



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

NUTIKA KLASSIRUUMI KUMMUT

SMART CLASSROOM'S DRESSER

RAKENDUSKÕRGHARIDUSTÖÖ

Üliõpilane: Marie-Johanna Janno

Üliõpilaskood: 193106EDTR

Juhendaja: Ago Rootsi, lektor

(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.

01.2023

Autor: Marie-Johanna Janno

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

01.2023

Juhendaja: Ago Rootsi

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

01.2023

Kaitsmiskomisjoni esimees Aime Ruus

/ allkirjastatud digitaalselt /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Marie-Johanna Janno

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Nutika klassiruumi kummut

mille juhendaja on Ago Rootsi

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.

01.2023

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.

Tartu kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Marie-Johanna Janno, 193106EDTR

Õppekava, peeriala: Telemaatika ja arukad süsteemid EDTR17/18, Küberfüüsikalised süsteemid

Juhendaja(d): Ago Rootsi, lektor, +372 56629821

Lõputöö teema:

Nutika klassiruumi kummut

Smart classroom's dresser

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Uurida millised võimalused on olemas
2. Valida esemetuvastussüsteem
3. Teha valmis nutikas kummut

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.		
2.		
3.		

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 04.01.2023 a

Üliõpilane: Marie-Johanna Janno 01.2023 a
/ allkirjastatud digitaalselt /

Juhendaja: Ago Rootsi 01.2023 a
/ allkirjastatud digitaalselt /

Programmijuht: Aime Ruus 01.2023 a
/ allkirjastatud digitaalselt /

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA.....	7
1. SISSEJUHATUS.....	8
2. LÄHTEÜLESANDE FORMULEERIMINE.....	9
2.1 Problemaatika kirjeldus	9
2.2 Esemetuvastussüsteemi nõuded	11
2.3 Lukusüsteemi nõuded.....	11
2.4 Muud nõuded.....	11
3. SARNASED TOOTED	12
3.1 Iseteeninduskassad	12
3.2 Nutikad kapid ja kummutid	12
3.3 Järeldused	13
4. ESEMETUVASTUSSÜSTEEMI VALIMINE JA KOOSTAMINE.....	14
4.1 Kaalusüsteemi parameetrid	14
4.2 Kaalusüsteemi valik.....	15
4.3 Kaalusüsteemi mehaanilise osa kokkupanek.....	16
4.4 Kaalusüsteemi elektroonikalahendus	17
4.5 Kaalusüsteemi katsetamine	18
5. SAHTLIBOKSI TÖÖMOODUSE MÄÄRAMINE	20
6. TEISTE KOMPONENTIDE VALIK JA ELEKTRISKEEMI LAHENDUS	
21	
6.1 Lukusüsteemi valik	22
6.2 Avamisnupu valik	23
6.3 Arendusplaadi valimine	24
6.4 Toitelahenduse valimine	24
6.5 Elektriskeemi lahendamine	25
7. PROTOTÜÜBI EHITUS	26
7.1 Prototüübi elektroonilise osa kokkupanek.....	26
7.2 Prototüübi elektritoite osa kokkupanek.....	28
7.3 Prototüübi mehaanilise osa kokkupanek.....	29
7.4 Sahtli komponentide maksumus	30

8.	PROTOTÜÜBI TARKVARA KOOSTAMINE.....	31
8.1	Kalibreerimise kood.....	31
8.2	Sahtli töökood.....	31
9.	TULEMUSED.....	33
	KOKKUVÕTE.....	35
	SUMMARY.....	36
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	37
	LISAD.....	40
	Lisa 1 Sahtli töömoodus	40
	Lisa 2 Sahtli elektriskeem.....	41
	Lisa 3 Kaalulattide kalibratsioonikood.....	42
	Lisa 4 Sahtli töökood	43

EESSÕNA

Lõputöös lahendatava ülesande püstitas Tartu Ülikooli simulatsioonikeskuse juhataja Riho Runnel. Autor soovib tänada Riho Runnelit huvitava ülesande püstituse eest.

Nutikas kummut, nutikas klassiruum, kaalusüsteem, bakalaureuse töö.

1. SISSEJUHATUS

Eesti vanasõna ütleb „harjutamine teeb meistriks“. Harjutamine aga eeldab, et oleksid koht ja vahendid, kus harjutada. Varasemalt oli vajalik ka juhendaja, kes annaks tagasisidet. Tänapäevaste tehnoloogiate juures ei ole inimjuhendaja olemasolu vajalik ja piisab arvutist. See aitab hoida juhendajate aega kokku ja annab õppijatele paindlikuma ajagraafiku. Üks selliseid oskuseid on elustamine – siin sõltub elustaja kiirest ja korrektsest sekkumisest patsiendi ellujäämine. Selles protsessis töötab aeg patsiendi kahjuks ja iga sekund mis on kulutatud meenutusele, mida teha, vähendab eduka elustamise tõenäosust. Elustamise oskuse tähtsust on raske üle hinnata.

Tartu Ülikooli Simulatsioonikeskuses õpetatakse elustamist. Mitmed loengud ja harjutustunnid on inimjuhendajaga, kuid loodud on ka autonoomne klassiruum. Autonoomses klassiruumis on Rescusi Anne elustamisnukk millega on kaasas ka SimPad PLUS, mis annab tagasisidet sekkumise korrektsuse ja tulemuslikkuse kohta [1]. Autonoomses klassiruumis harjutatakse hingamisteede esmaabi andmist. Alustades kergemate, väheminvasiivsete võtetega ja minnes edasi raskematele, invasiivsematele võtetele.

Simulatsioonikeskuse juhataja soov oli, et õpilased paneksid kasutatud vahendid tagasi oma kohtadele. Vahendite hoiustamine õigetes sahtlites on vajalik, et hoida autonoomset klassiruumi toimimas. Esimene, kes vahendeid korralikult tagasi ei pane, rikub süsteemi ladusa toimimise. Järgmine kasutaja peab alustama komponentide otsimisega.

Käesolev lõputöö keskendub selle probleemi lahendamisele – kui asjad pole oma kohale tagasi pandud, ei saa kasutada järgmise etapi vahendeid. See hoiab klassiruumi korras ja võimaldab järgnevatel õpilastel saada õppekogemus, ilma, et peaksid aega kulutama vahendite otsimisele. Tähtis ei ole järjekord, millise etapiga alustatakse või kas mõnda etappi otsustab õpilane mitte harjutada. Selle süsteemiga vähendatakse ka esemete kadumaminemise võimalust.

Lõputöö ülesande sõnastas Tartu Ülikooli Simulatsioonikeskuse juhataja Riho Runnel.

2. LÄHTEÜLESANDE FORMULEERIMINE

Vaja on kohta kus hoiustada esmaabi vahendeid, mida saaksid õpilased iseseivsalt kasutada. Ühe etapi vahendeid ei tohi saada kätte enne, kui teise etapi vahendid pole kohtadel tagasi. Siinjuures ei mängi rolli, kumba etappi enne soovitakse teha. Vahendite hoiustamiseks on mõistlik kasutada kummutit, kuigi selle tegemine on tehniliselt keerukam kui näiteks kapisüsteemi, siis kappi on ebamugavam kasutada.

Kummutis peab olema kontrollsüsteem, mis tuvastab ära, kas esemed, mis seal peavad olema, ka seal on. Sahtlid peavad käima lukku ja kasutaja jaoks võib avatud olla üks sahtel korraga. Käesoleva lõputöö raames on kummutil kaks sahtlit, mis tõestab ära idee, kuid süsteem peab olema skaleeritav – lahendus tuleb teha nii, et oleks võimalik teistsugust kummutit kasutades lisada rohkem sahtleid.

Lõputöö eesmärgiks on valmis teha esmane prototüüp, mis töötaks Taru Ülikooli simulatsioonikeskuse juhataja poolt soovitud esemetega (esemed on loetletud järgmises punktis) ja seda katsetada. Väiketootmisesse mineva süsteemi tootearendus ei kuulu töö mahtu.

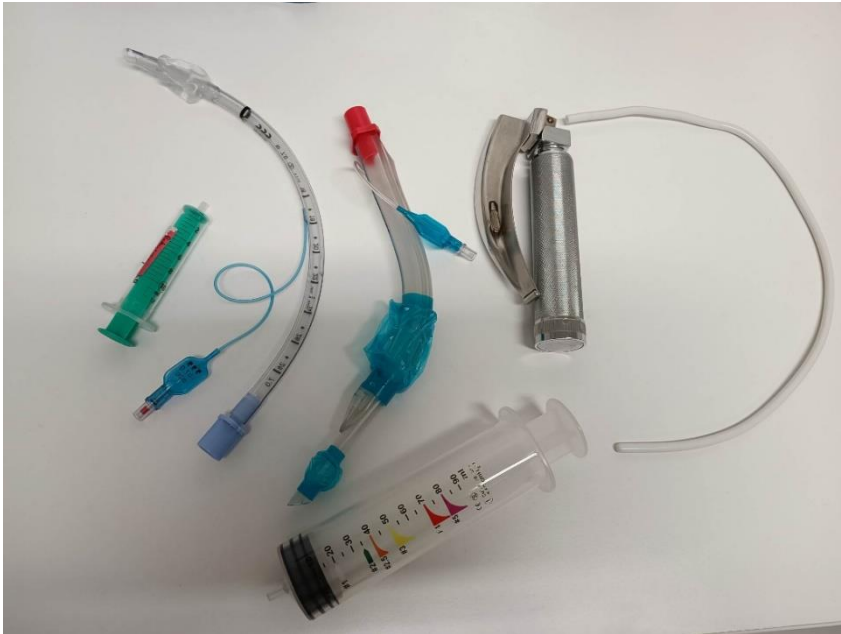
2.1 Problemaatika kirjeldus

Klassiruumi korrashoiuks on vaja sahtleid, mis kontrollivad, kas esemed, mis seal peaksid olema ka seal on. Kummut ise peaks olema standartne, et oleks võimalik panna sama lahendus ka mõnele teisele kummutile. Sees olevad esemed on erineva kuju, materjali ja kaaluga. Ühes sahtlis on järgnevad esemed: nasofarüingeaalatoru, orofarüingeaalatoru ja ventilatsioonikott koos maskiga. Esemed on toodud joonisel 1.



Joonis 1. Elustamisvahendid, komplekt 1.

Teises sahtlis olevad esemed: kõritoru, kõritoru manseti täitesüstal, larüngoskoop, intubatsioonitoru, intubatsioonitoru manseti täitesüstal ja juhtvarras. Esemed on joonisel 2.



Joonis 2. Elustamisvahendid, komplekt 2.

Korraga võib avatud olla üks sahtel ja see peab ka nii avatusest kui ka sellest, kas esemed on sees, märku andma visuaalselt. Kontrollsüsteem ei pea pidevalt kontrollima sahtlis olevate esemet kohalolekut, kui see ei osutu ülesande lahendamisel mõistlikumaks variandiks. Sahtlit kus kõik esemed sees ei ole, ei tohi saada lukustada. Kuni sahtli sisu pole õige, ei tohi saada avada ka teisi sahtleid. Kasutajal ei tohi olla võimalust avada teisi sahtleid kui üks sahtel on avatud, ka mitte siis kui avatud sahtlis on kõik esemed sees. Enne tuleb sahtel kinni panna ja siis saab teisi sahtleid avada.

Lähteülesandest tulenevalt jagati kummuti valmimine järgnevateks alamülesanneteks

- Sobiva esemetuvastussüsteemi valimine või koostamine
- Kummuti kasutamismugavusest ja tööprintsibist lähtuva töötamisviisi defineerimine
- Muude komponentide valimine ja elektriskeemi kavandamine
- Komponentide üldise paiknemislahenduse tegemine
- Prototüübi kokkupanek ja tarkvara koostamine

- Prototüübi katsetamine
- Katsetulemuste analüüs ja vajadusel paranduste tegemine

Järgnevalt on kirjeldatud sahtli nõudeid erinevatele komponentidele.

2.2 Esemetuvastussüsteemi nõuded

Esemetuvastussüsteem peab tuvastama kogu komplekti kohalolu ja selle puudumist, üksikute esemete tuvastust ei ole nõutud. See tähendab, et ei pea eristama, kas konkreetne ese on kohal või ei ole. Piisab kui on tuvastatud kas kogu komplekt on kohal. Selle teeb keerulisemaks esemete erinev suurus, mass, materjal ja muutuda võiv komplekti koosseis. Süsteemile peab olema võimalus lisada uusi esemeid haldaja poolt ja seega ka esemete eemaldamine süsteemist peab olema võimalik. Eesmärk ei ole teha kummut mis oleks väga turvaline, sellises klassiruumis on teada kasutajad registreeritud – nii läbi broneerimissüsteemi kui ka on teada kellel on klassiruumi võti. Kummuti eesmärk on, et korruga saaks olla avatud üks sahtel ja sahtel ei lukustuks ega oleks võimalik avada teist sahtlit siis, kui mõni muu sahtel on lahti.

Arvestama peab ka kasutusmugavusega. Kas esemed tuleb panna neile ettemääratud kohtadele või võib panna neid suvaliselt. Kui on ettemääratud kohad, siis tuleb arvestada jällegi esemete muutumisega. Sahtli avatud olekus ei ole vaja esemete kohaloleku kontrolli, kui see ei osutu lahenduse tegemisel mõistlikumaks variandiks.

2.3 Lukusüsteemi nõuded

Lukk peaks olema elektriline. Lukk peab andma tagasidet kas sahtel on lukus või lahti. Lahti võib olla korruga üks sahtel. Kui kasutaja soovib avada lukustatud sahtlit, ei tohi see tal õnnestuda – lukk peab mõistlikule tõmbamisele vastu pidama.

Lukk peab sobima sahtlile, sahtel võib paar millimeetrit kinnipanekul nihkuda. Seda peab saama ka avariolukorras. Näiteks elektrikatkestuse ajal ja ka elektroonika rikkimineku korral.

2.4 Muud nõuded

Kummuti lahendus peaks olema standardne, et süsteemi oleks võimalik lihtsalt ka teistele kummutitele paigaldada. Tehniline lahendus peab olema selline, et elektrikatkestuste ajal oleks sahtlit võimalik avada ja katkestuse lõppemise järel on süsteem taas töövalmis. Kummut võib vajada toidet elektrivõrgust. Ei pea töötama autonoomsel toiteallikal.

3. SARNASED TOOTED

Sellist valmis süsteemi, nagu lõputöös kirjeldatud probleemi lahendamiseks on vaja, ei suutnud autor leida. Lahendatud on sarnast probleemi – kontroll, kes ja mis eseme võttis. Järgnevalt on kirjeldatud erinevaid süsteeme, kus kasutatakse esemetuvastust. Esemetuvastusele on keskendunud, sest see on lõputöö olulisim lahendusosa. Esemetuvastussüsteem on ka osa mille järgi valitakse teised komponendid.

3.1 Iseteeninduskassad

Iseteeninduskassad on süsteemid, kus klient saab oma kaubad tuvastada ja maksta, ilma et poe töötaja seejuures abis oleks. Kasutusel on mitmeid variante kus üks osa süsteemist ja mõnikord ka ainuke on vöotkoodi skaneerimine [2]. Samas kasutatakse ka variante, kus skaneeritakse vöotkood ja lisaks on kaal – süsteemi on sisestatud toodete kaalud ja need peavad klappima kaalumise tulemusega.

Puutevabade identifikaatorite kasutamine kassades on süsteem, milles igale tootele kleebitakse külge kiip ja ostlemise lõpus vastuvõtja tuvastab esemed ära [3]. Kasutusel on ka masinnägemine – kaamera tuvastab ära iga korvi asetatud eseme [4].

3.2 Nutikad kapid ja kummutid

SupplyPro SmartDrawer on sarnane sellega, mida siin lõputöös soovitakse teha [5]. Sahtlid on jaotatud osadeks (vähemasti kaheks) ja kui soovitakse mõnda eset võtta, tuleb ennast tuvastada – kiipkaardi või sisselogimisega. Seejärel võib valida sobiva eseme (kuid ligipääsu võib ka keelata). Konkreetse eseme karp tuleb lahti nuppu vajutades. Eset tagasi tuues tuleb jällegi ennast tuvastada ja seejärel saab eseme oma karpi tagasi panna.

Stockart Dualsmart on süsteem, mis on mõeldud eelkõige haiglatele kasutamiseks [6]. Selles salvestatakse iga kord karpide täitmisel esemete kogused, mis sinna lisati. Kui töötaja võtab mõne eseme, siis vajutab ta nuppu, mis annab laole teada, et selline üks asi on vähem. Kui töötaja toob eseme tagasi, vajutab ta teist nuppu, mis annab süsteemile teada, et üks selline asi on juures. Saab lisada turvalisust juurde kaameratega ja kontrollides töötaja õigusi kappide uste avamisel.

Assa Abloy firma poolt tehtud võtmekapid on tehtud võtmete väljastamiseks, et kontrollida, kes millise võtme võtab [7]. Võtmetele pannakse külge metallist kiibiga võtmehoidja mis tuvastab võtme kohalolu.

Hotellitubades asuvad minibaaridel on erinevad tehnoloogiad millega tuvastatakse eseme eemaldus kapist. Näiteks kasutatakse lülitit – ese vajutab lülitit ja selle eemaldamisel läheb lüliti teise asendisse [8]. Osa analoogseid lahendusi kasutavad esemega infrapunakiire varjamist, kui ese võetakse ära, jõuab valgus jälle andurisse, andes märku eseme puudumisest.

3.3 Järeldused

Esemete tuvastuseks on kasutusel erinevaid süsteeme. Olemas on ka nutikad kapid ja kummutid, kuid selle lõputöö lahenduseks need ei sobi. SupplyPro firma SmartDrawer on üsna sarnane sellega mida saavutada soovitakse, kuid sellel on liiga palju funktsionaalsust selle klassiruumi tarbeks. Soovitakse lihtsamat lahendust. StockArt firma oma on liiga suure mahuga ja puudub funktsionaalsus lukustada sahtleid või esemeid. Võtmetele lisatavad võtmehoidjad ei ole rakendatav esemetele, millel puudub sobiv koht, kuhu rõngas kinnitada. Rõngad jäävad ette esemete kasutamisel.

Hotellitubade minibaarides olevad lülitid ja infrapuna andurid on sahtlis kasutamiseks sobilikud, kuid nende petmine on lihtne. Baarikappides võivad olla esemed eemal konkreetne aeg, näiteks kümme sekundit, kuid klassiruumis esemete kasutusaeg ei ole määratud.

Iseteeninduskassades olevad süsteemid – just kaalusüsteem on lõputöö jaoks kõige suurema potentsiaaliga. Esemed, mis sahtlis on, on kindla kaaluga. Komplekti koosseisu muutmise korral saab programmist kaalu ümber programmeerida. Võõtkoodide ja raadiosagedustuvastuse kiipide kleepimine ei ole samuti praktiline, sest esemetel ei pruugi olla head kohta kuhu triipkood või kiip panna (painduvad materjalid). Pildituvastusega süsteemil on vaja kaamerat ja pilditöötlemisvahendit, mis teevad selle näiteks kaaluandurite kasutamisest keerukamaks. Komplekti muutmisel on tarvis kulutada aega ka masinõppe mudelite treenimiseks, sest süsteem peab esemeid tuvastama erinevates vaadetes ja valgustingimustes.

4. ESEMETUVASTUSSÜSTEEMI VALIMINE JA KOOSTAMINE

Olemasolevate sarnaste lahenduste analüüsist järeldati, et kaaluandurite kasutamine on selleks kõige otstarbekam. Kaalusüsteem vastab peatükis 2 esitatud nõutele. Uute esemete lisamisel tuleb programmis uue eseme kaal lisada, eseme vahetusel samasugusega ei teki vajadust midagi ümber teha (kiibi kleepimine näiteks). Süsteemi on ka keerukas petta - komplekti kasvõi ühe komponendi vahetamine mõne muu ettejuhtuva esemega on väga vähetõenäoline, et eseme kaal oleks lubatud lõtku piires sama mis asendatud komponendil. Olenevalt kaalusüsteemist võib osutuda vajalikuks esemete kohtade märkimine, kuid sellisel juhul võib olla selleks ka joonistatud kohad, mida saab lihtsalt muuta.

Lõputöö ülesande autor ei sekkunud valimisprotsessi, kuid süsteemi valimisel anti talle teada ja kaalusüsteemiga lahendus on talle sobiv.

4.1 Kaalusüsteemi parameetrid

Kaalusüsteemil tuleb jälgida mõõtepiirkonda ja mõõtemääramatust. Sellel süsteemil on oluline, et mõõtemääramatus ei ületaks poolt kergeima eseme kaalu [9]. Kuigi see võib tekitada probleeme, siis kui esemeid soovitakse sahtlis asendada ja uus ese on väga kerge. Uute esemete lisamisel peab arvestama, et kui ese on kergem, kui eelmine kõige kergem ese, siis seda ei pruugi süsteem korrektselt tuvastada. Samas kuna prototüüp on kavandatud esemetega millest kergeim on 4 grammi, siis võib arvata, et veel kergemaid esemeid sahtlis ei ole. Probleem võib tekkida ka siis, kui raskeim ese on liiga raske, läheb mõõtepiirkonnast välja. Ekstreemsetele olukordadele käesolevas lõputöös lahendust ei otsita, mõõtepiirkond on tehtud esemetele alates 4 grammist ja kogu komplekti kaal 535 grammi.

Prototüübis on kasutatud esemeid, mida mainiti lähteülesadne formulerimisel. Esimeses sahtlis on esemete kaal grammides: 4, 12 ja 426. Teises sahtlis on esemete kaal grammides: 41, 63, 388, 15, 6 ja 22. Kui mõlemas sahtlis kasutada samasugust süsteemi, mis oleks praktiline, ei tohi mõõteviga ületada 2 grammi, muidu ei ole eseme puudumine kindlalt tuvastatav. Kui mõnes sahtlis on ainult raskemad esemed, võib seal kasutada teistsuguse mõõtepiirkonnaga kaaluandurit.

4.2 Kaalusüsteemi valik

Kaubanduses on müügil erinevat tüüpi kaaluandureid ja seega valik tehti kasutamismugavusest lähtuvalt. Kaaluandur peab suutma tuvastada vähima massiga eset, nii selle kohalolekut kui puudumist. Komplekti kogukaal peab mahtuma mõõtepiirkonda. Kergeim ese on selles prototüübis 4 grammi, esimese sahtli esmete kogukaal on 422 grammi ja teise sahtli esemetel 535 grammi.

Tabel 1. Kaaluandurite võrdlus.

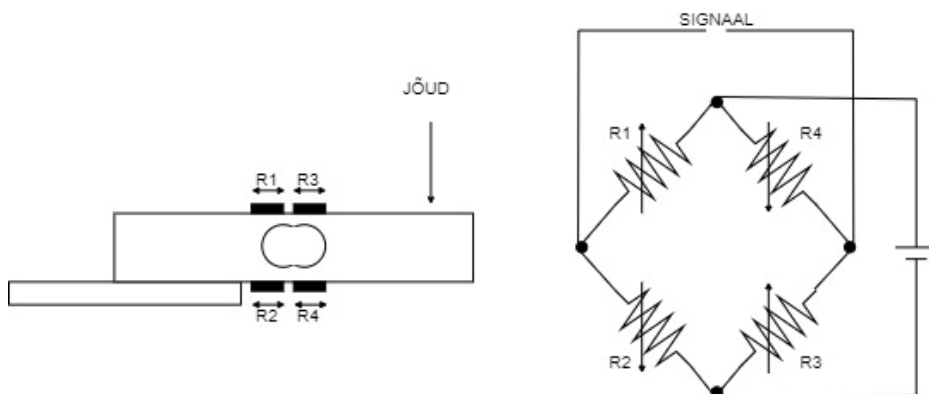
Parameeter	Täissilla skeemiga tensotajur, latina [10]	Poolsilla skeemiga tensotarjur [11]	Täissilla skeemiga tensotajur, S tüüpi [12]
Mõõtevahemik	0-1 kg	0-50 kg	0-1 kg
Mittelineaarsus mõõtepiirkonnas	0.05 %	0.05 %	0.03 %
Korratavus mõõtepiirkonnas	0.05 %	0.05 %	0.03 %
Soojuslik triiv mõõtepiirkonnas	0.05 %/10 kraadi C	0.1 %/10 kraadi C	0.03 %/10 kraadi C
Jääkdeformatsiooni viga	0.05 % 3 min jooksul	0.1 % 1 min jooksul	0.03 % 30 min jooksul
Mõõtmed (kõrgus, laius, sügavus) millimeetrites	12,7, 10, 80	7,8, 34, 34	58, 12, 62

Valituks osutusid kaalulattid, sest alumiiniumist mõõtelatt hoiab kõiki nelja sildlülituses tensotajurit ühesugusel temperatuuril, sildlülitus kompenseerib nende takistuse temperatuurisõltuvuse ja lülitus tervikuna on oluliselt stabiilsema temperatuuriga kui üksikult paiknevad poolsilla struktuuriga tensotajurid [13].

Kaalulattidel on 4 tensotajurit, mis on kleebitud paarikaupa lati kummalegi küljele. Tensotajurid käituvad takistitena, mille takistus sõltub deformatsioonist. Kokkusurumisel takistus väheneb ja venitamisel suureneb. Tensotajurid ühendatakse sildlülituseks selliselt, et kummaski õlas oleks üks kokkusurutav ja üks venitav tajur nii, et lati deformatsiooni korral silla õlgade pingejagamistegurid muutuksid erinevas suunas.

Sellisele mõõtesillale stabiilse elektrilise pinge rakendamisel on pingete erinevus silla õlgadel proportsionaalne lati deformatsiooniga. Tensotajurite ühendust on näha joonisel

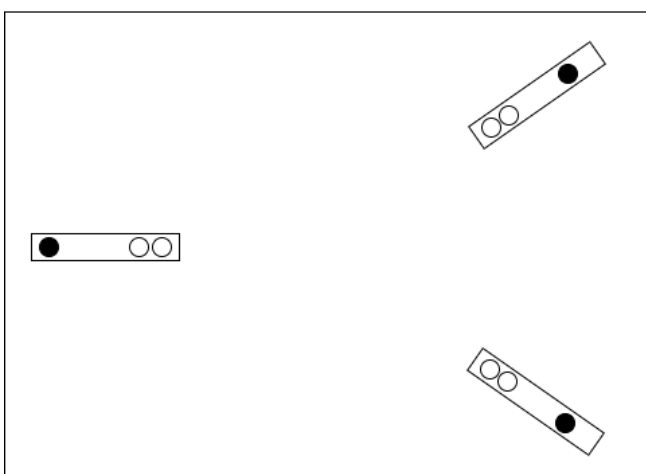
3. Kaalulati väärtuste saamist võimaldab mõõtemoodul HX711 [14]. See sisaldab stabiilse toitepinge allikat silla toiteks, suure võimendusega ning väikese termotriiviga diferentsiaalvõimendit ja täpset analoog – digitaal muundurit, mis ühendatakse kontrolleri I2C liidesega [15].



Joonis 3. Tensotajurite skeem.

4.3 Kaalusüsteemi mehaanilise osa kokkupanek

Kolm punkti määravad tasapinna, seega võeti kasutusele kolm kaalulatti, mis asetsevad sahtli põhjas kolmnurgana, asetsedes kolmnurga tippudes. Kaalulattid kinnitatakse esmalt metallist naelutusplaatide külge kahe kruviga. Naelutusplaat kinnitatakse neljast punktist sahtli põhja külge kruvidega. Plaat annab stabiilsuse ja väikese, kuid piisava vahe lati ja sahtli põhja vahele, kus latt saab painduda. Kaalulattide asetust on näha joonisel 4.



Joonis 4. Joonisel on kujutatud kaalulattid sahtlis. Kaalulattid on ristkülikud, nende kruvikohad, millega kinnituvad sahtli põhja külge on valge sisuga ringid ja pealmise katte toetuskohad on musta sisuga ringid.

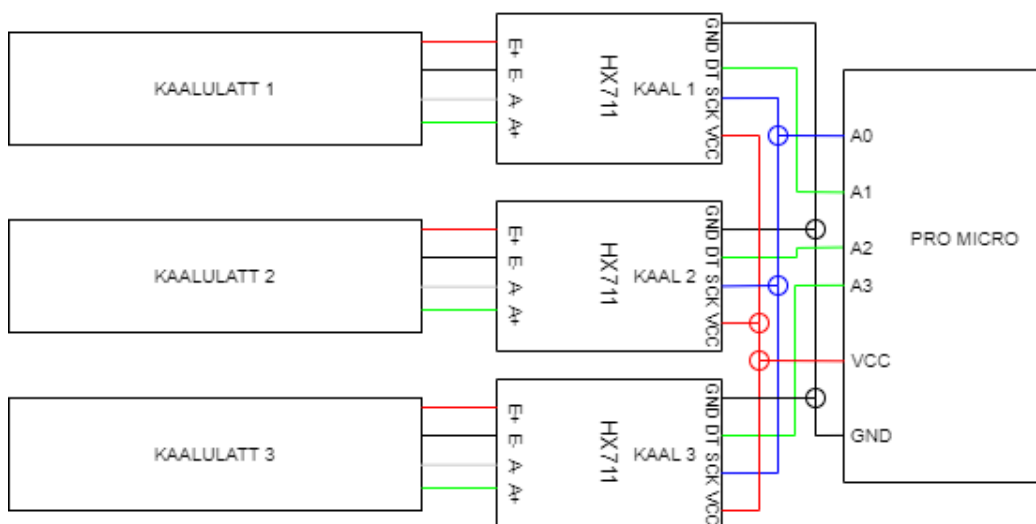
Kaalulati vabade otste kruviavasesse on keeratud spetsiaalsed poldid, millel on poolkera kujuline pea. Poldipeade sfäärilised pinnad toetavad sahtli põhjaks olevat akrüülplaati. Plaadile on tehtud koonusekujulised õnarused, mis toetudes ülalkirjeldatud poltide sfäärilistele peadele, ei lase plaati piki- ega külgsuunas nihkuda. Kaalulatiid koos neile toetuva akrüülplaadiga moodustavad kaalusüsteemiga sahtlipõhja.

4.4 Kaalusüsteemi elektroonikalahendus

Mõõtemooduliks valiti ülalmainitud SparkFun mõõtemoodul HX711. Tootjapoolne teek HX711.h, mis on vajalik mõõtemooduli juhtimiseks ja mõõtmiste tegemiseks, on ette nähtud töötamiseks vaid ühe mõõtemooduli ja kuni kahe mõõtelatiga üheaegselt [16]. Käesolevas kaalusüsteemis on latte kokku kolm.

Katse kasutada analoogmultiplekserit millega lülitada mõõtelatte üksteise järel mõõtemooduli sisendisse, kukkus läbi, sest tensotajurite takistusele liitus multiplekseri kanalite takistused. Latid on ka liiga erinevad, et neid ühesuguse häälestusega tööle panna, aga moodulit ei saa häälestada korraga kolme mõõtelati tarbeks. Seega tehti lahendus, kus muud kõik mõõtemoodulid ühendatakse otse arendusplaadi külge. Nii on võimalik neid eraldi häälestada.

Kaalulatiid tuli esmalt ühendada mõõtemooduli külge. Ühendused joodeti kinni. Seejärel ühendati moodulid mikrokontrolleri külge. Arendusplaadiks valiti siin Pro Micro, sest vajalikud teegid on sellele olemas, plaat ühineb Arduino IDE keskkonnaga ja oli Kolledži elektroonikalaboris olemas [17]. Ühendused on näha joonisel 5.



Joonis 5. Kaalulattide ühendus mõõtemoodulite HX711 külge ja mõõtemoodulite ühendus arendusplaadi külge.

4.5 Kaalusüsteemi katsetamine

Alustati kaalulattide kalibreerimisega. Kalibreerimiseks kasutati HX711 teegis asuvat juhendit [18]. Teegis on olemas kalibreerimiseks vajalikud funktsioonid. Kalibratsiooniraskuseks kasutati metallist eset, mis tehti käesoleva lõputöö jaoks. Koosneb ühest poldist ja ühest metalltorust, mis on ühendatud nii, et polti saab kruvida keerrestatud avasse, kus harilikult paiknevad akrüülplaadi tugipoldid. Sama ava kasutamine annab võimalikult täpse kalibratsioonitulemuse. Ese kaalub 91 grammi.

Teades eseme kaalu ja saades Arduino IDE järjestikmonitorist tulemused saab kasutada neid kalibreerimisfaktorina. Kalibreerimine konkreetse kaaluga testkeha abil võimaldas panna kaalusüsteemi mõõtma massi grammides kuigi sobiva kogukaalu tuvastamiseks see obligatoorne pole. Samas nii on mugavam võrrelda tulemusi muude kaalumisandmetega ja mõista, kas süsteem töötab korrektselt. Koormamata olid näidud 0 grammi, hälbega kuni 0,1 g. Kasutades kontrollraskustena kaaluvihvide komplekti, valideeriti tulemusi ka 2, 10, 50 ja 100 grammiste raskustega. Mõõdiste hälve lati kohta oli kuni 0,4 grammi. Summaarselt kuni 1,2 grammi.

Järgmisena pandi kaalulattidele peale raskused. Esimesele kaalulatile 50 g, teisele 20 g ja kolmandale 100 g. Näidud olid vastavalt 50,1 g, 19,9 g ja 100 g. Viie tunni pärast olid näidud 50,3, 19,9 ja 100,5. Sellest järgmise 5 tunni pärast olid näidud 50,5, 19,9 ja 100,4. Esemete eemaldamisel 10 tundi pärast esemete lisamist jäi deformatsioon ja näidud olid 0,6, 0,0 ja 0,8 g. Tunni pärast lisati samad esemed samadele kohtadele tagasi ja näidud olid 50,7, 19,9 ja 100,4. Esemete eemaldamise järgselt oli hälve võrreldes 10 tundi tagasi olnud nullkaaluga 1,3 grammi. Esemete tagasipanekul oli hälve võrreldes algse esemete lisamisega 1 gramm.

See katse näitas, et näidud muutuvad ajas, kuid summaarne muutus ei ole sellisel perioodil üle 1,4 grammi, muutus mis on sobivas vahemikus, alla kahe grammi. Siiski pikema aja jooksul võib näit veel muutuda. Siit otsustati, et on vajalik kaaluda sahtli sisu enne avamist ja võrrelda asjade tagasipanemisel mõõdiseid nendega mis saadi enne sahtli avamist.

Järgmisena pandi kaalulattidele peale akrüülklaas ja vaadati kas summaarne näit on kaaluvihiga sama, olenemata vihtide asukohtadest. Summaarne kaal on kaaluvihvidega, mis on silindrid sama, kui mõni raskem ese ei jää just päris külje peale ja ei suru akrüülklaasi vastaspoolt üles. Asetades peale 2, 50 ja 100 grammist raskust muutus süsteemi kogukaal vastavalt. Kogukaalu ei määranud ka asetamise järjekord ja eemaldades raskused oli kaalunäit tagasi nullis või selle lähedal ($\pm 0,2$ grammi).

Samas asetades peale erineva kuju ja massiga esemeid, leiti et näit on rohkemal määral asukohast sõltuv. Asetades esemed alati samale kohale on näidu muutus piisavalt väike, et süsteem saaks toimida.

Neist katsetustest järeldati, et selline kaalusüsteem on sobiv esemetuvastuseks. Samas on kindlasti vajalik esmetele kindlate kohtade määramine. Täpsemad algoritmid kaalulattide mõõtmiste tegemiseks kavandatakse süsteemi kokkupaneku järel.

5. SAHTLIBOKSI TÖÖMOODUSE MÄÄRAMINE

Eelmises peatükis kirjeldatud kaalusüsteemi kokkupanemise järel määratleti, kuidas sahtliboksi töötamise viis peaks välja nägema. Lähtuvalt sellest, et ei ole vaja eraldi kaaluanduritega piirkondi väiksematele esemetele, saab panna esemed sama plaadi peale. Samas on vajalik esemete asukoha etteandmine, sest asukohast sõltub mõõtetulemus. Seetõttu on otstarbeks märkida plaadile esemete asukohad. Võimalik, et koguni fotod, mis võimaldab ka asjaosalistel paremini juppe kokku otsida.

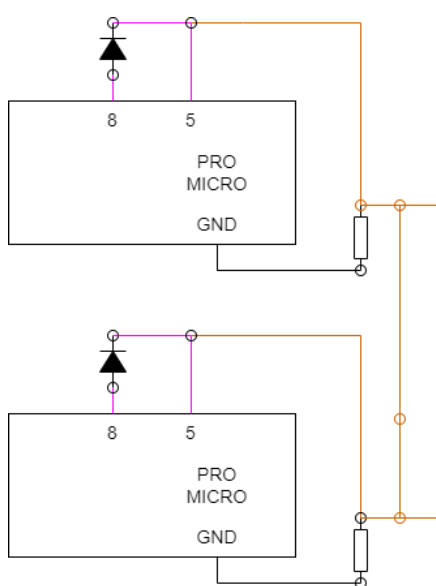
Tavaolekus enne kasutamist on kõik sahtlid kinni ja lukus. Selleks et sahtlit avada, tuleb süsteemile sellest märku anda. Süsteem peab aru saama, millist sahtlit avada soovitakse. Kasutaja peab saama ka tagasiside sahtli oleku kohta. Selleks oleks sobilik kasutada sisseehitatud kontroll-lampidega nuppu. Võiksid olla ka eraldi LED kontroll-lambid, aga kuna sobivaid nuppe toodetakse, on lihtsam ja intuitiivsem kasutada just selliseid nuppe.

Kui nupule on vajutatud, vabastatakse selle sahtli lukustus ja avamisnupu juures läheb roheline tuli põlema. Eeseme eemaldamisel muutub kaal valeks ja põlema läheb punane tuli. Siis ei ole võimalik sahtlit lukustada. Samal ajal kui sahtel on lahti, ei tohi saada avada teisi sahtleid. Kui esemed on tagasi, põleb roheline tuli ja sahtlit on võimalik lukustada. Sahtli lukustamisel kustutatakse LED tuled nupus ja on võimalus avada mõnda teist või ka seda sama sahtlit. Sahtliboksi töömoodust illustreerib joonis lisas 1.

6. TEISTE KOMPONENTIDE VALIK JA ELEKTRISKEEMI LAHENDUS

Teiste komponentide valikul lähtuti töömoodusest, et see oleks selline nagu eelnevas peatükis kirjeldatud. Elektriskeemi lahendus hoiti võimalikult lihtsana. Otsustati teha selline lahendus, kus sahtlid on identsed ja kogu kontroll kaalulattide, luku, nupu ja kontroll-lampide üle on sahtlis sees. Mõeldi läbi ka teised variandid. Näiteks variant kus kogu kontroll toimuks sahtlite taga, kummuti tagaseinal asuvas kontrolleris. Selline variant oleks piiranud süsteemi skaleerimist. Foorumitest leitud info järgi töötab ühe kontrolleri taga korrektselt kuni kuus latti. Samas lähetülesandes on pandud paika, et süsteem peaks võimaldama lisada rohkem sahtleid kui kaks.

Valitud lahendusega läheb sahtlist välja kolm juhet – toitejuhtmed ja üks ühine siin, mille kaudu saavad teised sahtlid infot, kas mõni sahtel on lahti. Info, milline sahtel lahti on, ei oma tähtsust. Selleks tehti lahendus, mida näeb joonisel 6. Iga sahtli mikrokontrolleri väljund annab pidevalt signaali, kui sahtel on lahti. Läbi ühise siini jõuab see info ka teistesse kontrolleritesse. Nimetame seda blokeeringu siiniks. Iga sahtli kontrolleril on selle siiniga ühendatud üks väljund ja üks sisend. Väljund ühendatakse sellele ühisele siinile läbi diodi, et vältida olukorda kus samale siinile saab kokku loogiline 1 ühe sahtli väljundis ja loogiline null teiste sahtlite väljundis. Diod on väljundisse ühendatud nii, et loogilise ühe pinget (5 V) on võimalik ühisele blokeeringu siinile anda kuid loogilise nulli pinget (0 V) mitte. Kui ühestki sahtlist ei anta siinile läbi diodi loogilise ühe pinget, on blokeeringusiinil loogilise nulli pinge sest siin on takistite kaudu ühendatud ühisklemmiga GND.



Joonis 6. Sahtlite blokeeringusiini lahendus.

Kõigi sahtlite blokeeringu siinile ühendatud sisendite kaudu kontrollitakse kas mõni sahtel on avatud. Kui mõni sahtel on avatud, lülitatakse selle sahtli blokeeringu väljund loogilise ühe pingele ja see tähendab kõigi sahtlite jaoks, et üks sahtel on avatud. Kui ükski sahtel ei edasta loogilise ühe pinget (kõik on kinni) langeb blokeeringusiini pinge loogilise nulli nivoole ja see võtab kõigi sahtlite jaoks maha avamiskeelu. Kuigi piisaks ühest takistist terve süsteemi peale, siis siin lahenduses on takisti igal sahtlil, selleks, et sahtleid saaks katsetada ka eraldi, oleksid lahenduselt ühesugused ja võimalusel omavahel vahetatavad.

Sahtli kontrollid kontrollib HX711 kaalumooduleid, blokeeringu siini, lukku ja avamisnupu LED tulesid ning jälgib nupuvajutust ja luku asendilülitit. Kontrollil on ka info, kas mõni teine sahtel on lahti. Sahtli häälestamine käib sahtlis asuvast kontrollist. Sahtli kontrollid tuleb ühendada arvutiga USB pesa kaudu. Nii saab muuta esemete kogukaalu võrdlusarvu ja kaalulatte kalibreerida. Sahtli asendamine teise sahtliga, milles võivad ka kaaluandurid olla teistsugused (näiteks raskematele esemetele mõeldud andurid) ei mõjuta teiste sahtlite tööd.

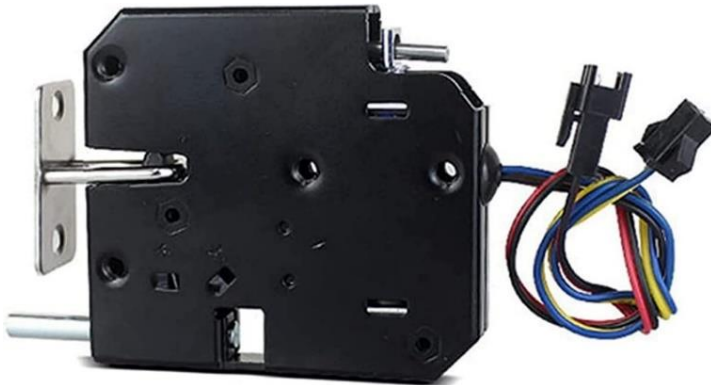
6.1 Lukusüsteemi valik

Süsteemile sobiv lukk on elektriline, avatav ka avariilukkorras käsitsi (näiteks elektrikatkestus), pidama vastu sahtli mõistlikule tõmbamisele ja andma infot kas lukk on lahti või kinni. Valikus oli näiteks magnethoidikud, mis kinnises olekus on elektripinge abil lukus. Elektrilised lukud, mis on avatavad lühikese elektriimpulsiga, osutusid valituks. Peamiselt seetõttu, et lukus olles ei pea neil toidet olema. Esmalt valitud Sary firma lukk osutus ebasobivaks, sest avanemismehhanismi kuuluv negatiivse soojuspaisumisega traat kaotas kiirelt selle omaduse, muutudes ülekuumenemisel traditsiooniliseks positiivse soojuspaisuvuse teguriga traadiks [19]. Ülekuumenemist aga ei õnnestu sellel lukul vältida, ka korrektse kasutamise korral.

Seetõttu võeti kasutusele Louenth firma elektrilukud [20]. Seda lukku avab solenoid, mis on oluliselt töökindlam. Lubatud suurim tõmbejõud lukule on 150 kg, kuid lahendus ei prenteri vandaalikindlusele, sest eelnevalt puruneks ilmselt juba sahtel. Samuti on keerukas üksnes sõrmeotstega tõmmates sellist jõudu rakendada. Kasutusel oleval kummuti sahtlil puuduvad käepidemed, neid saab avada küljelt tõmmates. Vastavalt võib luku sellist tõmbetugevuse piiri lugeda sahtliboksi jaoks piisavaks. Eeldatakse, et inventari kasutatakse mõistlikult ja vandalismi ei kalduta.

Süsteemis kasutatav lukk, mis on joonisel 7, vajab avamiseks 12 V 2 A juures alla sekundi kestvat impulssi. Luku avamisel lülitatakse pinge lukult ära. Lukul on asendikontaktid.

Lukusoleku korral on kontaktid omavahel ühendatud ja avatud olekus lahti. Seega vastab lukk süsteemi nõuetele.

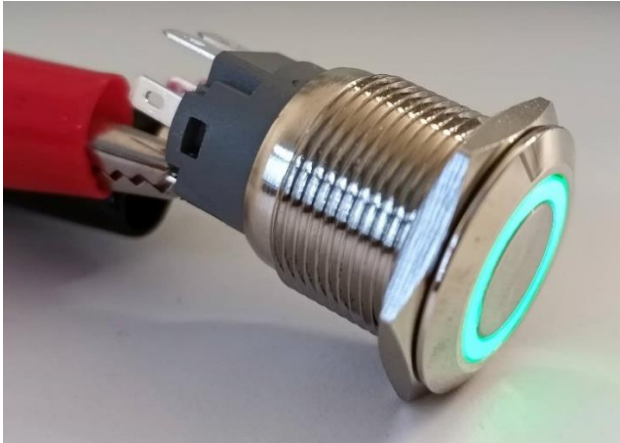


Joonis 7. Sahtli külge monteeritav lukk.

6.2 Avamisnupu valik

Kasutajal on vaja süsteemile anda märku sahtli avamissoovist. Süsteem peab saama üheselt aru, millist sahtlit avada soovitakse. Selleks on hea kasutada nuppu. Nupp peaks pärast vajutust jõudma tagasi algasendisse – ei tohi olla fikseeruv. Lisaks võiks olla nupul indikaator sahtli olukorra kohta. Monteerimise teeb lihtsamaks kui indikaator on nupu küljes. Piiratud töökoja võimekuse juures peaks olema nupp lihtsasti monteeritav, ümar ja randiga. Rant on vajalik, et varjata puurimisel tekkivad ebatasasused augu servas. Oleks hea kui indikaatoritulede toitepinge ei oleks üle 5 V, et saaks need lülitada otse kontrolleri väljunditele.

Sellistele kriteeriumitele vastas AliExpressist leitud Earu firma nupp, millel on LED tuled nupu sees, paistes randina ümber nupu, toitepinge on nupul 5 V [21]. Vastab ka ülejäänud kriteeriumitele. Andes vastavale kontaktile pinge peale, saab muuta värve. Ühendades kolm otsa mikrokontrolleriga, saab tekitada 3 erinevat värvi (roheline, punane, kollane). Värve saab juurde lisada kui ühendada üks ühendamata ots. Selleks ei nähtud selles lõputöös vajadust. Lisaks tuleb ühendada nupuvajutuse registreerimise nupu kontaktid. Nuppu on näha joonisel 8.



Joonis 8. Avamisnupp, pildil näha roheline tuli nupu ümber.

6.3 Arendusplaadi valimine

Arendusplaat peaks olema võimalikult madal, et mahuks sahtli kaalumisplaadi alla ära. Muid sobivaid kohti kontrollerile ei ole, kui tahta teha sahtlipõhine lahendus. Kontroller peab ühilduma Arduino IDE programmeerimiskeskonnaga, sest sinna on tehtud HX711 mõõtemoodulite teegid ja need olid juba katsetatud. Valituks sai SparkFun Pro Micro arendusplaat, mida kasutati ka kaalusüsteemi katsetamiseks. Esmane eelis oli selle olemasolu Kolledži laboris ja varasem tundmaõppimine kaalulattide testimisel. Kontrolleril on piisavalt I/O ühenduskontakte, et saaks ühendada külge nii nupu, luku kui ka kaalulattide mõõtemoodulid. Mõni jääb laienduste jaoks varuks.

6.4 Toitelahenduse valimine

Kuigi Pro Microle maksimaalne lubatav toitepinge on 12 V, siis katsetamisel kaasnes arendusplaadil asuva toitepinge pingestabilisaatori liigne soojenemine. Põhjuseks oli liiga suur pingelang stabilisaatoril suhteliselt suure koormusvoolu juures. Toitestabilisaatori kuumenemine omakorda mõjutab tema poolt stabiliseeritava pingeväärtust ja see omakorda suurendab süsteemi mõõtemääramatust. Otsustati vähendada Arduinole rakendatavat toitepinget 7,5 voldini. Selline pingelühendamine vähendas peaaegu 3 korda stabilisaatoril hajuvat energiahulka. Lisaks vähendab pingelühendamine kaheastmeline stabiliseerimine võimalikke elektrilukkude poolt tekitatavaid pingekõikumisi.

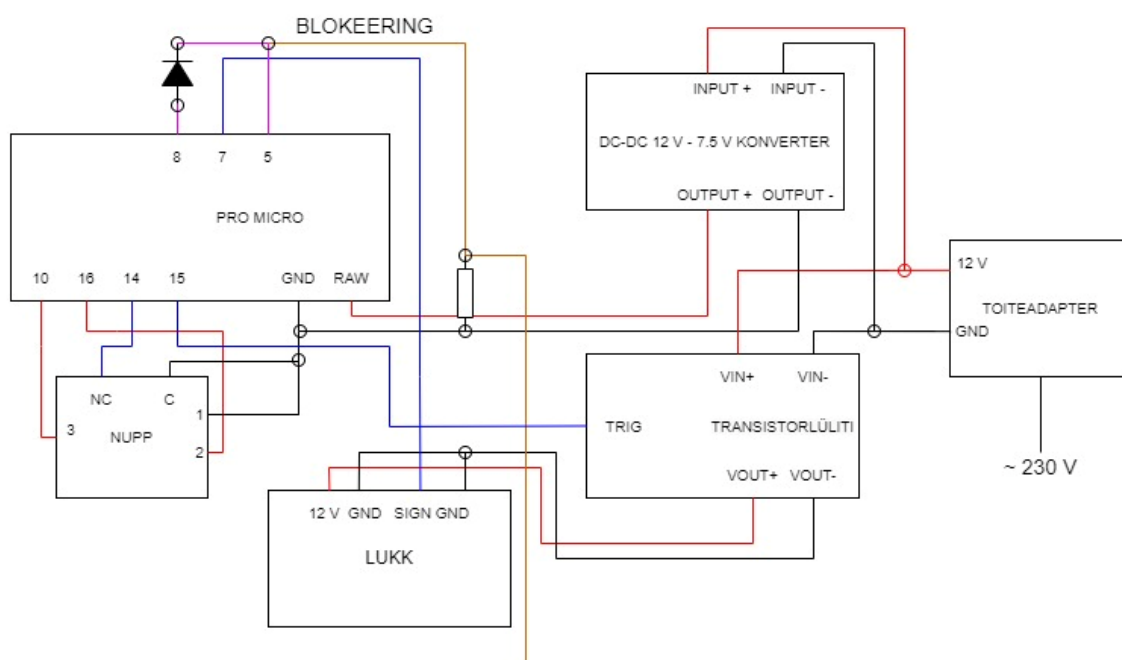
Et kummut on klassiruumis kohtkindel element, siis sobib selle ühendamine maja elektrivõrku. Lukud vajavad tootjapoolsete andmete kohaselt 2 A 12 V juures. Katsetamisel selgus, et tegelik voolutarve ei ületa 1 A. Kuna korruga saab töötada ainult üks lukk valiti toiteadapter 230 V / 12 V 1,5 A. Et mitte tegelda kummuti elektriskeemi elektriohutuse küsimustega, valiti väline toiteadapter.

Lukule ei tohi pinget peale anda üle 5 sekundi korraga. Samas kui lukk läheb lahti, lülitatakse pinge pealt ära, luku sees asuva lülitiga. Otsustati siiski ka tarkvaras teha kontroll, et lukul ei oleks liiga pikalt elektripinge peal. Sellist pinget ja võimsust ei ole arendusplaadil võimalik väljastada, seega tuli arendusplaadi väljund ühendada relee või väljatransistorlülitiga. Transistorlülitite osutus valituks oma suuruse tõttu – mahub akrüülklaasi alla ära.

Väljatransistorlülitite on ühendatud mikrokontrolleri väljundisse. Kui soovitakse lukku avada, annab mikrokontroller signaali, signaal jõuab transistorisse ja transistor laseb voolu läbi. Transistori väljundisse on ühendatud lukk. Katsetused tõestasid, et kontrolleri väljundsignaal on sobiv sisendsignaal transistorlülitile ja luku avamine sellisel viisil toimib.

6.5 Elektriskeemi lahendamine

Elektriskeemi täielik lahendus on lisas 2. Elektriskeem kaalulattide ja mõõtemooduliteta on joonisel 9.



Joonis 9. Sahtli elektriskeem kaalulattide ja nende mõõtemooduliteta.

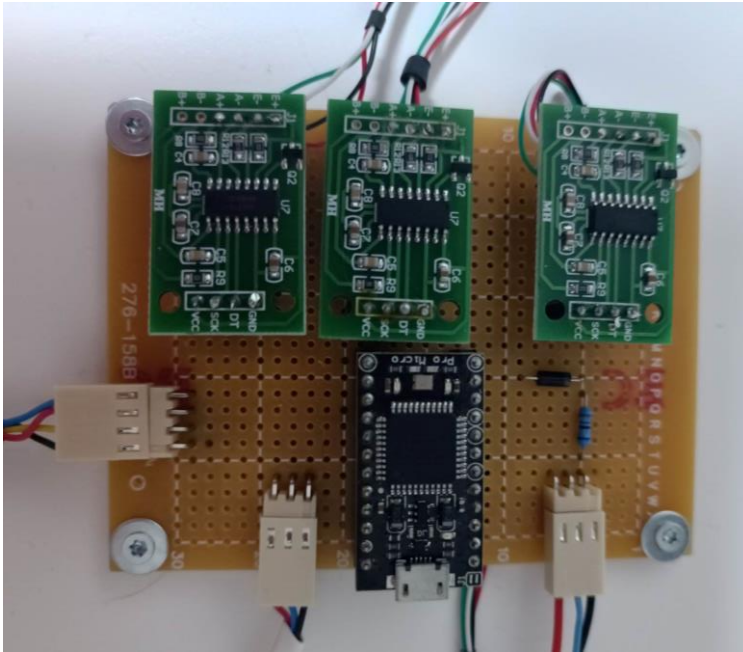
7. PROTOTÜÜBI EHITUS

Eelnevates peatükkides on kirjeldatud erinevate sõlmede lahendusi. Tähtsaim osa on esemetuvastussüsteem, mille järgi valiti teised komponendid. Valmis oli mõeldud elektriskeem ja selle erinevaid osasid ka katsetatud. Kaalulattide katsetamisel kasutati kolme ühe kilo kaalulatti, prototüübi kokkupanemise ajaks oli jõudnud ka kahe kilo kaalulattid ja saadi neid kasutada. Prototüübi tegemiseks oli simulatsioonikeskuse juhataja andud kolme sahtliga kummuti. Kasutusele võeti esimesed kaks sahtlit. Kummuti kõrgus on 58 cm, sügavus 58 cm ja laius 43 cm. Sahtlite laius on 36 cm ja pikkus 48 cm.

7.1 Prototüübi elektroonilise osa kokkupanek

Kaks sahtlit ehitati valmis üheaegselt, peamiselt kiirema lõpptulemuse pärast. Alustati elektriskeemist. Ühenduste tegemiseks sooviti võtta võimalikult väike, kuid piisavalt suur makettplaat. Selleks sobiks 94 x 71 mm suurune makettplaat [22]. Esmalt pandi komponendid makettplaadi peale lahtiselt, et leida sobiv paigutus ja kontrollida, kas plaat on piisavalt suur. Makettplaadi lahendus koostati selline et kõik selle juhtmeühendused oleksid lahtivõetavate liitmikega ja kõik arendus- ja laiendusplaadid oleksid plaadile monteeritud lahtivõetavate liitmikega.

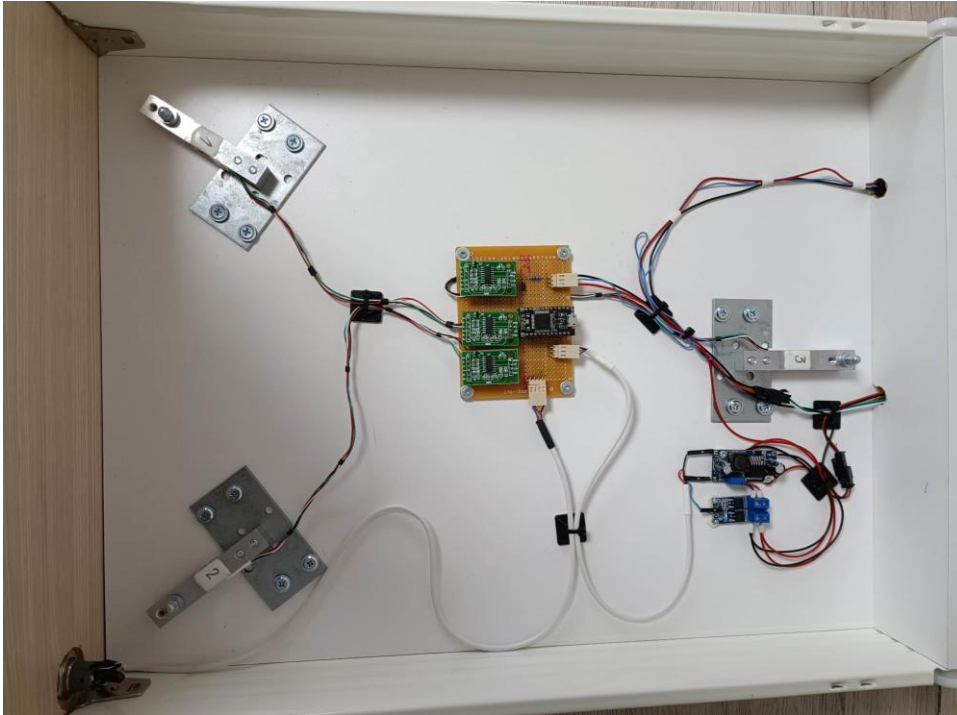
Mikrokontrolleri arendusplaadi kõikide jalgade jaoks joodeti plaadi külge pesad. Kõik mõõtemoodulid ühendati pesadesse, et neid oleks võimalik eemaldada ja vajadusel vahetada. Üksnes kaalulattide juhtmed on mõõtemoodulite (HX711 laiendusplaadid) joodetud kuna siin mõjutaksid ebakindlad ühendused oluliselt mõõtemääramatust. Arendusplaadi külge joodeti nelja klemmiga pistikupesa, kuhu saab nupu juhtme ühendada. Nii on võimalik nuppu vahetada ja eemaldada. Toitejuhe on kolme klemmiga liitmikuga, lisaks 7.5 V ja GND on seal pistikus ka trigger, mille kaudu antakse transistorile märku, kui soovitakse lukku avada. Teine kolmene pistikupesa on luku asendi jaoks, lisaks läheb sealt välja sahtlite ühine siin. Joonisel 10 on näha makettplaati koos seal olevate komponentidega.



Joonis 10. Makettplaat ja seal peal olevad komponendid.

Sahtli tagaküljele kinnitub kolme piniga pistik. Seal tuleb 12 V, GND ja ühine siin. 12 V ja GND ühenduvad esmalt transistorlülitil külge, seal on selleks pesad. Mikrokontrollerist tulev trigger (luku lülitamiseks) on samuti transistorlülitil küljes pistikuga. Pistikutest, millega toiteblokk annab toitepinge transistorlülitile on veetud juhtmetega 12 V ja GND DC – DC konverterisse, mis muudab selle arendusplaadile sobivaks 7.5 V pingeks. Konverteri külge on sissetuleva pinge juhtmed joodetud ja välja antava pinge jaoks juhtmed pistikuga.

Sahtli tagaküljele kinnitub kolme piniga liitmik. Sealt tuleb 12 V, GND ja ühine blokeeringusiin. 12 V ja GND ühenduvad transistorlülitil külge kruviklemmidega. Ka transistorist välja minev pinge on pistikutega, ühendudes luku pistiku külge. Selline ühendus tagab ka luku lihtsa vahetatavuse. Transistorlülitisse tulevast toitepingest võetakse toitepinge ka arendusplaadile, juhtmed ühendatakse enne konverteri külge. Konveretist saab samuti juhtmeid pistikutest lahti võtta. Foto sahtli sisust on näha joonisel 11.



Joonis 11. Sahtli sisu. Kaaluladid on nummerdatud, et lihtsustada kalibreerimist ja nende vahetust. Keskel on arendusplaat mõõtemoodulitega. Kolmanda kaalulati kõrval on transisotrlüliti ja DC-DC konverter. Teise kaalulati juures on näha nupu sahtli sisse jäävat osa. Pildile ei ole jäetud akrüülklaasi, mis toetub kaalulattide peale.

7.2 Prototüübi elektritoite osa kokkupanek

Toite- ja blokeeringusiini ühendus (liikuv) sahtli ja kummuti tagaseinal paikneva (paigalseisva) harukarbi vahel on tehtud spiraaljuhtmega. Spiraaljuhe, erinevalt sirgest juhtmelõigusest, ei jää sahtli sulgemisel rippu ja ei sega nii allpoolpaiknevate sahtlite liikumist. Kaaluti ka ühendust lintjuhtmega, kuid selgus, et enamik saadaolevaid lintjuhtmeid kannatavad maksimaalselt 0,5 A voolu.

Spiraaljuhe on valitud kolmesooneline: 12 V, GND ja blokeeringu siin. Need juhtmed kinnitatakse sahtli taga, kummuti tagaseina. Seal on kruviklemmidega harukarp. Karp on igal sahtlil eraldi, karbi ülemine serv on sahtli põhja kõrgusel. Ühine blokeeringusiin veetakse ühest karbist teise. Toitejuhtmed tuuakse kokku jagajaklemmi. Kummuti toiteühenduse tarbeks on kummuti tagaseinas lahtikruvitava plaadi küljes ühenduspesa toiteadaptri pistikule. Sealt lähtuvad ühendusjuhtmed ülalnimetatud harukarpidesse. Tagaseinas olev ava, mis on tehtud avariolukorras sahtlite avamiseks, on kaetud akrüülklaasiga. Akrüülklaas on kruvitud tagaseina külge. Avariolukorras saab pleksiklaasi lahti kruvida ja sahtlid tagantpoolt avada, kasutades lukkudel olevaid manuaalseid hoobasid.

7.3 Prototüübi mehaanilise osa kokkupanek

Eelnevalt on kirjeldatud komponentide elektriskeemi lahendusi. Kaalulattide katsetamisel on kirjeldatud ka kaalulattide kinnitamist sahtli külge. Arendusplaat, DC-DC konverter ja transistorlüliti on kruvitud sahtli põhja külge.

Nupu jaoks tehti sahtli esipaneelile ümmargune ava, millest pandi nupp läbi ja mutter keerati teiselt poolt hoidma. Sooviti, et nupu juhtmed jääksid akrüülklaasi alla. Esimesena tehtud sahtlil see ka õnnestus. Teisel sahtlil ei arvestatud, et esimese sahtli esipaneel on põhja suhtes kõrgemal ja ava sai kõrgemale. Seega jäävad juhtmed akrüülklaasile ette. See lahendati, lõigates akrüülklaasi sinna nurka eraldi ava. Kasutamist see ei sega ja kummuti esikülg näeb ühtlasem välja.

Luku asukoht valiti monteerimise mugavuse järgi. Külje peale pannes oleks pidanud suurima läbi metalli ja kinnitama samuti osaliselt metalli külge. Juhtmed oleksid läbinud tervet sahtlit, või oleks tulnud panna lukk taha nurka, kuhu selle paigutamine oleks olnud keeruline. Sahtli taha samas lukk ei mahtunud. Seega otsustati kinnitada lukk sahtli põhja külge. Luku vastus kinnitati kummuti tagaseina külge. Sellele pidi jätma väiksema liikumisvõimaluse, et lukk lukustuks. Vahe sahti tagaküljel ja kummuti tagaseinal on 5 cm. Seega peab lukk osaliselt väljas olema, vastus on 25 mm pikk. Sahtli tagaseina külge kinnitati naelutusplaat-nurgik, selliselt, et üks kinnitusosa on sahtli põhjaga samal kõrgusel. Lukk kinnitati selle külge. Luku juhtmete jaoks tehti auk sahtli tagaseina. Lahendust on näha joonisel 12.



Joonis 12. Lukk sahtli tagaseina küljes. Luku alla on pandud pehmendus, mis aitab toetada sahtlit kui sahtel on tasapinnal.

7.4 Sahtli komponentide maksumus

Prototüübi maksumuse arvestamisel on erinevad tegurid, mille sisse või välja jätmisel tuleb hind oluliselt erinev. Otsustati teha hinnaarvestus prototüübi ühe sahtli komponentidele. Välja jäeti toiteadapter koos vajalike ühendustega, sest nende kulu jagatakse mitme sahtli peale. Sahtlite arvul aga piiranguid ei ole. Välja jäeti ka sahtli enda ja kummuti maksumus. Needki võivad oluliselt erinevad tulla vastavalt sellele, milline kummut valitakse, maksumust on näha tabelis 2.

Tabelisse ei pandud ka töökuulu maksumust, sest prototüüp tehti lõputöö raames. Et see on ühe sahtli hind, mitte prototüübile kulunud maksumus, siis jäeti välja ka mittesobivate ja katki läinud komponentide hinnad. Välja on jäetud postikulu, sest ka see võib oluliselt varieeruda. Muu all mõeldakse juhtmeid, pistikupesasid, poldid, mutrid ja muud väikesed komponendid, mille hind eraldi on väga väike. Arvestatud ei ole ka töövahendite maksumust. Samuti oleneb lõplik hind konkreetsetest valikutest, analoogselt töötavaid komponente on erineva hinnaga erinevatelt tootjatelt. Sahtlile lisatud mitmesuguste komponentide maksumus on umbes 82€ (2023 a alguse seisuga).

Tabel 2. Sahtli komponentide maksumus.

Komponent	Kogus (tk)	Hind kokku (€)
Kaalulatt 1 kg	2	3,42
Kaalulatt 2 kg [23]	1	1,56
HX711	3	2,85
Pro Micro [24]	1	5,56
Nupp	1	2,92
Lukk	1	12,88
Spiraaljuhe [25]	0,5	34,2
Konverter [26]	1	0,6
Transistorlüüti [27]	1	0,41
Naelutusplaat-nurgik	3	5,1
Akrüülklaas	1	9,5
Makettplaat	1	4,8
Muu		Umbes 15
KOKKU		81,7

8. PROTOTÜÜBI TARKVARA KOOSTAMINE

Sahtli elektroonika kokupanemise järel tehti esmalt lihtne kood, millega testida nupu töötamist. Vajutades nuppu muutus nupu LED tuled värvi. Kolme ühendusega on võimalik tekitada kolm värvi – roheline, punane ja kollane. Järgmisena testiti luku avamist nupuvajutusega. Et kaalulattide toimimist oli varem juba katsetatud, siis need vaadati üle, et toimiksid, kuid juba varasema koodiga. Seal avastati ka kaks kehvemat ühendust, mis tuli uuesti joosta.

Kõikide komponentide katsetamise järel oli teada nende töölepanemine koodiga ja saadi minna sahtli töökoodi kirjutamise juurde. Alustati kaalulattide kalibreerimisega.

8.1 Kalibreerimise kood

Kalibreerimiseks kasutatakse HX711 teeki. Esmalt tuleb kood arendusplaadile laadida ja kaalulattid peavad olema koormamata. Seejäral tuleb kaalulattid nullida. Edasi tuleb kalibratsiooni raskus, mida kirjeldati 4. peatükis, kruvida iga kaalulati samasse keermesse, kuhu toetub ka akrüülklaas. Kaalutakse seda n korda ja arvutatakse keskmine tulemus, mida rohkem mõõtmisi tehakse, seda stabiilsem on näit. Nende kaalulattide kalibreerimiseks tehti 50 mõõtmist, kuna see oli piisav. Saadud keskmine mõõtmisel saadud väärtus tuli siis jagada kalibratsiooni raskusega (91 g), et saada kalibratsiooni koefitsent. Lõpuks, et saada õiged kaaluväärtused, tuleb kaalulatilt saadud väärtus korrutada kalibratsiooni koefitsendiga. Tulemus, mis edastatakse Arduino IDE järjestikmonitori on vastava kaalulati ja mõõtemooduli kalibratsiooniväärtus. Vahetades emba-kumba tuleb kalibratsioon uuesti teha. Kalibreerimise kood on lisas 3.

8.2 Sahtli töökood

Kui sahtel on lukus, ei kaaluta sahtli sisu. Sel ajal toimub ainult nupu vajutuse jälgimine. Kui nuppu vajutatakse kontrollitakse, et blokeeringu siinil ei ole pinget. Kui ei ole, siis muudetakse nupu tuli kollaseks, näitamaks, et sahtlit avatakse. Blokeeringu siinil pannakse pinge kõrgeks, et teisi sahtleid avada ei saaks. Kaalutakse sahtli sisu ära ja salvestatakse tulemus. Seejärel avatakse sahtel. Sahtli avamiseks saadetakse lukule läbi transistorlüliti 0,2 sekundiline avamiskäsk. Kui sel ajal ei õnnestu sahtlit avada, oodatakse 5 sekundit ja proovitakse uuesti, kuni sahtli avamine õnnestub. Seda selleks, et kui sahtli avamist blokeeritakse, ei kannataks elektroonika, mis ei talu üle 5 sekundi pinget. Antakse aega ka mahajahtumiseks. Katsetest on näha, et sellisel kummutil on

sellisel lukul piisav 0,2 sekundiline toitepinge avamiseks. Mõne muu sahtliga, mis käib raskemini võib olla vajadus pikema toitepinge andmiseks.

Sahtli lahtioleku ajal kaalutakse sahtli sisu pidevalt. Kiiremaks tulemuste saamiseks kasutatakse HX711.multi.h teeki, mis on modifitseeritud HX711.h teek [28]. See lisab võimaluse töötada mitme HX711 mõõtemooduliga samaaegselt. Tehes kontrolleriile 3 või enam I2C porti, millel on ühine takteerimiskanal SCL. Selline ebatraditsiooniline lahendus on vajalik, sest HX711 moodulite aadresse ei saa muuta, seega ei ole võimalik neid kasutada samas I2C võrgus. Kolme I2C liidese ühine takteerimissignaali omakorda võimaldab kontrolleriil lülitada kiirelt kanalilt kanalile häirimata andmeside sünkroonsust. Kuigi HX711.multi.h teek ei sisalda kõiki HX711.h teegi funktsionaalsuseid, siis annab see eelise mõõtmise kiiruse osas. Lõputöös on ainus juurde lisatav funktsionaalsus mõõtetulemuse keskmise arvutamine. HX711.h teegis on see olemas ja sealt saadi ka inspiratsioon selle tegemiseks.

Kui sahtli kaal on sobivas vahemikus siis põleb roheline LED tuli avamisnupul, kui kaal ei ole sobivas vahemikus põleb punane LED tuli avamisnupul. Kaalu võrreldakse selle kaaluga mis saadi sahtli avamise ajal. Täpsust saab kummuti haldaja ise määrata, vastavalt kergeima eseme kaalule. Lõputöös katsetati erinevusega ± 2 grammi. Sellise täpsuse saavutamiseks on vaja esemete asukoha määramist. See tähendab, et kasutaja peab eseme panema samale asukohale kust ta selle võttis sahtlis.

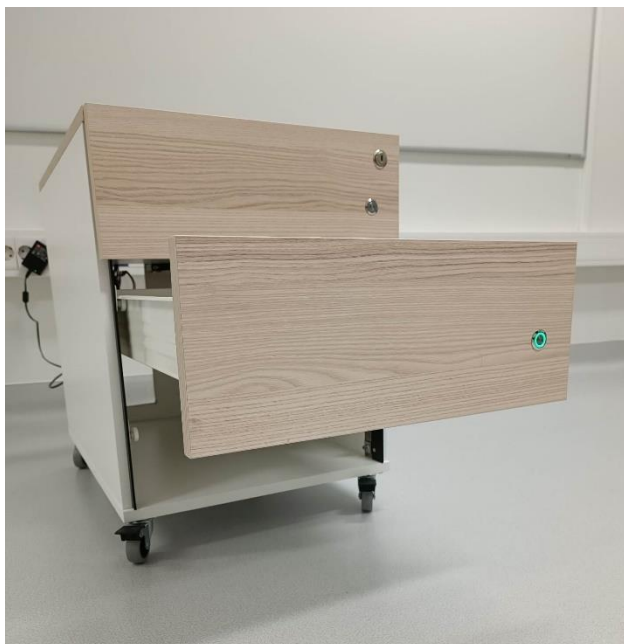
Kui sahtli sisu on õiges vahemikus on võimalik sahtel lukku lükata. Siis jääb sahtel ka lukku ja kasutaja saab avada nupuvajutusega uue või ka sama sahtli. Avamisnupul kustub LED tuli ära, blokeeringu siinilt võetakse pinge ära. Sisu enam ei kaaluta. Kui kasutaja lükkab kinni sahtli, mille kaal ei ole õiges vahemikus, lukustub sahtel hetkeks. Blokeeringu signaal püsib ja ka punane LED tuli. Sahtli lukk avaneb, sest sisu ei ole õiges vahemikus, sahtli luku avanemine lükkab ka sahtli lahti.

Kui sahtlid on kinni ja elektritoide eemaldatakse ja pannakse tagasi, ei mõjuta see sahtli tööd. Kui sahtel on lahti ja elektritoide eemaldatakse ja pannakse tagasi häirib see sahtli korrektset tööd. Tagasi ühendamisel on sahtel justkui lukus ja ei kaalu esemeid. Uuesti kaaluma saamiseks tuleb nuppu vajutada. Samas saab sahtli kinni lükata ja avada teine sahtel. See on selle koodi nõrkus. Samas kaaluladid ei ole piisavalt stabiilsed, et teha lahendus, kus on koodis etteantud vahemik, milles võib erineda. Sellist lahendust saaks teha raskemate esemete korral, kus hälve saab olla suurem. Sahtli töökood on lisas 4.

9. TULEMUSED

Valminud kummut vastab lähteülesandes püstitatud kriteeriumitele. Valitud esemetuvastussüsteem muudab kummuti sisu muutmise võrdlemisi lihtsaks. Kui esemete mass on suurem kui siin lõputöös arvestatud ja need kaaluladid ei sobi sellisele massile, saab kasutada raskematele esemete mõeldud kaaluandureid. See küll võib tekitada olukorra, kus kaalulattide mõõtemääramatuse piirkond on suurem. Seetõttu ei pruugi tuvastada ära väga kergeid esemeid. Samas väga kergetele esemete võib teha eraldi piirkonna sahtlis. Seal võib kasutada nii väiksema mõõtepiirkonnaga kaalulatte, teisi kaaluandureid kui ka mõnda muud süsteemi. Kui peaks tekkima olukord, et mõnele sahtlile on soov teha teistsugune esemetuvastussüsteem on seegi võimalik, muutmata teiste sahtlite töökoodi. Ühise blokeeringu siini kaudu saavad teised sahtlid info kas mõni sahtel on lahti või kinni. Millise algoritmiga teised sahtlid töötavad ei mõjuta teisi sahtleid.

Kasutusele võetud lukud on universaalsed – neid saab monteerida erinevatele kummutite külge. Vastavalt kummuti ehitusest võib need kinnitada ka sahtli külge. Valitud lukud on ka väga töökindlad, tootjaandmete kohaselt üle 500 000 töötsükli. Avamisnupp on edasiarendatav, sellega saab vajadusel anda rohkem infot, pannes kas nupu tulesid vilkuma või mõne muu värviga tööle. Joonisel 13 on lahenduseks kasutatud kummut.



Joonis 13. Kummut, millele tehti lahendus. Esimesed kaks sahtlit on nutikad. Keskmine sahtel on lahti ja kaal on õiges vahemikus.

Kummuti töökood on võimalikult lihtne ja mugav kasutada. See, et sahtli sisu kaalutakse enne avamist teeb sahtli töökindlaks ka kergemate esemetega. Sahtlisse paigutatava esemekomplekti koosseisu muutmine on lihtne. Sahtel tuleb avada, elektritoide eemaldada. Seejärel saab esemekomplekti muuta. Esemete vahetusel peab arvestama, et sahtli põhjas peab igale esemele mõeldud koht olema. Selle tähistamiseks piisab akrüülklaasile vastavatele kohtadele pandud eseme pildist. Uue eseme lisamisel tuleb ka vastavale kohale vastav pilt või tähistus lisada.

Kummut on viidud klassiruumi, et seda saaks kasutada. Sealt saab ka kasutajatelt infot, mida peaks muutma. Esimesed testid esemetega on tehtud ja need on olnud lootustandvad. Sahtel tuvastab ära ka kergemate esemete puudumise. Kõikide esemete eemaldamisel ja hiljem tagasi lisamisel on kaal sobivas vahemikus. Välja tuli asjaolu, et ventilatsioonikott ei mahu sahtlisse. Sahtli põhi on liiga kõrgel ja kott jääb kummuti lae vastu, mis tekitab suurema surve anduritele. Selle lahenduseks võeti kasutusele selline, mida saab väiksemaks teha.

Lõputöö eesmärk saavutati. Edasiarendusteks tuleb kummutit lasta kasutada klassiruumis ja sealt saadava infoga teha muudatusi süsteemi.

KOKKUVÕTE

Lõputöö lähteülesandeks oli esemetuvastussüsteemiga kummuti tegemine Tartu Ülikooli Simulatsioonikeskusesse. Lähteülesande sõnastas keskuse juhataja Riho Runnel. Lõputööd juhendas Ago Rootsi. Sooviti teha prototüüp kummutile, mis tuvastaks ära, kas esemed, mis seal sees peavad olema, ka seal on. Tähtis ei ole iga eseme eraldi tuvastamine, vaid kogu komplekti kohaloleku tuvastamine.

Esemetuvastussüsteemiks valiti tensotajuritega kaaluladid. Esemete komplekte on kaks ja neis on esemed alates 4 grammist ja kogu komplekti suurim mass on 535 grammi. Mõõtmiste tegemiseks kasutati mõõtemoodulit HX711 ja arendusplaati SparkFun Pro Micro. Mõõtmiseks kasutati teeke HX711.h ja HX711.multi.h.

Sahtli töömoodus tehti võimalikult lihtne kasutajale. Selleks mõeldi välja töömoodus, kus kasutaja saab sahtlit avada vajutades sahtli esipaneelil olevat nuppu. Sahtel avaneb ainult juhul kui teised sahtlid on kinni. Sahtli avanemise järgselt süttib nupu sees olev LED tuli, mis näitab värviga kas sahtli sisu on sobivas kaaluvahemikus. Kui sahtli sisu on sobivas vahemikus põleb roheline LED tuli. Sellisel juhul saab sahtli kinni lükata. Kinni lükkamisel jääb sahtel ka lukku ja LED tuli kustub ära. Kasutaja saab avada teisi sahtleid. Juhul kui sisu ei ole sobivas vahemikus põleb punane LED tuli. Kasutaja saab küll sahtli kinni lükata ent see ei jää lukku ja teisi sahtleid avada ei saa.

Sahtlid on autonoomsed ja elektroonika poolelt identsed. Info, kas mõni teine sahtel on lahti, jõuab sahtlitesse läbi ühise blokeeringusiini. Kui mõni sahtel avatakse, saadab see välja loogilise ühe (senikaua kuni kaal pole sobivas vahemikus ja sahtel kinni). Sahtli lukustatud olemise korral on siinil 0 V. Info sahtli selle kohta, kas sahtel on lukus või lahti saadakse luku tagasiside süsteemist.

Kaalusüsteemi korrektseks toimimiseks, et tuvastada ka kergemate esemete olemasolu on vaja, et esemed asetatakse alati samale kohale sahtlis. See on tehtav kas kleepides akrüülklaasile, mis on kasutaja jaoks sahtli põhi, esemete pildid või mõne muu lahendusega. Enne sahtli lukust vabastamist kaalutakse sahtli sisu. Seda kaalu võrreldakse avatud olles saadud tulemustega ja kui vahe on suurem kui näiteks 2 grammi, siis ei saa sahtlit lukustada. Lubatud erinevust saab koodist muuta. Esimesed katsed kummutiga on tehtud ja need on olnud positiivsed – kummut töötab korrektselt.

Lõputöös püstitatud lähteülesanne sai lahendatud ja vastab seatud tingimustele.

SUMMARY

The purpose of the thesis was to make a dresser with object recognizing system for University of Tartu Simulation centre. The task was worded by the centre's director Riho Runnel. Thesis was supervised by Ago Rootsi. The goal was to make a prototype for dresser that ascertains if the items that should be in the drawer are there. It is not important to recognize each item separately but to see if the whole set is in.

For item recognition load cells with strain gauges were chosen. There are two sets of items, lightest item weighing 4 grams and maximal set weight is 535 grams. For measuring the weights HX711 amplifier was used and SparkFun Pro Micro controller. For measuring libraries HX711.h and HX711.multi.h were used.

The mode of operation was made as straight forward as possible. For that if somebody wants to open the drawer they should press the button on the front panel of the drawer. The drawer opens only if all the other drawers are closed. After opening a LED light in the button shows if the contents are in correct weight range. If they are, a green LED shows. In that case the drawer can be closed, locked and LED will turn off. Other drawers can be opened. If the weight is not in correct range red LED turns on. The drawer can't be locked and other drawers can't be opened.

Drawers are autonomous and electronically identical. Information, if any other drawer is open, goes to the drawers through common blocking wire. If any drawer is opened, it sends out logical 1 until the drawer is in correct weight and closed. If drawers are closed there is 0 V on common wire. The position of drawer is controlled by the feedback from lock.

For the correct operation of weighing, to identify the lightest items, it is necessary to put the items on same place in the drawer. It can be done by putting pictures on the drawer base. Before opening the drawer, the drawer's contents are weighed. The result is compared with the weight when drawer is open. If the difference is more than two grams, then the drawer can't be locked. The allowed difference can be changed in the code. First tests are done by the end user and results are promising – the dresser works as intended.

The goal of the thesis was achieved.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „Resusci Anne Simulator“, *Laerdal Medical*.
<https://laerdal.com/products/simulation-training/emergency-care-trauma/resusci-anne-simulator/> (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [2] „Comprehensive Guide to Self Checkout Systems in 2022“.
<https://research.aimultiple.com/self-checkout/> (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [3] „5.3.5 Raadiosagedustuvastus“. https://eopearhiiv.edu.ee/e-kursused/eucip/haldus/535_raadiosagedustuvastus.html (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [4] „Advantages and Disadvantages of 6 Retail Self-Checkout Systems | Sprinting Retail“. <https://sprintingretail.com/blog/retail-self-checkout-systems/> (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [5] „SmartDrawer - SupplyPro“. <http://www.supplypro.com/products/smartdrawer> (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [6] „DualSMART® Automated Medication and Supply Management System - STOCKART“. <https://www.stockart.com/en/dualsmart-automated-medication-and-medical-supply-management-system/> (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [7] „Traka touch electronic key cabinet | traka“.
<https://www.traka.com/global/en/products/intelligent-key-cabinets> (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [8] „How it works“, *Bartech*. <https://bartech.com/how-it-works/> (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [9] R. Laaneots, O. Mathiesen, J. Riim, ja T. Eikholm, *Metroloogia: õpik kõrgkoolidele*. Tallinn: [Tallinna Tehnikaülikooli] Kirjastus, 2012.
- [10] „Weight Sensor Electronic Scale Aluminum - AliExpress“, *aliexpress.com*.
https://www.aliexpress.com/item/4000781493675.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp= (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [11] „50kg Body Load Cell Weighing Sensor AliExpress“.
https://www.aliexpress.com/item/32915973501.html?spm=a2g0o.productlist.main.101.210b1260J8NxPp&algo_pvid=8318adc8-017b-4156-86e2-52ea1780201d&algo_exp_id=8318adc8-017b-4156-86e2-52ea1780201d-50&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2265990473777%22%7D&pdp_npi=2%40dis%21EUR%211.12%210.98%21%21%21%21%21%21%40211be72e16653270246694285d079f%2165990473777%21sea&curPageLogUid=DiffUov8kxPI (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [12] „Push Pull Round S Type Pressure Weighing Sensor AliExpress“.
https://www.aliexpress.com/item/32842412685.html?algo_pvid=031138a9-4c79-4030-9f7e-c394f0fc5b71&algo_exp_id=031138a9-4c79-4030-9f7e-c394f0fc5b71-

3&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%22%3A%2266240824187%22%7D&pdp_npi=2%40dis%21EUR%2135.25%2135.25%21%21%21%21%21%21%402101e9d31663657222384366ee5cc%2166240824187%21sea&curPageLogUid=GibdcY9ixndU (vaadatud 1. jaanuar 2023).

[13] „Strain Gauges | Electrical Instrumentation Signals | Electronics Textbook”. <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/> (vaadatud 1. jaanuar 2023).

[14] [html.alldatasheet.com](https://html.alldatasheet.com/html/pdf/1371088/SPARKFUN/HX711/445/1/HX711.html), „HX711 Datasheet(1/10 Pages) SPARKFUN | Load Cell Amplifier HX711 Breakout Hookup Guide”. <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1371088/SPARKFUN/HX711/445/1/HX711.html> (vaadatud 1. jaanuar 2023).

[15] „Arduino with Load Cell and HX711 Amplifier (Digital Scale) | Random Nerd Tutorials”, 27. aprill 2022. <https://randomnerdtutorials.com/arduino-load-cell-hx711/> (vaadatud 1. jaanuar 2023).

[16] bogde, „HX711”. 26. detsember 2022. Vaadatud: 1. jaanuar 2023. [Online]. Available at: <https://github.com/bogde/HX711>

[17] „Pro Micro & Fio V3 Hookup Guide - SparkFun Learn”. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pro-micro--fio-v3-hookup-guide/hardware-overview-pro-micro> (vaadatud 1. jaanuar 2023).

[18] bogde, „HX711, How to calibrate your load cell”. 26. detsember 2022. Vaadatud: 1. jaanuar 2023. [Online]. Available at: <https://github.com/bogde/HX711#how-to-calibrate-your-load-cell>

[19] „Electric Lock - Magnetic Lock - AliExpress”, *aliexpress.com*. https://www.aliexpress.com/item/1005001357276043.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp= (vaadatud 1. jaanuar 2023).

[20] „Electric Lock DC 12V 2A”. https://www.amazon.de/gp/product/B09Z7QW8WC/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o00_s00?ie=UTF8&psc=1 (vaadatud 1. jaanuar 2023).

[21] „3 Triple Color Rgb Led Light Switch Switches - AliExpress”, *aliexpress.com*. https://www.aliexpress.com/item/4000437432585.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp= (vaadatud 1. jaanuar 2023).

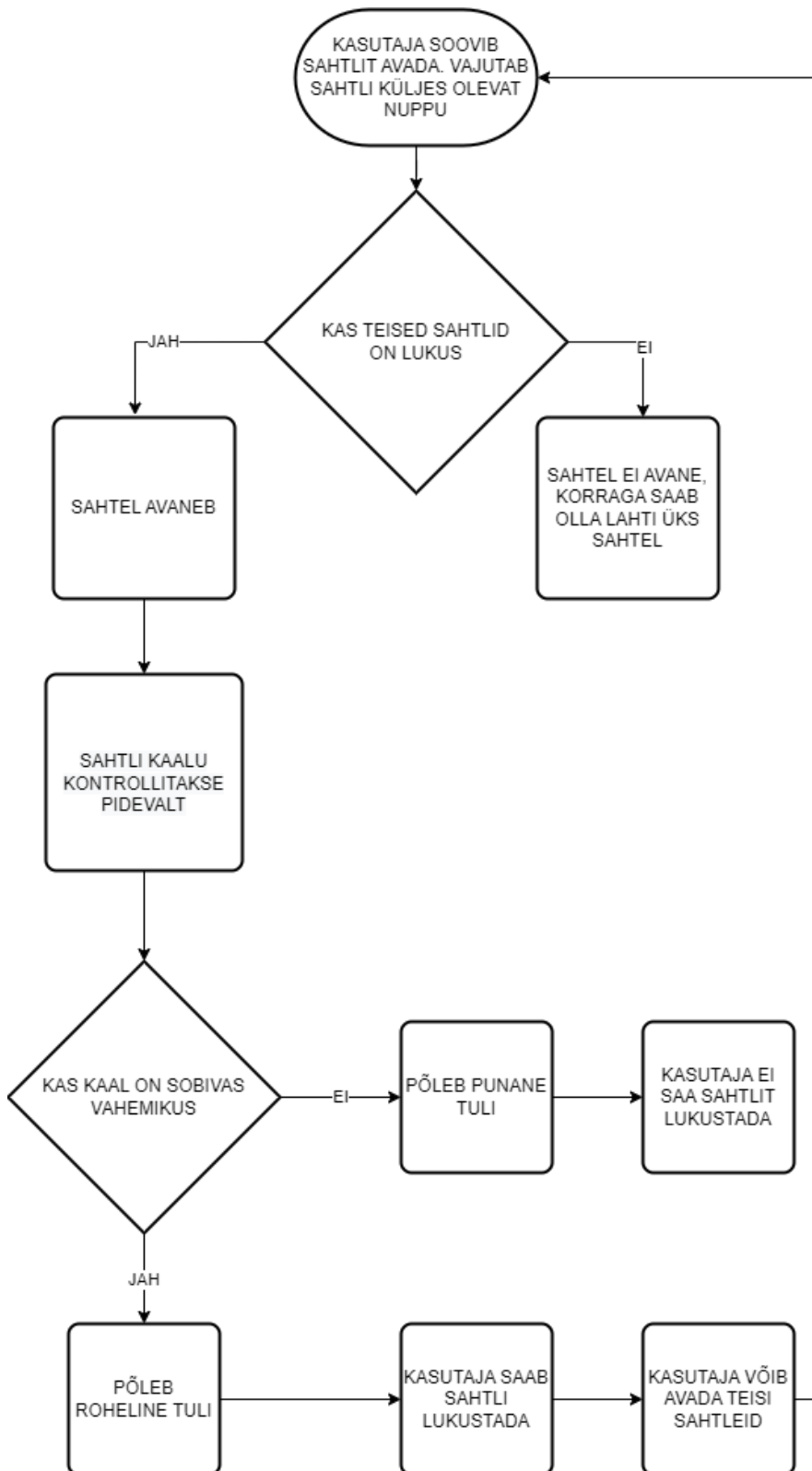
[22] „Makettplaat 94*71mm 750 auku eraldi - Oomipood”. https://www.oomipood.ee/product/pc_11_makettplaat_94_71mm_750_auku_eraldi?q=makettplaat (vaadatud 1. jaanuar 2023).

[23] „Scale Aluminum Alloy Weighing Pressure Sensor - Sensors - AliExpress”, *aliexpress.com*. https://www.aliexpress.com/item/1005002395846445.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp= (vaadatud 1. jaanuar 2023).

- [24] „Pro Micro Module controller Mega32U4 leonardo for arduino - AliExpress“, *aliexpress.com*.
[//www.aliexpress.com/item/32849563958.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://www.aliexpress.com/item/32849563958.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=) (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [25] „Semoflex PVC/PUR spiraalkaabel“, *Effex AS*.
<https://effex.ee/et/spiraalkaablid/2480-5088-semoflex-pvc-pur-spiraalkaabel.html> (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [26] „Dc-dc Step Up Converter Max Output 28v 2a For Arduino Adjustable 5v/9v/12v/24v - Integrated Circuits - AliExpress“, *aliexpress.com*.
[//www.aliexpress.com/item/1005004177149903.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://www.aliexpress.com/item/1005004177149903.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=) (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [27] „Mos-feld Effekt Transistor Trigger - AliExpress“, *aliexpress.com*.
[//www.aliexpress.com/item/4000446266836.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://www.aliexpress.com/item/4000446266836.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=) (vaadatud 1. jaanuar 2023).
- [28] „GitHub - compugician/HX711-multi: An Arduino library to interface multiple HX711 units simultaneously“. <https://github.com/compugician/HX711-multi> (vaadatud 2. jaanuar 2023).

LISAD

Lisa 1 Sahtli töömoodus



Lisa 3 Kaalulattide kalibratsioonikood

```
#include "HX711.h"

#define CLK A0

#define DOUT1 A1

#define DOUT2 A2

#define DOUT3 A3

HX711 scale1;

HX711 scale2;

HX711 scale3;

void setup() {

  Serial.begin(57600);

  scale1.begin(A1, A0);

  scale2.begin(A2, A0);

  scale3.begin(A3, A0);

  scale1.set_scale();

  scale1.tare();

  scale2.set_scale();

  scale2.tare();

  scale3.set_scale();

  scale3.tare();

}

void loop() {

  Serial.print("Kaal 1: ");

  Serial.println(scale1.get_units(50)/91, 1);

  Serial.print("Kaal 2: ");

  Serial.println(scale2.get_units(50)/91, 1);

  Serial.print("Kaal 3: ");

  Serial.println(scale3.get_units(50)/91, 1);

}
```

Lisa 4 Sahtli töökood

```
#include "HX711-multi.h" // https://github.com/compugician/HX711-multi
#define RedLed 16 // Punane LED
#define GreenLed 10 // Roheline LED
#define Button 14 // Nupu vajutamise kontakt
#define Broadcaster 8 // Saadab kõigile info, et see sahtel on lahti
#define BroadcastListener 5 // Sissetulev signaal, kas mõni sahtel on lahti
#define IsOpen 7 // Lukust tulev asendisignaali
#define Trigger 15 // Luku avamissignaali
#define CLK A0 // HX711 taktsignaali
#define DOUT1 A1 // HX711 väljundi ühendamine
#define DOUT2 A2
#define DOUT3 A3
byte DOUTS[3] = {DOUT1, DOUT2, DOUT3};
#define CHANNEL_COUNT sizeof(DOUTS)/sizeof(byte)
long int results[CHANNEL_COUNT]; // vaja, et kaaludelt lugeda
HX711MULTI scales(CHANNEL_COUNT, DOUTS, CLK);
// Järgnevaid parameetreid muuta vastavalt vajadusele
double variationValue = 2; // Suurus grammides, milline erinevus algkaalust on OK
double coefs[3] = {770, 1934, 935};
int measureCount = 10;
bool isScaleOK = false;
bool shouldBeOpen = false;
unsigned long tHighTS = 0;
unsigned long tLowTS = 0;
double scaleValueAtOpening = 0;
void setup() {
    Serial.begin(57600);
```

```

pinMode(RedLed, OUTPUT);
pinMode(GreenLed, OUTPUT);
pinMode(IsOpen, INPUT_PULLUP);
pinMode(Broadcaster, OUTPUT);
pinMode(BroadcastListener, INPUT);
pinMode(Button, INPUT_PULLUP);
pinMode(Trigger, OUTPUT);
digitalWrite(Trigger, LOW); // Alguses on sahtel kinni
}

// Funktsioon küsib igalt kaalulatilt selle väärtust. Väärtus tagastatakse nii mitu korda
kui on measureCount,

// arvutatakse tulemuste keskmine.
double getScaleValues() {
    double sum = 0;
    for (int j=0; j < measureCount; j++) {
        scales.read(results);
        for (int i=0; i<scales.get_count(); ++i) {;
            sum += results[i] / coefs[i];
        }
        delay(10);
    }
    return sum/measureCount;
}

// Funktsioon mis muudab triggerile antavat signaali
void toggle_trigger(int state){
    digitalWrite(Trigger, state);
    if (state == LOW){
        tLowTS = millis();
    }
}

```

```

    else tHighTS = millis();
}
// Funktsioon, mis muudab avamispupu LED tulesid vastavalt vajadusele
void set_LED_color(String color="off"){
    if (color == "green"){
        digitalWrite(GreenLed, HIGH);
        digitalWrite(RedLed, LOW);
    }
    else if (color == "red"){
        digitalWrite(GreenLed, LOW);
        digitalWrite(RedLed, HIGH);
    }
    else if (color == "yellow"){
        digitalWrite(GreenLed, HIGH);
        digitalWrite(RedLed, HIGH);
    }
    else {
        digitalWrite(GreenLed, LOW);
        digitalWrite(RedLed, LOW);
    }
}
// Funktsioon, mis reageerib nupuvajutusele ja avab sahtli
void drawer_is_closed(){
    // Kui vajutatakse nuppu, sahtel avaneb ainult siis kui mõni teine sahtel ei ole lahti
    if (!digitalRead(Button) && !digitalRead(BroadcastListener)){
        set_LED_color("yellow");
        digitalWrite(Broadcaster, HIGH);
        scaleValueAtOpening = getScaleValues();
        Serial.println("SOBIV KAAL");
    }
}

```

```

Serial.println(scaleValueAtOpening);

shouldBeOpen = true;                // Kasutaja tahab, et sahtel oleks lahti

isScaleOK = false;                  // Määratakse ära, et sahtli kaal ei ole õiges
vahemikus, selleks, et tehtaks vähemalt üks kaalulattide väärtuste küsimine

toggle_trigger(HIGH);
}
}

// Funktsioon, mis töötab siis, kui sahtel on lahti
void drawer_is_open(){
toggle_trigger(LOW);

// Küsitakse kaalulattide summaarne tulemus
delay(2000);

double values = getScaleValues();

if (abs(values - scaleValueAtOpening) < variationValue){           // Kaalulattide
summaarne tulemus on õiges vahemikus

    set_LED_color("green");

    isScaleOK = true;

    Serial.println("Kaal ok");

    Serial.println(values);
}

else {

    set_LED_color("red");

    isScaleOK = false;

    Serial.println("Kaal ei ole õige!");

    Serial.println(values);
}
}

// Funktsioon, mis lubab sahtli kinni panna
void drawer_closing(){

```

```

    toggle_trigger(LOW);          // Triggerilt võetakse vool ära, sahtel saab
    lukustatud

    set_LED_color();

    digitalWrite(Broadcaster, LOW);

    shouldBeOpen = false;

    Serial.println("Laheb kinni");
}

// Funktsioon, mis tegeleb sahti avamisega. Jälgitakse, et lukul ei oleks elektripinget
// peal üle 0.2 sekundi. Seda aega võib suurendada kuni 4 sekundini, esialgu ei ole see
// vajalikuks osutunud

void drawer_opening(){
    if (millis() < tHighTS || millis() < tLowTS){
        tHighTS = 1;
        tLowTS = 0;
    }

    if (millis() - tHighTS >= 200 && tLowTS < tHighTS){
        toggle_trigger(LOW);
    }

    else if((unsigned long)(millis()-tLowTS > 5000 && tLowTS > tHighTS)) {
        toggle_trigger(HIGH);
    }
}

void loop() {
    // Kui sahtel ei peaks olema lahti, siis toimub ainult nupu lülituse jälgimine
    if (!shouldBeOpen){
        drawer_is_closed();
    }

    // Kui sahtel on lahti
    else {
        if (digitalRead(IsOpen)) {

```

```
    drawer_is_open();  
}  
// Kaalulattide summaarne tulemus on õiges vahemikus ja sahtel lükatakse kinni  
else if (isScaleOK && !digitalRead(IsOpen)){  
    drawer_closing();  
}  
// Sahtlit tehakse lahti  
else {  
    drawer_opening();  
}  
}  
}
```