskesta kahjustusi.

CONCLUSION

The main goal of this study was to design an apple end-effector that can later be integrated into a fully automated solution. The main design criteria is to minimize possible damage to the fruit.

Prior to design, a study of existing solutions was conducted, on the basis of which a spoon-shaped concept was developed. The design is based on a double-acting pneumatic angle gripper. This design repeats apple partially spherical shape, which ensures a firm grip an object. The possibility of changing the length of the fingers was also added, which allowed to test the operation of the prototype with apples of different diameters.

This system is controlled by a 12-volt electronic solenoid valve connected to a relay and power supply. An Arduino controller was used to test the design.

The testing showed that the diameter of the object should not exceed 90 mm for optimal performance of the prototype. No damage to the outer skin of the apple was observed throughout the experiment.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „Food and Agriculture Organization of the United Nations“ Saadaval: <http://www.fao.org/faostat/en> [Kasutatud 5 04 2021]
- [2] K. Sanders „Orange Harvesting Systems Review“ 02 2005 Saadaval: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1537511004001977?token=C184983100EE5915531E327E35F9BFBCD4BCD25A272352D53486FF725AC83F761BEC58DA00AD9E5499BB556B9A436F49> [Kasutatud 5 05 2021]
- [3] R. Gallardo ja M. Brady „Adoption of labor-enhancing technologies by specialty crop producers“ Saadaval: <https://www.semanticscholar.org/paper/Adoption-of-labor-enhancing-technologies-by-crop-Gallardo-Brady/3e9e078f2a5d4a8a03d935227982901d10a1724d?p2df> [Kasutatud 5 04 2021]
- [4] G. Kootstra, X. Wang „Selective Harvesting Robotics: Current Research, Trends, and Future Directions“ Saadaval: https://www.researchgate.net/publication/348898063_Selective_Harvesting_Robotics_Current_Research_Trends_and_Future_Directions [Kasutatud 5 05 2021]
- [5] J. Davidson „Mechanical design and field evaluation of a robotic apple“ 05 2016 Saadaval: <https://research.libraries.wsu.edu/xmlui/handle/2376/12112> [Kasutatud 28 03 2021]
- [6] J. Baeten, E. Claesen, K. Donn e, S. Boedrij, W. Beckers „Autonomous Fruit Picking Machine: A Robotic Apple Harvester“ 07 2007 Saadaval: https://www.researchgate.net/publication/29644243_Autonomous_Fruit_Picking_Machine_A_Robotic_Apple_Harvester [Kasutatud: 28 03 2021]
- [7] C. Blanes, M. Mellado, C. Ortiz, A. Valera „Review. Technologies for robot grippers in pick and place operations for fresh fruits and vegetables“ 12 2011 Saadaval: https://www.researchgate.net/publication/271189327_Review_Technologies_for_robot_grippers_in_pick_and_place_operations_for_fresh_fruits_and_vegetables [Kasutatud: 28 03 2021]
- [8] A. Dollar ja R. Howe „The Highly Adaptive SDM Hand: Design and Performance Evaluation“ Saadabal:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.662.403&rep=rep1&type=pdf> [Kasutatud: 28 03 2021]

- [9] Z. De-An, L. Jidong, J. Wei, Z. Ying, C. Yu „Design and control of an apple harvesting robot“ 10 2011 Saadaval: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511011001206> [Kasutatud: 29 04 2021]
- [10] „MatWeb Material Property Data“ Saadaval: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3a8afcdac864d4b8f58d40570d2e5aa&ckck=1> [Kasutatud: 28 04 2021]
- [11] A.Pettersson, S. Davis, J.Gray, T.Dodd, T.Ohhlsson „Design of a magnetorheological robot gripper for handling of delicate food products with varying shapes“ Saadaval: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877410000130> [Kasutatud: 10 05 2021]

Lisa 1 Testimises kasutatud kood

```
int incomingByte = 0; // muutuja, mis salvestab sissetuleva baidi

void setup() {

    pinMode(3, OUTPUT); // pin 3 kasutatakse signaali edastamiseks releele
    Serial.begin(9600); // avab jadaporti, määrab andmeedastuskiiruseks 9600 bps

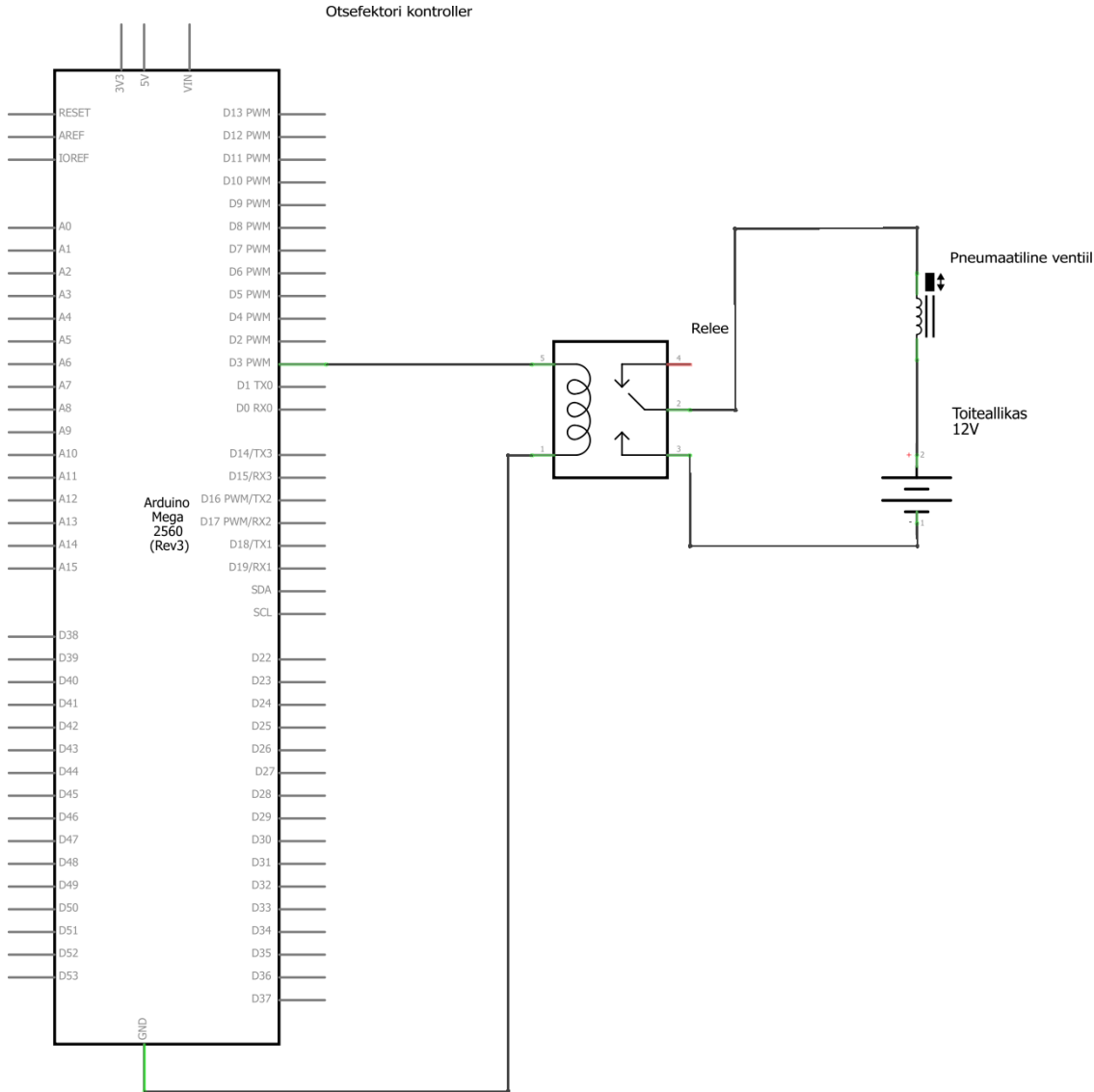
}

//relee juhtimiseks saadame sümbolid "1" või "2"
//ascii tabelis on need "49" ja "50"

void loop() {
    if (Serial.available() > 0) {
        incomingByte = Serial.read(); // loe sissetulevat bait'

        if(incomingByte == 49){
            digitalWrite(3, HIGH);
        }
        else if(incomingByte == 50) {
            digitalWrite(3, LOW);
        }
        Serial.println(incomingByte); //printime vastuvõetud baidid konsooli
    }
}
```

Lisa 2 Elektriskeem



fritzing