

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Tehnoloogiainstituut

Artur Reitalu

Tartu Ülikooli arvutimuuseumi interaktiivsete eksponaatide loomine

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Arvutitehnika eriala

Juhendajad:

Alo Peets, MSc

Tarmo Oja, MSc

Tartu 2025

Resümee/Abstract

Tartu Ülikooli arvutimuseumi interaktiivsete eksponaatide loomine

Käesoleva töö eesmärk on muuta Tartu Ülikooli arvutimuseumi [1] andmekandjate eksponaadid külastajatele interaktiivseteks, mille kaudu näevad muuseumi külastajad reaalsajas, kuidas andmekandjad info lugemise ajal mehaaniliselt liiguvad. Sealhulgas demonstreeritakse ühe eksponaadiga, kuidas saab kõvaketta peal mängida muusikat ja tutvustatakse üldist disketi ja kõvaketta tööpõhimõtet. Lisaks antakse lühike ülevaade magnetiliste andmekandjate ajaloo ning erinevatest alternatiividest kaasaegse riistvara peal diskettide juhtimiseks.

CERCS: T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia; P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria) [2]

Märksõnad: andmekandjad, juhtimine, arvutid

The creation of interactive exhibits for Tartu University's computer museum

The aim of this thesis is to make the Tartu University's computer museum's [1] exhibits more interactive for the visitors. The guests can see in real time how data is being read from magnetic disk drives and how the devices move in the process, more precisely floppy and hard disk drives. Furthermore, a short overview of magnetic data storage medium history is given. Additionally, it is discussed what the compatible options are for using floppy drives and disks in modern computers. Lastly, one exhibit demonstrates how a hard disk drive can function as a speaker and play music.

CERCS: T120 Systems engineering, computer technology; P170 Computer science, numerical analysis, systems, control [2])

Keywords: data storage medium, control, computers

Sisukord

Resümee/Abstract	2
Jooniste loetelu	5
Tablelite loetelu	6
Lühendid, konstandid, mõisted	7
1 Sissejuhatus	8
1.1 Probleemi tutvustus	8
1.2 Töö eesmärk ja ülevaade	9
2 Magnetiliste andmekandjate ajalugu	10
3 Disketi draivide töö demonstreerimine	13
3.1 Diskettide juhtimine kaasaegse tehnikaga	13
3.1.1 Greaseweazle	13
3.1.2 FluxEngine	14
3.1.3 KryoFlux	14
3.1.4 SuperCard Pro	15
3.1.5 Mikrokontrolleri baasil enda disketi draiver	15
3.1.6 Vana riistvara kasutamine	16
3.2 Disketi töö demonstreerimine	17
3.3 Diskettide eksponaadi tulemus	22
4 Kõvaketta töö visualiseerimine	23
4.1 Kõvaketaste manuaalne juhtimine	23
4.2 Aegluubis kõvaketta liigutamine	24

4.3	Kõvaketta demonstratsiooni eksponaadi tulemus	26
5	Kõvaketas kõlarina	27
5.1	Kõlari ülesehitus	27
5.2	kõvaketta kõlari ehitamine	30
5.3	Kõlari eksponaadi tulemus	32
6	Kasutajaliides	34
6.1	Riistvara	34
6.2	Tarkvara	35
7	Tulemuste järelused ja analüüs	37
7.1	Järelused tulemustest	37
7.2	maksumus	38
7.3	Edasised arenguvõimalused	40
8	Kokkuvõte	41
	Viited	43
	Lisad	48
	Lihtlitsents	52

Jooniste loetelu

1.1	arvutimuuseumi varasem magnetiliste andmekandjate ekspositsioon	8
1.2	arvutimuuseumi varasem magnetiliste andmekandjate ekspositsioon	9
2.1	Valdemar Poulsen ja telegrafoon	10
2.2	Fritz Pflumer magnetlint salvestiga	11
2.3	Ural-4 magnettrummel TÜ arvutimuuseumis	11
2.4	IBM-i RAMAC 350	12
3.1	Greaseweazle floppy controller	14
3.2	KryoFlux floppy controller	15
3.3	SuperCard Pro floppy controller	16
3.4	5,25- ja 3,5-tollise floppy draivi toitepistikud	18
3.5	5,25- ja 3,5-tollise floppy draivi andmepistikud	18
3.6	Floppy ja PATA pistiku erinevus	19
3.7	Diskettide eksponaadi lõpptulemus	22
4.1	Kõvaketta eksponaadi lõpptulemus	26
5.1	Zeusaphone - muusikaline Tesla Trafo	27
5.2	LM386 võimendi ühendusskeem	31
5.3	Kõvaketta kõlari lõpptulemus	33
6.1	Eksponaatide kasutajaliides	35
7	Lõpptulemus koos kasutajaliidesega	49
8	Tudengiprojektide võistluse ja muuseumi püsinäituse plakat	50

Tablelite loetelu

3.1	Erinevate floppy draivi kontrollerite võrdlus	17
3.2	ArduDOS-is kasutatavad disketi ja draivi kombinatsioonide eelseadistused . . .	21
5.1	tehisaru soovitatud helivõimendite võrdlus	29
7.1	Muuseumi eksponaatidele kulunud riistvara umbkaudne maksumus	39

Lühendid, konstandid, mõisted

USB - universaalne jadasiin, ingl. *Universal Serial Bus*

IBM - Tehnoloogia ettevõtte *International Business Machines*

BASF - Keemia ettevõtte, saksa k. *Badische Anilin- & Sodafabrik*

AEG - Tehnoloogia ettevõtte, saksa k. *Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft*

PATA - Paralleel-ATA, ingl. *Parallel Advanced Technology Attachment*

UART - Universaalne asünkroonne jadakommunikatsioon, ingl. *Universal asynchronous receiver-transmitter*

JTAG - Ühendatud testimisrühma standard trükkplaatide ja integraalskeemide kontrollimiseks, ingl. *Joint Test Action Group*

CD-ROM - CD-püsimalu, ingl. *compact disc read-only memory*

DOS - ketta operatsioonisüsteem, ingl. *Disk Operating System*

ASCII - Ameerika Informatsioonivahetuse Standardkood, ingl. *American Standard Code for Information Interchange*

MOSFET - Metall-oksiid-pooljuht väljatransistor, ingl. *metal-oxide-semiconductor field-effect transistor*

1 Sissejuhatus

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on uuendada Tartu Ülikooli arvutimuuseumi (edaspidi muuseum) andmekandjate eksponaate, muutes neid külastajatele interaktiivsemaks. Arutelude käigus kitsendati töö teemat ning lõpuks valmistati kolm järgnevat eksponaati, mis on seotud magnetiliste andmekandjatega: disketi tööpõhimõtte demonstreerimine, kõvaketta töö visualiseerimine ning kõvaketta kasutamine heliallikana. Andmekandjaid juhitakse läbi Raspberry Pi 3 monoplaatarvuti [3] ja Arduino Uno mikrokontrolleri [4] sisend-väljundviikude ja USB pesade.

1.1 Probleemi tutvustus

Hetkel (2025. aasta kevadel) ei ole muuseum igapäevaselt laiemale publikule avatud, vaid üksnes giidituurideks eelnevalt muuseumi eest vastutavate isikutega kokkulepitud aegadel. Muuseumi tihedamate lahtiolekuaegade võimaldamise eesmärgil lõi arvutiteaduse instituudi õppejõud Alo Peets kursuse "Arvutustehnika arengulugu" [5], eesmärgiga koolitada uusi arvutimuuseumi giide. Käesoleva töö autor läbis samuti antud kursuse ning leidis, et muuseumis võiks olla rohkem interaktiivseid eksponaate, mis tutvustaksid seadmete tööpõhimõtteid ja mida inimesed saaksid ise katsetada (joonistel 1.1 ja 1.2 on näha, kuidas varem muuseumis magnetilisi andmekandjaid eksponeeriti). Koostöös muuseumi eestvedajate Alo Peetsi ja Tarmo Ojaga jõuti kokkuleppele, et käesoleva bakalaureusetöö raames teeb autor kolm magnetilisi andmekandjaid tutvustavat eksponaati.



Joonis 1.1: arvutimuuseumi varasem magnetiliste andmekandjate ekspositsioon



Joonis 1.2: arvutimuseumi varasem magnetiliste andmekandjate ekspositsioon

1.2 Töö eesmärk ja ülevaade

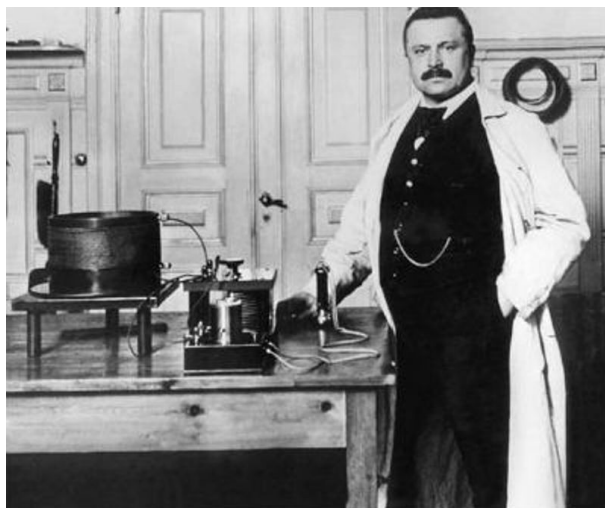
Töö eesmärk on luua kolm interaktiivset magnetilisi andmekandjaid demonstreerivat muuseumi-eksponaati ning sellega arendada muuseumi külastajakogemust. Esimene eksponaat demonstreerib muuseumi külastajatele 3,5-tollise ja 5,25-tollise disketi töötamist kaasaegse operatsioonisüsteemi ja riistvara peal. Külastajad saavad ise sisestada diskette nende vastavatesse lugemajatesse ning näha reaajas andmekandjatelt andmete lugemist ning disketi lugemisseadme liikumist ja töötamist.

Sarnaselt eelnevale eksponaadile tutvustab teine eksponaat andmekandja seadme reaallajalist liikumist selle töö käigus, kuid seekord on tegemist kaasaegsema kõvakettaga. Selle jaoks kasutatakse 3,5-tollise kujuteguriga kõvaketast. Kuna tavakiirusel töötavad kõvakettad inimsilmale eristamatutel kiirustel, on selle eksponaadi eesmärk panna kõvaketas pöörlema aegluubis, et tutvustada selle tööpõhimõtet madalamal tasemel.

Kolmandaks eksponaadiks on 3,5-tollise kujuteguriga kõvakettagast ehitatud kõlar. Heliallikas saab oma võimendatud sisendi Raspberry Pi monoplaatarvutist. Antud eksponaadi eesmärk on laiendada külastajate silmaringi ning tutvustada alternatiivseid kasutusvõimalusi korrumpeerunud või vigastele andmekandjatele.

2 Magnetiliste andmekandjate ajalugu

Esimese teadaoleva magnetilise salvestusseade leiutas 1898. aastal Valdemar Poulsen ning seda nimetati telegrafooniks (ingl. *telegraphone*) [6] vaata joonist 2.1. Telegrafoon võimaldas salvestada katkematult umbes kolmkümmend minutit heli, kasutades tolleaegse telefoni mikrofoni, mis teisendas kõne analoog-elektrisignaaliks. See signaal suunati kahe elektromagneti mähistesse, mille vahelt liikus läbi peenike terastraat. Salvestamise käigus magnetiseerus terastraat vastavalt sisendhelile, võimaldades heli talletada magnetväljana. Salvestatud heli taasesitamiseks vahetati mikrofoni kõlari vastu (kuigi võis kasutada ka sama telefoniotsa, millel olid nii kõlar kui ka mikrofoni juba sisse ehitatud), ühendati mähised vooluallikast lahti ning keriti traat uuesti läbi mähiste. Seekord ei mõjutanud elektromagnetid traati, vaid vastupidi, traadi magnetvälja muutused indutseerisid elektrivoolu mähistes, taastades algse helisignaali, mis edastati kõlarisse [7].



Joonis 2.1: Valdemar Poulsen ja telegrafoon. Pilt pärit internetist, autor: Gyldendal, Den Store Danske, veebileht: <https://www.computerhistory.org/storageengine/poulsen-records-voice-on-magnetic-wire/>



Joonis 2.2: Fritz Pfeumer magnetlint salvestiga. Pilt pärit internetist, veebileht: <https://time.graphics/event/196167>

Kronoloogiliselt järgmine märkimisväärne leiutus oli 1928. aastal Fritz Pfeumeri poolt loodud magnetlint (vaata joonist 2.2). Paberlinti oli andmete salvestamiseks juba varemgi kasutatud, näiteks perfokaartide ja perforatsioonid paberlindina, kuid Pfeumer kattis paberlindi peenikese rauapuruga, mis võimaldas infot salvestada paberlinti magnetiseerides, ilma selle füüsilist struktuuri muutmata. Antud tehnoloogia oli vastupidavam, kui eelnevad paberlindi lahendused, ning odavam, kui Poulseni terastraadiga töötav telegrafoon [8]. Pfeumeri tehnoloogiat täiustasid hiljem BASF ja AEG, mis viis 1930. aastatel esimeste praktiliste helilindi magnetofonide väljatöötamiseni [9].

Olulisel kohal on ka 1932. aastal Austria inseneri, Gustav Tauscheki leiutatud magnetiline trummelmälu, mis on tänapäeva kõvaketaste eelkäija. Trummelmälu kasutas pöörlevat magnetilise materjaliga kaetud silindrit, millelt sai lugemis-kirjutuspea kiiresti andmeid salvestada ja lugeda. [10] Kuigi see tehnoloogia jäi hiljem tahaplaanile magnetketaste ja pooljuhtmälu arenguga, leidis see kasutust paljudes varajastes arvutisüsteemides. Näiteks kasutati trummelmälu Eesti esimeses arvutis



Joonis 2.3: Ural-4 trummelmälu TÜ arvutimuseumis

Ural-1 ja selle veidi uuemas mudelis Ural-4. [11, 12] Ural-4 trummelmälu elemendid on ka Tartu Ülikooli arvutimuseumis eksponeeritud (vaata joonist 2.3).

1956. aastal tuli IBM turule maailma esimese magnetilise lugemis-kirjutamispeaga kõvakettaga RAMAC 350 (ingl. *Random access method of accounting and control*). See koosnes viiekümnest 24-tollisest kettast, mis hoidsid kokku 5 miljonit tähemärki (ehk umbes 3,75 MB andmeid). RAMAC 350 oli osa IBM 305 arvutisüsteemist ning võimaldas esmakordselt juhuslikku ligipääsu suurele hulgatele andmetele, mis tähistas olulist läbimurret andmesalvestustehnoloogias. Seade kaalus üle tonni ning selle keskmine andmete otsinguaeg oli umbes 600 millisekundit (vaata joonist 2.4) [13] [14]. Võrreldes seda kaasaegse kõvakettaga, mis mahutab keskmiselt üle 11 TB andmeid (umbes 3 miljonit korda rohkem), kaalub 100-600 g ja mille otsinguaeg on keskmiselt 9 millisekundit [15–17].



Joonis 2.4: IBM-i RAMAC 350, esimene lugemis-kirjutamispeaga kõvaketas. Pilt pärit internetist, veebileht: <https://www.computerhistory.org/revolution/memory-storage/8/233> mad ja töökindlamad. Mis aga puudutab hinda, siis magnetilised andmekandjad on endiselt üks odavamaid andmete talletamise viise ja seda kasutatakse laialdaselt serverites, archiveerimises, varundamises ja odavamates või mitte nii aja-kriitilistes arvutisüsteemides ka tänapäeval. [19]

IBM oli kuni kaheksakümnendate keskpaigani maailma üks suurimaid eestvedajaid andmekandjate innovatsiooni ja tootmise valdkonnas koos 3M'i, Ampexi ja veel mitme konkurendiga. 1972. aastal tuli IBM müügile esimeste 8-tolliste diskettidega, mis muutsid andmete kaasaskantavuse märkimisväärselt lihtsamaks võrreldes eelnevate alternatiividega. Esimesed floppyd suutsid endas hoida kuni 80 kB andmeid. Neli aastat hiljem jõudis turule ka 5,25-tolline ning 1982. aastal juba 3,5-tolline floppy ketas. [18]

Seoses optiliste- ja pooljuhtandmekandjate arenguga on magnetiliste andmekandjate kasutus nüüdisajal igapäevakasutuses üha vähenenud, kuna uued alternatiivid on tihti kompaktsemad, kiiremad, energiasäästlikumad ja töökindlamad.

3 Disketi draivide töö demonstreerimine

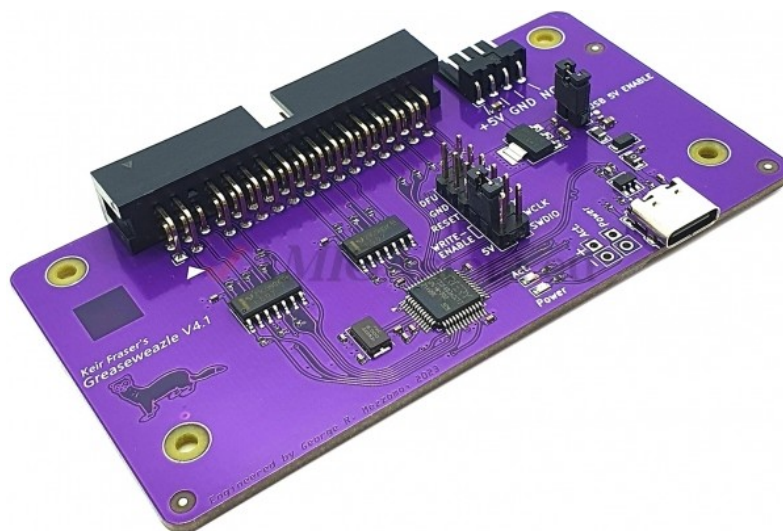
3.1 Diskettide juhtimine kaasaegse tehnikaga

Vaatamata veidi vananenud tehnika standardile, leidub ka tänapäeval olukordi, kus on vaja diskettidelt andmeid lugeda või neile kirjutada, näiteks arhiveerimiseks, vanadele seadmetele püsivara installimiseks või andmete päästmiseks. Küll aga jääb üha vähemaks seadmeid, mis toetavad floppy ketaste lugejaid, kuna kaasaegsemad tehnoloogiad on muutnud andmekandjate standardeid. Vähestel nüüdisaegsetel toiteplokkidel ja emaplaatidel on enam vastavaid Molex-4, Paralleel-ATA ja 34-viiguga floppy pistikuid, mida vanemad andmekandjad kasutavad.

Õnneks on loodud mitmeid vaheseadmeid, mis suudavad suhelda disketi draividega läbi tänapäeval levinud suhtlusprotokollide (näiteks *USB* ja *UART*). Järgnevalt on välja toodud erinevad meetodid ja seadmed, millega oleks võimalik selle töö raames luua disketi tööd demonstreeriv muuseumieksponaat.

3.1.1 Greaseweazle

Greaseweazle on üks levinumaid vabavaralisi hobitaseme kontrollereid, mida kasutatakse diskettide magnetvoo lugemiseks ja kirjutamiseks. *Greaseweazle* on ühe trükkplaadiga seade, millel on Berg tüüpi sisend toitepistik ning USB ja 34-viiguga sisend-väljundpistikud disketi ja arvuti andmevahetuse jaoks (vaata joonist 3.1). Antud töö kirjutamise hetkel on kõige uuem mudel *Greaseweazle* v4.1, millel on Euroopas mitmeid edasimüüjaid ja selle keskmine jaehind on umbes 30 eurot. See sisaldab ainult kontrolleri ennast, mitte disketi draivi ega selle ühendusjuhtmeid ja kehtib ka kõikide järgnevate kontrolleri hindade kohta. [20]. Seadme eelis on see, et see vajab vähe lisaseadistust ja peaks olema tavakasutajale võrdlemisi lihtne kasutada.



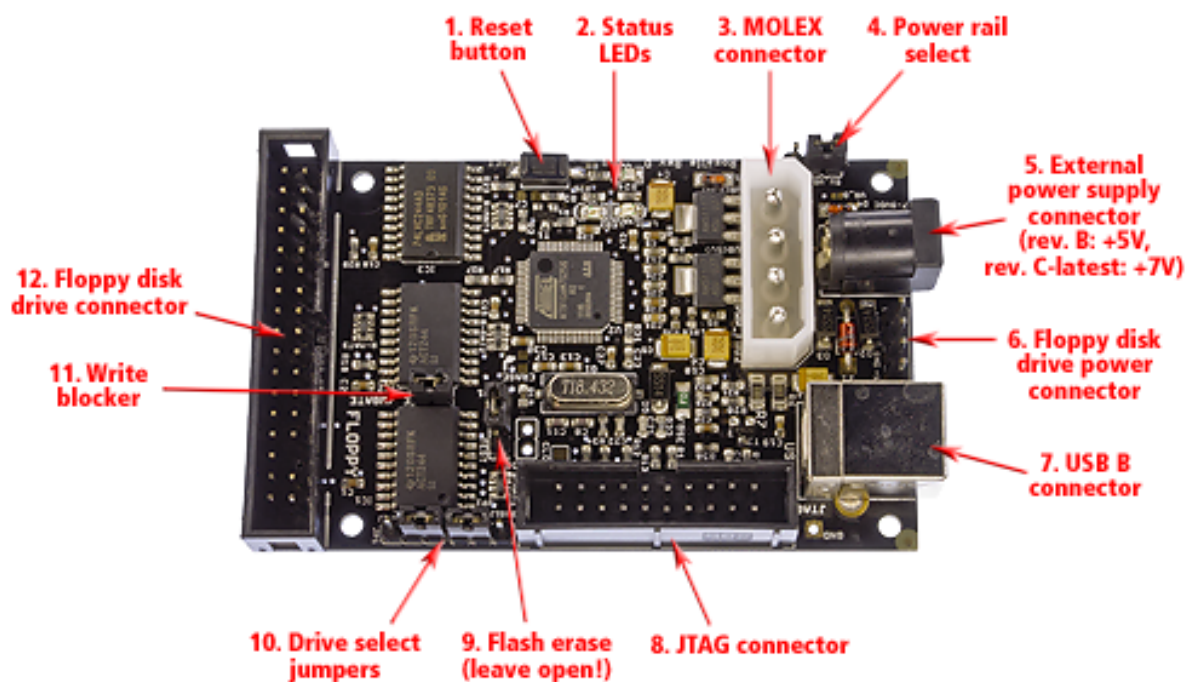
Joonis 3.1: Greaseweazle floppy controller. Pilt pärit internetist, veebileht: <https://amigastore.eu/894-greaseweazle-v4.html>

3.1.2 FluxEngine

Teine võimalus on kasutada *FluxEngine* kontrolleri, mis sarnaneb *Greaseweazle*'le, kuna on sama otstarbega, samas hinnaklassis ja vabavaraline. *FluxEngine* vajab rohkem iseseisvat ülesseadmist ning seda ei ole nii lihtne kasutada kui mõnda teist alternatiivi, kuna see pole valmis toode, vaid eeldab erinevate moodulite ise eraldi ostmist ja kokku jootmist [21]. Lisaks ei toeta *FluxEngine* nii palju erinevaid kettaformaate, kui seda teevad *KryoFlux*, *Greaseweazle* ja *SuperCard Pro*.

3.1.3 KryoFlux

Veel üks alternatiiv on *KryoFlux*, mis on rohkem suunatud professionaalidele oma kvaliteedi, töökindluse, kiiruse ja laia valiku toetatud kettastandardite poolest. Kõige sellega kaasneb ka kõrgem hind, vahemikus 105 kuni 155 eurot kontrolleri kohta [22]. Nagu ka eelnevate kontrolleri puhul, on tegemist disketi monoplaatkontrolleriga, mis suudab floppydele kirjutada ja neilt andmeid lugeda ning suhtleb arvutiga läbi USB-protokolli. *KryoFlux*'i eelis eelnevate kontrolleri ees seisneb selles, et see suudab lugeda ja kopeerida ka haruldaste kaitsete ja nõrkade sektoritega kettaid. Lisaks on *KryoFlux*'il ka JTAG pistik, millega saab teha madalama taseme vigade tuvastust (vaata joonist 3.2). *KryoFlux*'i hinna ja kvaliteedi tingib ka see, et tegemist on erafirma arendatud tootega, mitte vabavaralise kogukonna projektiga, nagu seda on eelnevad kaks kontrolleri. [23]



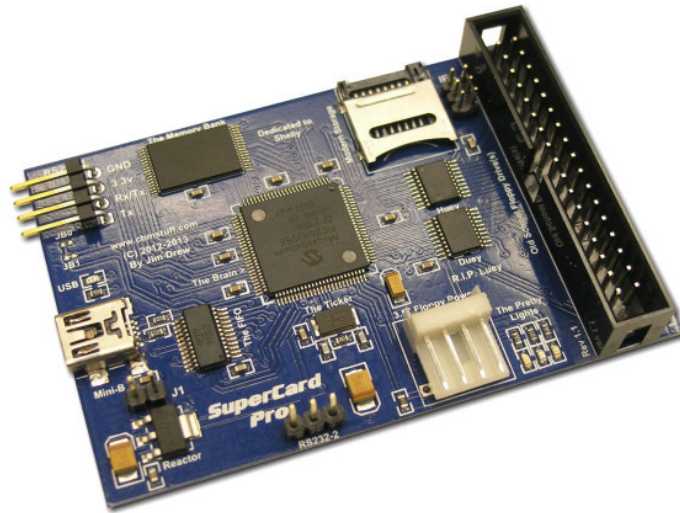
Joonis 3.2: KryoFlux floppy controller. Pilt pärit internetist, veebileht: https://kryoflux.com/?page=kf_features

3.1.4 SuperCard Pro

KryoFlux'ile sarnane lahendus on ka *SuperCard Pro*, mis on samas hinnaklassis (umbes 100 eurot) ning suudab lugeda ja kopeerida nõrkade sektoritega ja haruldaste kopeerimise kaitsetega diskette (kuigi mitte nii laialdaselt, nagu *KryoFlux*). Lisaks on sellel kontrollerial MicroSD kaardi lugeja, kust või kuhu saab andmeid lugeda või kirjutada (vaata joonist 3.3). Nagu ka *KryoFlux* kontrollerial, on see toodetud erafirma poolt ega ole lahtise lähtekoodiga. [24]

3.1.5 Mikrokontrolleri baasil enda disketi draiver

Kuna draivi liikumist demonstreeriva muuseumi eksponaadi puhul pole eriti oluline, mis andmeid diskettidelt loetakse, või kas üldse päriselt andmevahetus toimub, võib ka disketi draivi liikumist näidata väga madalatasemeliselt draivi mootori juhtimisega. Seda saab teha läbi mõne laialdaselt levinud sisend-väljundviikudega mikrokontrolleri või monoplaatarvuti, näiteks mõni Arduino või Raspberry Pi seade. Õnneks on eelnevalt juba loodud vabavaraline teek *ArduinoFDC* Arduino mikrokontrolleritele, mis võimaldab mitte ainult liigutada disketi draivide mootoreid, vaid ka magnetvoo andmeid vahendada. [25]



Joonis 3.3: SuperCard Pro floppy controller. Pilt pärit internetist, veebileht: https://www.cbmstuff.com/index.php?route=product/product&product_id=52

3.1.6 Vana riistvara kasutamine

Lisaks on ka võimalus kasutada originaalset riistvara, millele need andmekandjad algselt mõeldud olid. Antud töö kontekstis võib see olla päevakohane, kuna muuseumis on juba niigi palju vanu arvuteid, mille abiga saaks mõne disketi draivi tööle panna. Küll aga ei pruugi see olla pikaajaliselt stabiilne lahendus, kuna vanavarale võib rikke korral olla raske asendust leida ning tihti on vanad seadmed vähem energiasäästlikud. Lisaks poleks arvuti korpuse sees olev disketi draiv küllastajatele tõenäoliselt eriti muljetavaldav, kuna selle liikumine, mida soovitaksegi antud eksponaadiga näidata, oleks varjatud.

Erinevaid alternatiive diskettide lugemiseks on veelgi, aga siinkohal on välja toodud kõige populaarsemad ja päevakohasemad võimalused, pidades silmas töö eelarvet, ajakulu (tarne ja tööle saamine), kasutajatuge ja jätkusuutlikkust. Tabelis 3.1 on näha siin töös mainitud kontrolleri lihtsustatud võrdlust.

Tabel 3.1: Erinevate floppy draivi kontrolleri võrdlus

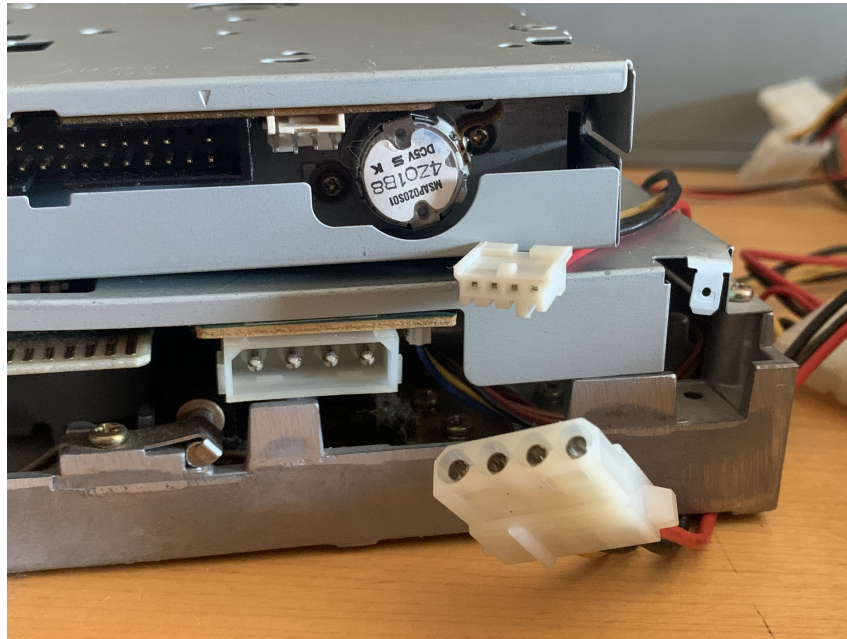
Kontroller	Toetatud floppy standard				Maksumus	lisa märkused
	8"	5,25"	3,5"	3"		
Greaseweazle	ei	jah	jah	ei	35€	
FluxEngine	ei	jah	jah	ei	30€	peab ise kokku panema
KryoFlux	jah	jah	jah	jah	105-155€	JTAG pistik
SuperCard Pro	ei	jah	jah	ei	100€	SD-kaardi pesa
ArduinoFDC	ei	jah	jah	ei	20-30€	

3.2 Disketi töö demonstreerimine

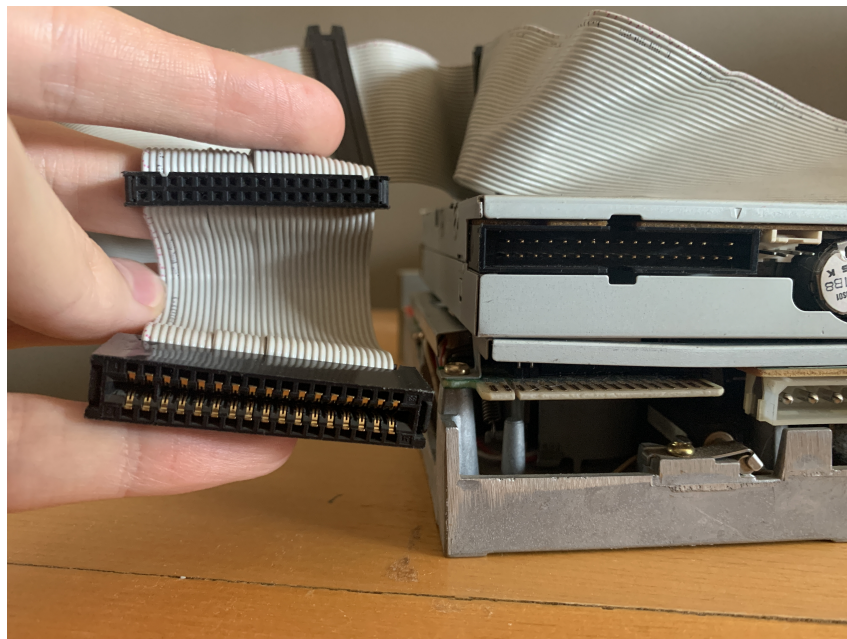
Esmalt tutvus töö autor disketi draividega seotud baasteadmistega, näiteks milline floppy draiv välja näeb, millised on floppy standardid, mis pidi floppy ketas draivi sisestada ning millised on selle toite- ja suhtlussiini pistikud ja kaablid. Esmapilgul võib olla varasema kokkupuute puudumisel isegi keeruline vahet teha CD-ROM'i ja 3,5-tollise disketi draivil ning PATA kõvaketta ja floppy draivi andmekaablil.

Peale tutvumist tuli otsustada, milliste standarditega diskette saaks muuseumi eksponaatidena kasutada. Peamised standardid on 8; 5,25; 3,5 ja 3 tolli [26], millest otsustati edasi tegeleda kahe keskmisega, kuna need on enim levinud standardid ning töökorras 8- ja 3-tolliste floppy ketaste lugejaid ja kontrollereid oleks väga keeruline leida ja kulukas hankida. Valikut lihtsustas ka asjaolu, et arvutimuuseumil oli lõputöö eksponaatide loomiseks juba 5,25- ja 3,5-tollised disketid, nende lugejad ja nende lugejatele sobiv toiteplokk olemas.

Seejärel tutvuti erinevatele floppy standarditele vastavate andme- ja toitekaablitega. Reeglina kasutavad 5,25-tollise disketi draivid 12-voldise toitepinge jaoks nelja viiguga Molex pistikut (vaata joonist 3.4, alumine). 3,5-tollised draivid kasutavad 5-voldise toitepinge jaoks nelja viiguga Berg pistikut (vaata joonist 3.4, ülemine). Andmevahetus toimub mõlemal standardil üle 34-siinilise kaabli, aga ühenduspistikud on neil erinevad. 5,25-tolline draiv kasutab servkontakti tüüpi ühendust (vaata joonist 3.5, alumine), 3,5-tolline aga 2,54 mm vahedega viiktüüpi pistikut (vaata joonist 3.5, ülemine).

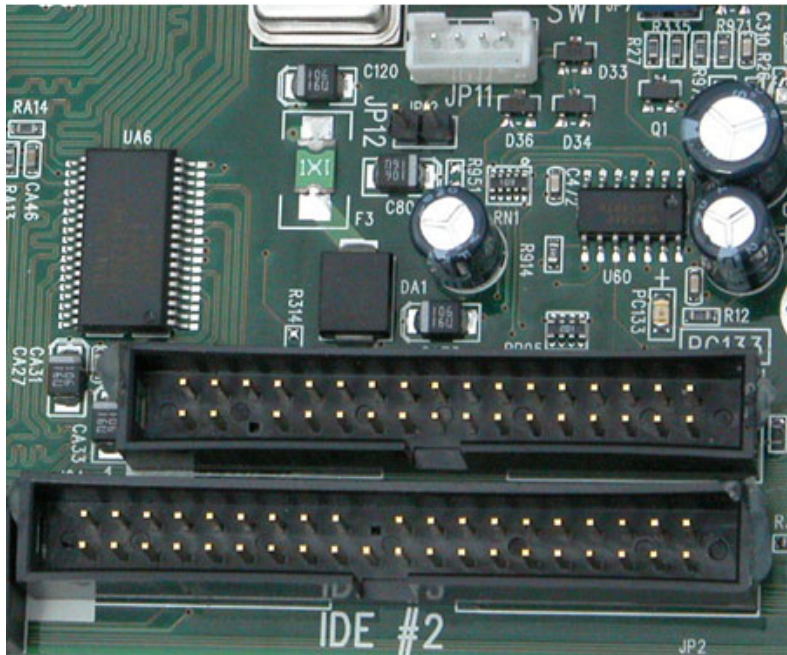


Joonis 3.4: 5,25-tollise (alumise) ja 3,5-tollise (ülemise) floppy draivi toitepistikud



Joonis 3.5: 5,25-tollise (alumise) ja 3,5-tollise (ülemise) floppy draivi andmepistikud

PATA ja floppy ribakaabli ühendused võivad esmapilgul tunduda sarnased; tegelikult on need erinevad ning üksteisega mitte-ühilduvad. Välimuselt on mõlemad kaherealised viikudega pistikud 2,54 mm viigusammuga ja mõlema keskel on kinnitusaas, aga PATA standardil on 40 viiku, floppy omal 34 (vaata joonist 3.6). Lisaks on PATA kaabli ühenduste järjestus erinev floppy omast [27, 28].



Joonis 3.6: Floppy (ülemine) ja PATA (alumine) pistiku erinevus, Pilt pärit internetist, autor: Messer Studios LLC, veebileht: <https://www.professormesser.com/free-a-plus-training/a-plus-pop-quizzes/what-is-this-port/2/>

Järgmiseks oli vaja otsustada, millise kontrolleriiga valitud floppy draive juhtima hakata. Eelnevalt välja otsitud valikuvõimalustest otsustas autor Arduino mikrokontrolleri baasil vabaaralist teeki ArduinoFDC kasutava kontrolleri kasuks, kuna Arduino arendusplaatide oli Tartu Ülikoolil kohe pakkuda ega oleks olnud ajaliselt ega majanduslikult otstarbekas tellida eraldi spetsiaalset seadet, kui saab olemasolevaga lihtsamini, kiiremini ja odavamalt hakkama. Autoril oli ka varasem kokkupuude Arduino arendusplaatidega ja selle kasutajaliidesega, tagades veidi sujuvama töö kulgemise, võrreldes mõne muu kontrolleri kasutajaliidese õppimisega. Lisaks on Arduino mikrokontrolleri baasil tehtud kontrolleri tulevikukindlam, kuna sellel on suurem kasutajaskond ja pikem ajalugu kui teistel, spetsiifilistel floppy kontrolleritel, mille tootlus ja kasutajatugi ei pruugi tulevikus püsima jääda.

Järgmise sammuna tuli toiteploki väljundpinged üle kontrollida ja veenduda, et see on töökorras, teisisõnu teha kindlaks, et õigetelt siinidelt saab kätte stabiilse 5 V ja 12 V alalisvoolu ühenduse. Kui pinged olid multimeetriga üle kontrollitud, ühendati need disketi draividega ja kontrolliti, et ka neil toite sisenditega probleeme poleks. Seejärel juhtimestati ArduinoFDC dokumentatsiooni kohaselt Arduino Uno mikrokontrolleri sisend-väljundviigud disketi ribakaabliga ning katsetati teegi näidiskoodi [25].

Vaikimisi kasutab teegi näidiskood enda DOS keskkonda ArduDOS, mille funktsionaalsus põhineb MS-DOS (ingl. *Microsoft Disk Operating System*) käskudel [29]. See võimaldab lihtsat failihaldust, nagu näiteks failide lugemine, kirjutamine ja kustutamine, kataloogide loomine ja kustutamine, kataloogide sisu kuvamine, ketta formatimine ning failide edastamine ja vastuvõtmine üle XModem protokoll. Lisaks sellele on võimalik kasutada veel madalama tasemelisi käskke ArduDOS "monitor" käsuga, mis võimaldab lugeda ja kirjutada üksikuid disketi sektoreid ja radu, käivitada või peatada ketta pöörlemismootorit, vahetada draive, kui ühe kaabli küljes on ka teine ketta lugeja, ja määrata ära, millise standardiga draivi ja kettaga on tegu. Mõlemaid käsustikke saab kasutada üle erinevate jadasiini suhtlusliidestega (näiteks Arduino *serial monitor*, Tera Term [30] või minicom [31]), aga mitte segamini, kuna tegemist on siiski kahe erineva käsustikuga. Kui tahta kasutada monitor käskke, tuleb ArduDOS keskkonnas esmalt sisestada "monitor" käsk, et vahetada keskkonda ja hiljem vastupidi monitor keskkonnas sisestada "x" käsk, et naasta ArduDOS keskkonda.

Esimesed veateated tulenesid sellest, et kasutati valesid käskke vales keskkonnas, kuid see sai kiiresti parandatud keskkonda vahetades. Kui prooviti monitoris diskettidelt andmeid lugeda, hakkas draiv küll liikuma ja häält tegema, aga saadi uus veateade, mis ütles: "*No track 0 signal detected!*". ArduDOS keskkonnas "dir" käsku kasutades andis see aga erineva veateate: "*Error #3: Drive not ready*". Sellest sai järeldada, et kas ketas on vigane ja selle rajad on viga saanud, mille tõttu ei leia draiv raja algust (nullsignaali) üles või on koodis ketta formaat valesti seadistatud ja see otsib nullsignaali vales kohast.

Küsid abi tehisarult ChatGPT (OpenAI mudel GPT-4o, isiklik vestlus 3. aprill 2025), millest selline veateade võib tulla, vastas tehisintellekt parafraaseerides: "See võib olla seotud floppy kaabli 34. viigu signaaliga, mis ütleb, kas draiv on lugemiseks valmis (seades signaali loogilise väärtuse madalaks). Osad vanemad 5,25-tollised draivid ei pruugi seda signaali kasutada ja hoiavad seda pidevalt kõrgel, mis ei lasegi kunagi kontrollerial lugemist alustada, kuna signaal on alati kõrge." Selle lahenduseks ühendati floppy kaabli 34. signaali juhe otse Arduino maaga, et signaal oleks alati madal, ehk kontrolleri silmis on draiv alati lugemiseks valmis. See lahendus võimaldab küll kettalt andmeid lugeda, aga toob endaga kaasa riski, et andmeid hakatakse lugema ka siis, kui ühtegi ketast draivi sisestatud pole ning võib seeläbi kahjustada riistvara.

Hilisemate katsete käigus selgus, et viga võib esineda ka siis, kui lülitada Arduino toide sisse enne disketi draivide toidet, kuna Arduino käivitamise hetkel saab kontrolleri signaali, et draivide toitepinge on liiga madal ega ole lugemiseks valmis. Selle vältimiseks tuleb draivide toide sisse lülitada enne kontrolleri tööle panemist. Antud lahendus likvideerib ka vajaduse ühendada eelmainitud 34. viiku otse maaga, vähendades draivide lõhkumise riski.

Proovides peale seda muudatust nüüd kettalt andmeid lugeda, andis kontrolleri uue veateate: "*Error: No sync marks found!*", mis viitas endiselt sellele, et kettalt ei leita nullsignaali, millest lugemist alustada. Probleemi kõrvaldamiseks prooviti lugeda erinevate kettastandardite seadistustega ning selgus, et kontrolleri oli tarkvaraliselt vale standard valitud. ArduDOS-is saab valida viie erineva ketta ja draivi kombinatsiooni vahel (vaata tabelit 3.2), millest oli algselt valitud 5,25-tolline *double density* ketas *double density* draivis, aga tuli välja, et kasutusel olev riistvara oli hoopis mõeldud *high density* diskettide lugemiseks, ehk pidi valima loetelust teise valiku, kuna kasutusel oli *double-density* ketas.

Tabel 3.2: ArduDOS-is kasutatavad disketi ja draivi kombinatsioonide eelseadistused

ArduDOS parameeter	parameetri selgitus
ArduinoFDC::DT_5_DD	<i>Double-density</i> 5.25" ketas <i>double-density</i> draivis
ArduinoFDC::DT_5_DDOnHD	<i>Double-density</i> 5.25" ketas <i>high-density</i> draivis
ArduinoFDC::DT_5_HD	<i>high-density</i> 5.25" ketas <i>high-density</i> draivis
ArduinoFDC::DT_3_DD	<i>Double-density</i> 3.5" ketas <i>double-</i> või <i>high-density</i> draivis
ArduinoFDC::DT_3_HD	<i>high-density</i> 3.5" ketas <i>high-density</i> draivis

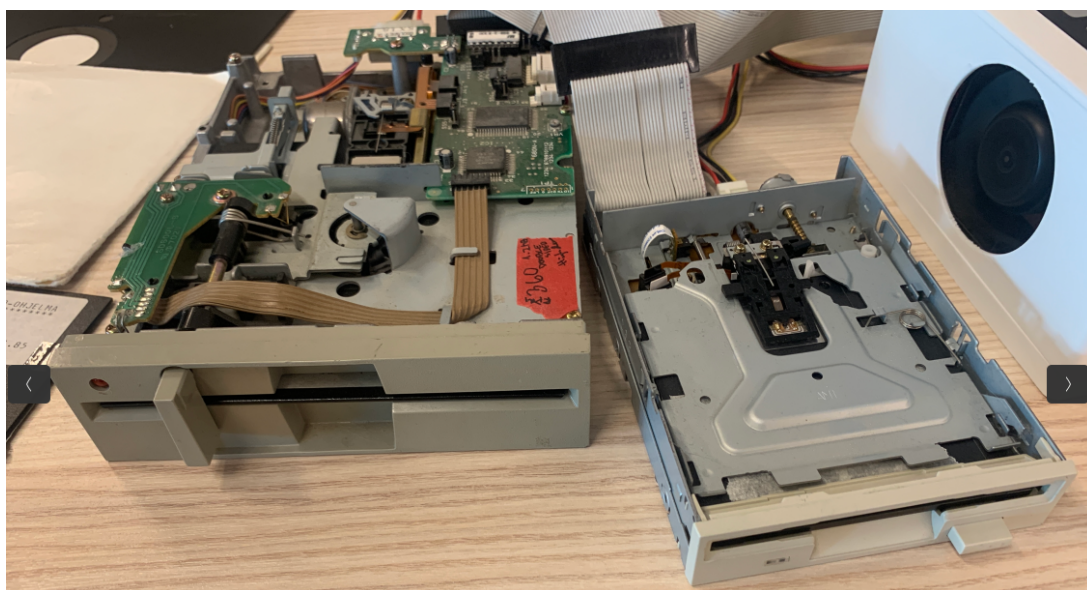
Kui kontrolleri töötas lõpuks ootuspäraselt ja diskettidelt sai andmeid lugeda, jäi üle veel kirjutada jadasiini kaudu Arduino mikrokontrolleriga suhtlev kood, mis visualiseeriks hästi draivide tööd ning edastaks kõvaketta kõlarile vajamineva helifaili nime. Seda kirjeldatakse rohkem süvitsi peatükis 6 Kasutajaliides.

3.3 Diskettide eksponaadi tulemus

Töö tulemusena valmis esimene eksponaat kolmest, mis hõlmab endas disketi draivide töö demonstreerimist ja diskettidelt andmete lugemist. Eksponaat sisaldab kahte disketi draivi 3,5-tolliste *high-density* ja 5,25-tolliste *high-density* diskettide jaoks (kuigi saab ka kasutada 5,25-tolliseid *double-density* kettaid konfiguratsiooni muutes), mida juhitakse läbi Arduino Uno mikrokontrolleri.

Eksponaat on osa terviklikust kasutajaliidesest, kus saab kolme nupuga igat eksponaati eraldi lühiajaliselt käivitada. Eksponaate käivitavaid nuppe ja Arduino mikrokontrollerile saadetavaid käsked haldab Raspberry Pi 3 monoplaatarvuti, mis on kogu ülejäänud elektroonikaga peidetud 3D-prinditud korpusesse. Kasutajaliidest kirjeldatakse täpsemalt peatükis 6.

Peale selle, et eksponaat demonstreerib nupuvajutusel disketi draivi tööd, liigutades selle lugemis- kirjutuspead mööda draivi edasi-tagasi ja lugedes etteantud radadelt infot, on see seotud ka antud töö kolmanda eksponaadiga. Nimelt on diskettidele kirjutatud erinevate helifailide nimedega tekstifailid, mida kolmanda eksponaadi nuppu vajutades disketi draivid ketastelt loevad ja Arduino vahendusel Raspberry Pi'sse edastavad, mis omakorda esitab kõvaketta kõlaril vastavat muusikapala. Lõpliku eksponaati saab näha joonisel 3.7 ja lisis 2.



Joonis 3.7: Diskettide eksponaadi lõpptulemus

4 Kõvaketta töö visualiseerimine

4.1 Kõvaketaste manuaalne juhtimine

Kõvaketta töö aeg-luubis demonstreerimine vajab veidi loomingulist lähenemist, kuna kõvaketaste mootorid ei ole mõeldud aeglaselt ja erinevate kiirustega töötama. Enamasti on kõvaketta mootoritele programmeeritud kindel kiirus, mille juures need peavad kogu aeg keerlema. Ketaste pöörlemiskiiruste standardid on 4200, 7200, 10000 ja 15000 pööret minutis. [32] Muuseumieksponaadi jaoks oleks vaja, et mootor pöörleks umbes 12-60 pööret minutis (1-5 sekundit ühe pöörde jaoks), et see oleks inimesele silmaga hoomatav ja ta saaks samal ajal lugeda, mis on ketta pinnale kirjutatud/joonistatud. Küll aga on harjasteta alalisvoolumootori tööpõhimõtte tõttu keeruline korraga sujuvalt ja aeglaselt seda mootorit liigutada.

Võimalikud lahendused sellele probleemile on asendada kettaid ringi ajav harjasteta alalisvoolumootor mõne sammumootori vastu, mida on võimalik väikeste sammudega väga täpselt ja aeglaselt juhtida. Teine võimalus on tekitada ketastele ülekanne, kus mõni teine mootor liigutab külje pealt või alt kettaid, mitte see mootor, mis on ketaste pöörlemise teljel. Kolmas võimalus on proovida siiski olemasolevat mootorit aeglaselt juhtida mõne välise kolmefaasilise harjasteta alalisvoolumootori kontrolloriga.

Lisaks kõvaketaste liigutamisele peab eksponaat samaaegselt liigutama oma kirjutus-lugemispead edasi-tagasi, sarnaselt kõvaketta kõlarile. Kuna kirjutus-lugemispead on vaja liigutada mõlemas suunas, ei piisa ainult ühest lülitist, mis määrab, kas elektromagnetis liigub vool või ei liigu. Selle asemel on vaja kolme olekuga lahendust, kus vool saab liikuda mõlemat pidi või mitte kummaski suunas.

4.2 Aegluubis kõvaketta liigutamine

Lihtsuse mõttes otsustati minna eelnevas peatükis mainitud võimaluste seast teise valikuga, ehk kasutada välist alalisvoolumootorit ja tekitada sellele ülekanne, mis külje pealt kõvaketta ket-
taid liigutab. See lahendus valiti põhjusel, et kolmefaasilist mootorit Raspberry Pi'ga juhtida
on märkimisväärselt keerulisem kui alalisvoolumootorit. Kui tahta asendada ketaste teljel ole-
vat mootorit, peab see mehaaniliselt väga täpselt kõvaketta korpusega sobituma ning kettad
pöörleksid siis ilma ülekandeta (mootori enda kiirusega), mis võib osutada liiga kiireks. Väi-
kest alalisvoolumootorit on piisavalt lihtne Raspberry Pi'ga juhtida ning selliseid mootoreid oli
Tartu Ülikoolil juba pakkuda, millega sai vältida uue mootori otsimisele ja tarnimisele minevat
ajakulu.

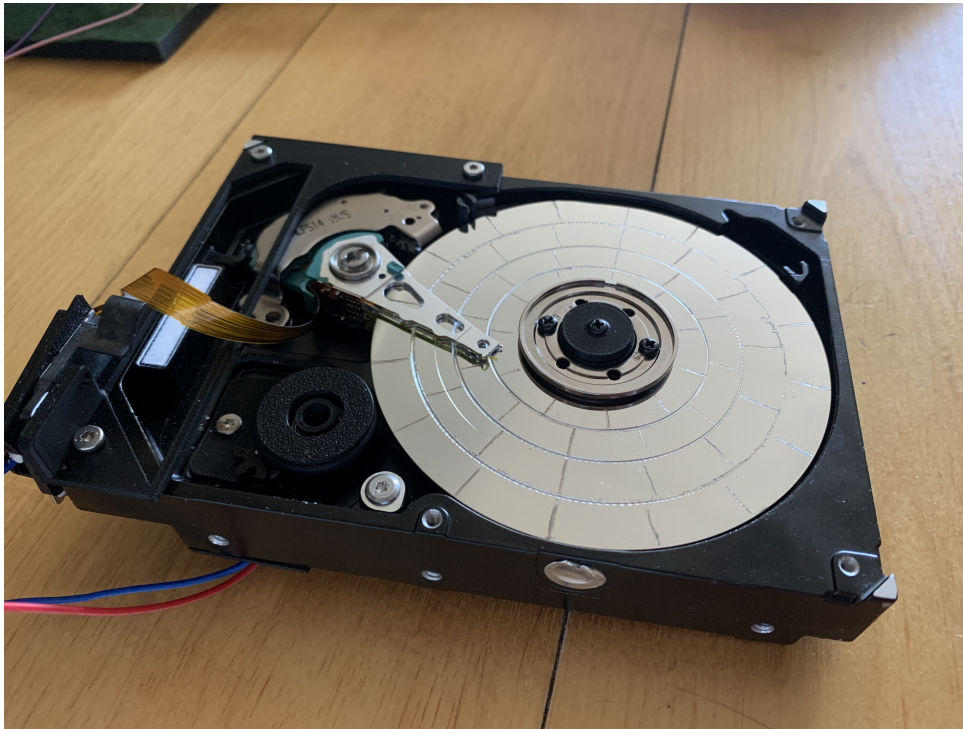
Eksponaadi ehitamiseks kasutati mootorit PM15B3 40703 [33], mis töötab ühe kuni viie voldise
toitepinge pealt ja tarbib kuni 200 mA voolu. Kuna Raspberry Pi sisend-väljundviikude maks-
maalne lubatud väljundvool on 16 mA, ei saa mootoreid sealt otse juhtida. Nagu Raspberry Pi
ametlikus dokumentatsioonis soovitatakse [34], on sellele sobilik lahendus kasutada H-sillaga
alalisvoolumootori kontrolleri, mis võtab transistorite juhtimise sisendiks väikese vooluga sig-
naali, aga juhib mootoreid suurema välise toitevooluga. Kui soovida mootorit juhtida ühe
pideva kiiruse juures ja ainult ühes suunas, piisaks ka lihtsalt ühest transistorist, mis lülitab
mootori vastavalt juhtsignaalile sisse või välja. Kuna antud kõvaketta puhul soovitakse liigutada
kirjutus-lugemispead erinevates suundades, läheb selle jaoks vaja mitmest transistorist H-silla
põhimõttel ehitatud kontrolleri.

Alalisvoolumootori kontrolleri valiku tegemisel tuleb arvestada selle sisend- ja väljundpingete
ning maksimaalse voolutugevusega. Käesolevas töös kasutatakse H-silla kontrolleri laial-
daselt levinud L298N baasil ehitatud draiverit, mille toitepinge vahemik on 5-35 V, maks-
maalne voolutarve kaks amprit ning mis suudab juhtida korraga kahte eraldiseisvat mootorit
[35]. Kontrolleri teist väljundit saab kasutada kõvaketta kirjutus-lugemispea juhtimiseks. Kuna
pikaajaline alalisvool võib kahjustada kirjutus-lugemispea elektromagnetit, tuleb seda juhtida
PWM signaaliga (ingl. *Pulse Width Modulation*), mis tekitab kindla ajavahega impulsse pi-
deva alalisvoolu asemel. Antud lahendus lülitab kontrolleri väljundi hetkeks (PWM signaaliga
määratud pikkuseks) maksimaalse väärtuseni ning siis tagasi nulli. Käesoleva eksponaadi puhul
see lahendus sobib, kuna soovitakse kirjutus-lugemispead viia ühest äärmusest teise ja tagasi.

Ketaste ja mootori vahelise jõuülekande saavutamiseks tuli disainida ja 3D printida alalisvoolu-mootorile kinnitus kõvaketta korpuse külge ning vaherullik, millele sai ümber tõmmata kummi-rõnga, et suurendada kõvaketta ja mootorirulliku vahelist hõõrdejõudu. Paraku ei olnud alalis-voolumootor piisavalt võimas, et jaksaks kogu mehhanismi ringi ajada. Selle lahenduseks tuli kogu ülekandemehhanismi massi vähendada ning kuullaagritega parandada selle pöörlemis-võimekust, ehk teisisõnu vähendada ketaste ja korpuse vahelist hõõrdejõudu. Ka pärast neid muudatusi osutus valitud mootor siiski liiga nõrgaks, et ilma kaasa aitamata seisvast olekust kettaid keerlema panna. Kui käivitada eksponaat ning inimese abiga ketastele väike hoog sisse anda, suutis mootor kettaid ringi ajada ning jäi keerlema, kuni selle vooluühendus katkestati.

Alalisvoolumootori võimsuse tõstmiseks saab tõsta selle toitepinget, aga see pole soovitatav tegevus, kuna mootori maksimaalse lubatud sisendpinge lävendi ületamine võib mootori läbi põletada. Kuna antud eksponaadi puhul kasutatakse mootorit lühiajaliselt (maksimaalselt kümme sekundit järjest), ei pruugi mootor selle ajaga piisavalt soojaks minna, et pöördumatut kahjustust tekitada. Seetõttu otsustati katsetada, kas näiteks seitsme või kaheksa voldise toitepinge korral mootor suudaks seisvast olekust kettaid liigutama hakata. Kuna toiteploki tuleb ainult 5 V ja 12 V alalisvoolu pinget, tuli leida alalisvoolu konverter, mis suudaks 12 volti teisendada väikse-maks pingeks. Alalisvoolu konverteriks valiti OKY3502 [36], mille sisendpinge vahemik on 3,2 kuni 40 volti, mis on antud projektis kasutusel oleva toiteploki ühilduvas vahemikus. Lisaks tuli arvestada mootori draiveri enda pingelanguga, mis tõenäoliselt oligi eelnevalt mootori jõu puudulikkuse põhjus, kuna viie voldise toitepinge puhul ei jõudnud mootorini päriselt viis volti, vaid umbes 3,5 V. Nüüd, seitsme voldise draiveri toitepinge korral, sai alalisvoolu mootor päriselt oma maksimaalse võimsusega töötada ning suutis kõvaketta kettad keerlema panna.

Peale kõvaketta liikumise tutvustati ka külastajatele selle andmete talletamise põhimõtet. Täpse-malt, kuidas andmed ketta pinnal jaotuvad, mis on rajad ja sektorid. Selleks graveeriti käsitsi Dremel lõikuriga ketta pinnale illustreeriv kujutis kaasaegse ketta sektoritest (vaata joonist 4.1). Muuseumi külastajad saavad selle kohta lähemalt lugeda informatiivselt plakatilt, mis on välja toodud lisa 3.



Joonis 4.1: Kõvaketta tööd demonstreeriva eksponaadi lõpptulemus

4.3 Kõvaketta demonstratsiooni eksponaadi tulemus

Kõvaketta tööd demonstreerival eksponaadil esinesid küll algselt ootamatud tõrked, aga lõpuks täitis see siiski püstitatud eesmärgi. Eksponaat sisaldab lahti võetud kõvaketast, mille ketad keerlevad aeglustatud kiirusel koos perioodiliselt edasi-tagasi liikuva kõvaketta kirjutus-lugemispeaga.

Kõvaketta mootoreid liigutatakse alalisvoolumootoriga PM15B3, mida juhib alalisvoolu draiver L298N. Draiveri teine väljund juhib eksponaadi kirjutus-lugemispead. Kogu juhtimisloogika tuleb Raspberry Pi peal jooksvast programmist, mis edastatakse draivile läbi arvuti sisend-väljundviikude.

Lisaks graveeriti käsitsi ketta pinnale visualiseeriv pilt kõvaketta sektoritest, mille kohta saavad külastajad täpsemalt lugeda informatiivselt plakatilt. Lõpliku eksponaati näeb joonisel 4.1 ja lisas 2.

5 Kõvaketas kõlarina

5.1 Kõlari ülesehitus

Cambridge'i Ülikooli sõnastiku kohaselt võib defineerida kõlarit, kui mingit elektroonilist seadet, millest võib kuulda lindistatud või otseülekanadena esitatud heli [37]. Selle võrdlemisi umbmäärase kirjelduse alusel võib sisuliselt ükskõik milline elektrooniline seade olla kõlar, mis suudab inimesele kuuldavas sagedusvahemikus vibreerida piisava helitugevusega.

Ebaharilikke kõlareid on ehitatud varemgi, küll aga peamiselt hobi-, kunsti- või teadusprojektide raames, mitte niivõrd kvaliteetse helisignaali edastava seadme loomiseks. Üks näide on *Zeusaphone*, mis töötab Nikola Tesla leiutatud Tesla trafo baasil. Antud seade tekitab heli kõrgepinge löök-lainetega, kus otseselt heli tekitavat membraani ei eksisteerigi, aga erineva kõrgusega heli suudab seade väga täpse ajastusega siiski mängida (vaata joonist 5.1). [38]

Nagu eelnevalt mainitud, siis sisuliselt iga piisava võnkumissagedusega seade võib olla kõlar, sealhulgas ka magnetiline kõvaketas, kuna selle kirjutus-lugemispea on mõeldud väga kiirete ja täpsete liigutuste jaoks ning on



Joonis 5.1: Zeusaphone - muusikaline Tesla Trafo. Pilt pärit internetist, autor: Iosif Aragiannis, veebileht: <https://mct-master.github.io/interactive-music/2022/11/26/iosifaragiannis-zeusaphone.html>

elektrooniliselt juhitav. Kõvaketta kõlareid on varemgi ehitatud ja muuseumi kontekstis sobib see hästi silmaringi laiendavaks eksponaadiks, kuna paljud külalised ei pruugi olla sellist kõvaketta kasutust varem näinud.

Üldine tööpõhimõte kõvaketta kõlari puhul sisaldab endas seda, et kõvaketta kirjutus-lugemispead juhtivale elektromagnetile või seda vahetult juhtivale kontrolleri suunatakse võimendatud helisignaali, mis tekitab elektromagnetis helisignaali vastava magnetvoo, mis paneb omakorda soovitud sageduse ja tugevusega liikuma andmekandja kirjutus-lugemispea.

Helivõimendeid võib helitüübi poolest liigitada kaheks: mono- ja stereoheli võimendid. Kuigi enamik helisüsteeme töötab tänapäeval stereoheliga (parem ja vasak helikanal), suudavad enamik kõlaritest korraga siiski edastada vaid ühte helisignaali. Kui võtta näiteks kõrvaklapid, siis kuigi neile tuleb heliallikast sisendiks stereoheli, eraldatakse parem ja vasak heli kummagi kõrva kõlarisse ja kumbki kõlar edastab korraga ühte signaali. [39]



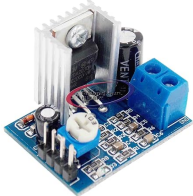
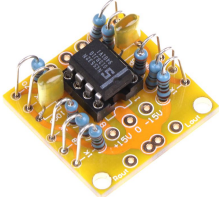
Kuna muuseumi eksponaadi kõvaketta kõlar võtab enda sisendiks monoheli, aga arvutist saadakse stereoheli, on heli võimendamiseks ja teisendamiseks mitu erinevat võimalust. Monoheli võimendi kasutamise korral on võimalik enne heli võimendamist stereoheli parem ja vasak signaal kokku liita üheks signaaliks ja seejärel võimendada läbi monoheli võimendi. Teine võimalus on enne signaalide liitmist kumbagi signaali eraldi võimendada ning siis kokku tuua. Kolmas võimalus on kasutada ainult ühte stereoheli poolt ja võimendada seda üksinda. Selle tulemusel läheks aga terve teise helikanali informatsioon kaduma ja helikvaliteet kannataks (kui just ei esitata seadmest monoheli, kus nii parem kui ka vasak helikanal mängivad sama helisignaali). Neljas võimalus on kasutada stereoheli võimendit, kus võimendatakse kogu algset helisignaali ja väljundist saadud stereoheli liidetakse kokku üheks helisignaaliks (sisuliselt sama lahendus, mis teine variant, aga kahe eraldi monoheli võimendi asemel kasutatakse ühte stereoheli võimendit).

Sobiva helivõimendi leidmiseks küsisin soovitusi tehisarult ChatGPT (OpenAI mudel GPT-4o, isiklik vestlus 7. veebruar 2025), mis soovitas nelja erinevat varianti, mis on kuvatud tabelis 5.1. Tabelis välja toodud võimendused detsibellides võimaldavad valemi 5.1 abil leida tegeliku võimenduskordaja [40].

$$L = 20 \log_{10}(G) \quad (5.1)$$

kus L on võimendus detsibellides ja G on reaalarvuline võimenduskordaja, mille leiab väljundpinge ja sisendpinge suhtena: V_{out}/V_{in} .

Tabel 5.1: tehisaru soovitatud helivõimendite võrdlus

helivõimendi	Mono/stereo	kirjeldus	moodulplaadi pilt
LM386 [41]	Mono	<ul style="list-style-type: none"> • Võimendus 20-200x • toitepinge 5-12 V 	 1
PAM8403 [42]	Stereo	<ul style="list-style-type: none"> • 24 dB Võimendus • toitepinge 2,5-5 V 	 2
TDA2030 [43]	Mono	<ul style="list-style-type: none"> • 90 dB Võimendus • toitepinge $\pm 18V$ (GND suhtes) 	 3
OPA2134 [44]	Stereo	<ul style="list-style-type: none"> • 120 dB Võimendus • toitepinge $\pm 18V$ (GND suhtes) 	 4

¹LM386 audiovõimendi, pilt pärit internetist: <https://techtionics.in/product/lm386-audio-amplifier-module-200-times-input-10k-adjustable-resistance/>

²PAM8403 audiovõimendi, pilt pärit internetist: <https://electropeak.com/3w-pam8403-fv-stereo-amplifier-module>

³TDA2030 audiovõimendi, pilt pärit internetist: <https://www.amazon.com/Amplifier-TDA2030A-TDA2030-Amplificador-Electronics/dp/B07KM6XZVV>

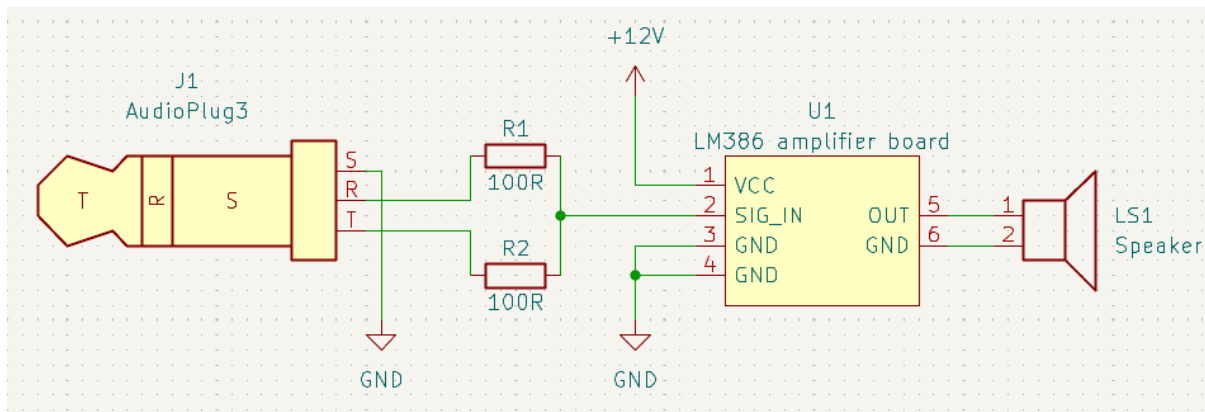
⁴OPA2134 operatsioonivõimendi, pilt pärit internetist: <https://www.ebay.de/itm/355996761475>

5.2 kõvaketta kõlari ehitamine

Kõvaketta kõlari ehitamiseks läheb peale kõvaketta veel vaja helivõimendit, helisignaali tekitavat seadet ja lihtsaid juhtmestuskomponente (juhtmed, takistid ja soovi korral kondensaatorid). Siinses projektis kasutusel oleval Raspberry Pi 3 monoplaatarvutil on olemas 3,5 mm helipesa, kust saab stereoheli väljundi lihtsalt kätte. Eelnevalt tehisarude poolt pakutud helivõimendite hulgast osutus LM386 kõige sobivamaks, kuna see võimendab monoheli, mida saab otse kõvaketta kirjutus-lugemispeale suunata ning selle toitepinge on olemasoleva toiteploki ühilduvas vahemikus.

Enne kõvaketta juppideks võtmist oli otstarbekas katsetada helivõimendit ennast, andes sellele sisendiks signaaligeneraatoriga (mudeli nr) tekitatud sinusoidi sagedusega 440 Hz ja amplituudiga 100 mVpp. Üheksa voldise toitepinge sai võimendi labori toiteploki (mudeli nr). Heli-signaali ja toite maandused ühendati samuti kokku, et tagada korrektne võimendatud välund-signaal. Seejärel sai mõõta võimendi väljundit ostsilloskoobiga, et näha, kas sisendsignaali võimendati korrektselt. Paraku ei vastanud esimese katse tulemused ootustele, kuna ostsilloskoobis kuvatud signaal meenutas rohkem kastsignaali, kui sinusoidi. Võimendi peal oleva potentsiomeetriga sai küll muuta võimenduskordajat, aga ka selle miinimumi viies oli väljund-signaali äärmused endiselt piiratud, jäädes maksimaalselt ühe voldi juurde.

Kuna sisendsignaali sobivuses ei oldud kindel, otsustati katsetada võimendit päris helisignaaliga. Selleks soetati odavad kõrvaklapid, millel lõigati juhtmed läbi ja toodi kumbki stereoheli pool jadamisi 100-oomiste takistitega kokku, et tekitada stereohelist monoheli [45]. Heli allikaks kasutati seekord sülearvutit, mille 3,5 mm helipesast tulev helisignaali ühendati võimendi sisendiga ning allesjäänud kõrvaklapi kõlar võimendi väljundiga (vaata joonist 5.2). Võimendi üheksa voldine toitepinge tuli ka seekord samast toiteploki ning toite ja helisignaali maandused ühendati omavahel taas kokku. Seekord töötas helivõimendi nii nagu oodatud, ja kõrvaklapist tulev heli oli nii vali, et seda kõrvaklapina pikaajaliselt kasutades oleks tõenäoliselt see nii kuulmist kui ka kõrvaklapi kõlarit ennast kahjustanud. Sellest sai järeldada, et ilmselt oli esimese katse sisendsignaali ebastabiilse amplituudiga, kuna päris helisignaali polnud tunda, et väljundheli oleks kuidagi piiratud.



Joonis 5.2: LM386 võimendi ühendusskeem

Järgmine samm oli uurida, kuidas saaks helisignaali suunata kõvaketta kirjutus-lugemispeale. Õnneks on kõvaketta kõlareid varemgi ehitatud ning kasutaja Afrotechmods poolt loodud õppevideo selgitas, kuidas leida kõvaketta kirjutus-lugemispead juhtiva elektromagneti ühendusi seda juhtiva kontrolleri jalgade hulgast. [46] Kui autor oli video järgi üles otsinud kõvaketta kontrolleri kaks jalga, mille vaheline takistus oli 14 oomi, jootis ta helivõimendi väljundi kummagi poole nende jalgade külge ning katsetas helisignaali esitamisega kõlarit. Kõlar töötas ootuspäraselt, mängides arvutist esitatavat heli.

Küll aga ei piisa sellest, kui arvutist saab valida helifaili, mida mängida, kuna muuseumi eksponaadina pole külastajatel ligipääsu arvuti kasutajaliidesele. See tähendab, et tuli leida lahendus, kuidas valida ja millal mängida soovitud heli. Sobiv lahendus oli liita kaks eksponaati kokku, kus diskettide pealt loetakse Arduino abiga sisse failid, millele vastavalt esitatakse kõvaketta kõlari kaudu helifaili.

Algselt oli plaanis kirjutada kogu helifaili disketile, kuid autorile selgus, et helifailid on väga mahukad ning maksimaalselt mahutab üks 3,5-tolline *high-density* diskett vaid 1,44 MB andmeid [47]. Isegi peale helikompressiooni (muutes stereoheli monoheliks, vähendades sähplimisagedust 44100 Hz pealt 8000 Hz peale, vähendades kodeerimisviisi märgiga kuueteist-bitise süsteemi pealt kaheksa-bitise märgita kodeerimise peale ning jättes alles ainult toore ".raw" laiendiga faili ilma meta-andmeteta) oli 35-sekundilise helifaili suurus ikkagi 268 KB. See küll mahtus disketile piisava varuga ära, aga selle lugemine võttis iga kord keskmiselt 20-30 sekundit. Seetõttu sai diskettidele kirjutatud vaid helifailiga samanimeline tekstifail, mida programm otsib ning esitab seejärel arvuti säilmälusse kirjutatud vastavat helifaili. Mitte ainult ei säästa

see lahendus aega, vaid vähendab ka diskettide kulumist ning energiakulu.

Viimane probleem, millega arvestada tuli, oli esitatavate heliteoste sagedusvahemik ja selles esinev müra. Erinevate heliteoste esitamise katsetel selgus, et kõvaketta kirjutus-lugemispea suudab teatud sagedusega helisid paremini mängida kui teisi. Näiteks üks valikus olevatest muusikapaladest oli Lauri Nebeli "Majake mere ääres", kuid selles helifailis esines võrdlemisi palju müra ja kõrget helisagedust, mis ei kõlanud kõlari peal nii hästi kui teised teosed.

5.3 Kõlari eksponaadi tulemus

Kolmas valminud eksponaat sisaldab endas helifailide esitamist kõvaketta kõlari kaudu. Kõlar töötab Raspberry Pi heliväljundina, ehk selle kaudu saab mängida kõiki arvutist tulevaid helisid. Küll aga on muuseumi eksponaadina arvuti kasutajaliides küllastajate eest peidetud, ehk lihtsuse huvides mängitakse kõlari ainult kindlaid muusikapalasisid. Helifailid on eelnevalt salvestatud Raspberry Pi säilmälusse ning kasutajaliidest jooksvat programmi valib sobiva helifaili vastavalt sellele, milline 3,5-tolline diskett on lugejasse sisestatud. Igale disketile on kirjutatud üks kindel fail, mis seda ketast eristab, ning määrab ära, millist helifaili mängima hakatakse.

Kõlar koosneb 3,5-tollise kujuteguriga kõvakettast ning LM386 baasil loodud monohelivõimendist. Võimendi saab oma helisisendi riistvaraliselt 100-oomiste takistitega stereohelist kokku liidetud monoheli signaalist, mis pärineb Raspberry Pi monoplaatarvutist. Helivõimendi väljund suunatakse vahetult kõvaketta kontrolleri jalgadele, mis omakorda on otse ühendatud kõvaketta kirjutus-lugemispead juhtiva elektromagnetiga. Lõpliku eksponaati näeb joonisel 5.3.

Üks puudus selle eksponaadi juures, mis jäi töö raames katmata, on helitugevuse reguleerimine. Seda on võimalik teha kas tarkvaraliselt muutes Raspberry Pi heliväljundi tugevust või mehaaniliselt muutes helivõimendi külge ehitatud potentsiomeetri takistuse väärtust, mis muudab vastavalt võimendatud heli helitugevust. Mõlemat on võimalik vajadusel muuta, kuid pole intuiitiivne ega küllastajale kättesaadav.



Joonis 5.3: Kõvaketta kõlar ja kõvaketta aegluubis tööd demonstreeriv eksponaat 2025. aasta muuseumi ööl

6 Kasutajaliides

Üks olulisemaid komponente interaktiivse eksponaadi loomisel on selle kasutajaliides, kuna just sellega puutuvad vahetult muuseumi külastajad kokku. Head kasutajaliidest peaks olema lihtne ja mugav kasutada ning kuna tegemist on füüsilise kasutajaliidesega (mehhaaniliste nuppudega, mitte puutetundliku ekraaniga), peab see olema kulumisele vastupidav ja töökindel ka pärast pikaajalist kasutust.

6.1 Riistvara

Kasutajaliidese füüsilise poole pealt on külastajatel vaja ligi pääseda kolmele märgistatud nupule, mis igaüks käivitab neile vastava eksponaadi, ja disketi draividele, et nendesse sisestada 3,5" ja 5,25" floppy kettad. Lisaks peab olema viimasena mainitud kaks disketi draivi selgelt nähtavad, et nende töö käigus toimuvat liikumist oleks näha. Kõvaketta kõlari hea helikvaliteedi tagamiseks tuleks sellele jätta võimalikult palju lahtist ruumi ketta kohale (mitte paigutada klaasi taha või kaja tekitavate seintega riiulisse). Viimaks on vaja ühte varjatud nuppu toiteploki sisse-välja lülitamiseks, et seda külastajad kogemata ei vajutaks, aga et eksponaate oleks siiski võimalik energia säästmiseks välja lülitada.

Oluline nõue muuseumi eksponaatidele on ka nende viisakas välimus, ehk kõik külastajale ebavajalik oleks ära peidetud või varjatud. See tähendab, et varjatud peaks olema enamik ühendusjuhtmeid, pistikuid ning arendus- ja trükkplaate. Mitte ainult ei näe seeläbi eksponaadid paremad välja, vaid see tagab ka parema töökindluse ja turvalisuse, kuna kõrvalistel isikutel on keerulisem kogemata või meelega juhtmeid pistikutest välja tõmmata ja seeläbi eksponaatide tööd takistada või katki teha. Selle jaoks sai disainitud ja 3D-prinditud eksponaatidele ja nuppudega kasutajaliidesele korpused programmiga Autodesk Fusion. Lisaks oli muuseumil üle üks 60x60 mm 12 V ventilaator, mida algselt kasutati toiteploki katsetamiseks, kuid hiljem in-

tegreeriti kasutajaliidese korpusesse, et jahutada sealset elektroonikat. Lõpliku eksponaatide disaini näeb joonisel 6.1 ja lisas 2.



Joonis 6.1: Eksponaatide kasutajaliidese lõpptulemus

6.2 Tarkvara

Kogu kasutajaliidese loogikat juhib Raspberry Pi 3 monoplaatarvuti läbi Pythoni programmeerimiskeeles kirjutatud programmi. See sisaldab endas nupuvajutuste tuvastamist, Arduino mikrokontrolleriga suhtlust, kõvaketta keerlemismootori ja kirjutus-lugemispea kontrolleri juhtimist ning diskettidele vastavate helifailide esitamist. Kogu töö käigus kirjutatud koodi on võimalik näha lisas 1 viidatud repositooriumis.

Lisaks kasutajaliidesele tuli ka diskettidele kirjutada helifailidega samanimelised tekstifailid, mida peaprogramm ArduDOS `dir` käskluse väljundist otsib. Selleks on kaks võimalust, kas kasutada XModem protokolliga käsku `receive` või kirjutades otse kettale käsuga `write`. Algselt kasutati XModem protokolliga läbi minicom terminali liidese, et kirjutada kettale terve helifail. Nagu ka eelnevalt mainitud, osutus see aga liiga ajamahukaks ning sama funktsionaalsuse saavutab see, kui lugeda kettalt üks tekstifail ja leida sellele vastav helifail arvuti säilmälust.

Väikese tekstifaili loomine on ArduDos `write` käsuga lihtsam, kuna ei vaja eelnevat faili loomist ning piisab vaid kolmest käsureast: `write *failinimi*, *faili sisu*` ja tühi rida faili lõpetamiseks. Ülejäänud diskettidele saigi selle meetodiga tekstifailid kirjutatud. Failide loomisel tuleb meeles pidada, et disketid kasutavad MS-DOS 8.3 failinime süsteemi [48], ehk nimes võib olla kuni kaheksa suurt ASCII tähemärki, ilma tühikuta ja ainuke punkt on faililaiendi eraldamiseks, näiteks "TESTFAIL.txt".

Viimaks tuli leida lahendus, kuidas tagada, et eksponaadid hakkaksid iga kord tööle, kui neid juhtiv arvuti vooluvõrku ühendada. Varasemalt oli koodi katsetatud läbi *ssh* (ingl. *Secure Shell*) ühenduse samas kohtvõrgus, kuid tegelikult ükski eksponaat internetiühendust, klaviatuuri sisendit ega visuaalset väljundit ei vaja. See tähendab, et programmi võiks saada käivitada kohe, kui arvuti tööle pannakse, sarnaselt mikrokontrolleritele, mis hakkavad kohe neile kirjutatud koodi jooksumata, kui neid vooluvõrku ühendada. Selleks tuli Raspberry Pi operatsioonisüsteemi konfigureerida nii, et soovitud programm oleks eraldiseisev protsess, mis käivitub koos arvuti käivitamisega. Et seda saavutada, tuli luua arvuti teenusehaldajas uus teenus, mis ütleks, millist faili arvuti käivitamisel jooksumata. Teenuse loomine käib käsuga `sudo nano /etc/systemd/system/muuseumi_eksponaat.service`, mille sisu on kuvatud projekti repositooriumis, lisas 1. Peale seda tuli anda jooksumatavale programmifailile käivitamisõigused, teha operatsioonisüsteemi teenusehaldajale taaskäivitus ning käivitada äsja tekitatud teenus järgnevate käskudega:

```
sudo chmod +x /home/arvutimuuseum/Documents/arvutimuuseum/main.py
sudo systemctl daemon-reexec
sudo systemctl daemon-reload
sudo systemctl enable muuseumi_eksponaat.service
sudo systemctl start muuseumi_eksponaat.service
```

7 Tulemuste järelused ja analüüs

Käesolevas peatükis annab autor oma hinnangulise tagasiside tehtud tööle ning analüüsib selle maksumust ja tuleviku potentsiaale.

7.1 Järelused tulemustest

Käesoleva töö tulemusel valmis Tartu Ülikooli arvutimuuseumile kolm magnetilisi andmekandjaid tutvustavat muuseumieksponaati. Antud eksponaate saab lühiajaliselt käivitada neile spetsiaalselt disainitud kolme nupuga kasutajaliidesest, kus iga märgistatud nupp käivitab sellele vastava eksponaadi.

Diskettide lugemist ja nende draivide liikumist demonstreeriv eksponaat vastas enamjaolt autori ootustele. Eksponaat küll vastab algselt püstitatud nõuetele, ehk diskette saab lugeda ja draivide liikumist on kuulda ja näha, kuid puuduseks on see, et 3,5- ja 5,25-tollist disketi draivi ei saa samaaegselt liigutada. Seda probleemi saaks lahendada, kui kasutada kahte eraldi kontrolleri mõlema draivi liigutamiseks, kuid see pole töö kontekstis just esmatähtis ning piisab ka nende ükshaaval liigutamisest.

Kõvaketta tööd aegluubis demonstreerivat eksponaati ehitades tekkisid algul tõrked, millega ei osatud arvestada, kuid lõpptulemusena valmis siiski töötav muuseumieksponaat. Peamiseks puuduseks eksponaadi puhul jäi kirjutus-lugemispea järsk liikumine. Ideaalis võiks kirjutus-lugemispea liikuda sujuvalt ja vaiksemalt edasi-tagasi mööda oma liikumistrajektoori, kuid selle juhtimisloogika ja tugevate püsिमagnetite tõttu on sujuvaid liigutusi keeruline teostada.

Viimase eksponaadina valmis kõvakettast ehitatud kõlar, mis hakkas samuti ootuspäraselt tööle. Selle eksponaadi peamiseks puuduseks on helitugevuse reguleerimise võimaluse puudumine.

Samuti tuleb esitatavate heliteoste mängimisel arvesse võtta muusikapala ülesehitust, täpselt, millise sagedusega helisid seal esitatakse. Erinevate teoste esitamisel selgus, et äärmuslikult madalad ja kõrged helid läksid kas kaduma või taandusid müraks.

Lisaks osales käesolev töö 2025. aasta muuseumiöö programmis ning arvutiteaduste instituudi tudengiprojektide võistlusel bakalaureuseastme kategoorias. Selle raames valmis nii võistluse kui ka muuseumi püsinäituse jaoks informatiivne plakat, mis tutvustab lühidalt kolme valminud eksponaati ning selle kasutajaliidest. Plakatit on võimalik näha lisas 3 või Tartu Ülikooli arvu-
timuuseumis kohapeal koos töös loodud eksponaatidega. Muuseumiöö küllastajate tagasiside alusel jäädi eksponaatidega rahule. Paljud inimesed polnud varem näinud, kuidas lahtivõetud disketi draivid ja kõvakettad töötavad ega teadnud, et kõvakettast saab ka kõlarit ehitada.

7.2 maksumus

Projekt oli loodud ainulaadse prototüübina, kuid kui kunagi peaks olema vajadus või soov sama süsteemi uuesti ehitada, siis on siin alapeatükis välja toodud selleks kulunud materjalid ning nende maksumus. Kolme eksponaadi ehitamiseks kulunud reaalselt materjali kulu on keeruline tervikuna hinnastada, kuna enamik komponente oli muuseumil juba olemas, mida autor sai selle töö raames tasuta kasutada. Küll aga saab hinnata projekti maksumust komponentide odavaimate orienteeruvate jaemüügi hindade järgi (2025. aasta esimese kvartali hindade järgi Eestist või Euroopast tellides), mis on kuvatud tabelis 7.1. Jaemüügi hinna puudumisel on kasutatud parasjagu järelturu portaalidest leitud odavaimat hinda, näiteks vanade disketi draivide puhul, mida enam ei toodeta. Tabelis toodud hinnad on umbkaudsed ning olenevalt ostmise ajast, edasimüüjast ja ajutistest hinnaalandustest võivad tegelikud hinnad kohati erineda.

Tabel 7.1: Muuseumi eksponaatidele kulunud riistvara umbkaudne maksumus

Komponent	tüüp	hind (€)	lisamärkus
Raspberry Pi 3	juhtarvuti	60	asendatav mõne uuema versiooni vastu
Arduino Uno	mikrokontroller	30	asendatav mõne muu Arduino mikrokontrolleriga
LM386	helivõimendi	1,5	asendatav mõne muu helivõimendiga
L298N	mootori draiver	8	asendatav mõne muu kontrolleriga
OKY3502	voolu konverter	5	asendatav mõne muu konverteriga
PM15B3	alalisvoolumootor	1	tasub võimsam mootor otsida
Toiteplokk	toiteplokk	5	vajab Molex-4 ja Berg pistikute ühilduvust
5,25" floppy draiv	andmekandja	5	
3,5" floppy draiv	andmekandja	5	
3,5" PATA HDD	andmekandja	10	x2, võivad ka olla teiste kujuteguritega või SATA kõvakettad
fikseeruvad nupud	mehaanika komponent	1	x3, võivad ka olla mittefikseeruvad, aga siis tuleb koodi ümber konfigureerida
maketeerimislaud	mehaanika komponent	5	
maketeerimislaua juhtmed	mehaanika komponent	3,5	x3, erinevat tüüpi (M-M, F-M, F-F)
ventilaator	mehaanika komponent	10	12 V või 5 V, mõõtmetega 60x60 mm
3D printeri filament	mehaanika komponent	5	kokku kulus umbes 300g filamenti
Kokku	summa	174	

7.3 Edasised arenguvõimalused

Käesoleva töö raames valmisid küll kolm eksponaati ühise kasutajaliidesega, kuid igal eksponaadil esinesid teatud puudused, mida ajavaeguse tõttu ei jõutud lahendada. Peale puuduste lahendamise saaks veel mõningaid eksponaatide omadusi paremaks muuta, mis pole otseselt kriitilised, aga tõstaks eksponaatide eluiga ja kvaliteeti. Näiteks maketeerimislaua asemel disainida ja joota ainult vajaminevate komponentidega minimalistlik trükkplaat. Samuti oleks saanud õppeprotsessi eesmärgil luua ise alalisvoolumootorite jaoks MOSFET'idest H-silla kontrollerid või kõvaketta kõlari jaoks operatsioonivõimenditega helivõimendi.

Tartu Ülikooli arvutimuuseumis on veel palju vana elektroonikat, mis vajab hooldamist või taastamist ning millest saaks teha veel interaktiivseid eksponaate, et muuta muuseumi külastajakogemust paremaks. Algselt muuseumi eestvedajatega arutades tekkis mitmeid mõtteid, mida saaks muuseumis paremaks teha ning magnetiliste andmekandjate eksponaadi uuendamine oli vaid üks mitmest ideest. Veel pakkusid muuseumi eestvedajad Alo Peets ja Tarmo Oja näiteks potentsiaalsete lõputöö teemadena välja vanade SUN terminalide või Apple II "ellu äratamise".

8 Kokkuvõte

Vaatamata üksikutele puudustele, sai püstitatud eesmärk siiski täidetud ning töö tulemusena valmis Tartu Ülikooli arvutimuuseumile kolm magnetilisi andmekandjaid tutvustavat interaktiivset eksponaati, milleks olid disketti tööpõhimõtte demonstreerimine, kõvaketta töö visualiseerimine ning kõvaketta kasutamine heliallikana. Eksponaatide interaktiivsus kajastub selles, et nende ühisel kasutajaliidesel on kolm nuppu, mille kaudu külastajad saavad eksponaate lühiajaliselt ja eraldiseisvalt käivitada. Lisaks on külastajatel võimalik sisestada erinevaid diskette nende lugejatesse, et muuta kõvaketta kõlari eksponaadi poolt mängitavat heli.

Töö loomisel kasutati Raspberry Pi monoplaatarvutit, millel jookseb kogu eksponaate juhtiv peaprogramm. Programm suhtleb üle UART-ühenduse Arduino Uno mikrokontrolleriga, mis omakorda töötab disketi kontrollerina, võimaldades neilt andmeid lugeda ja neile kirjutada. Lisaks juhitakse Raspberry Pi sisend-väljundviikude kaudu alalisvoolumootori kontrollerit, mis liigutab kõvaketta kirjutus-lugemispead ning selle kettaid ringi ajavat mootorit. Peale selle on lisamoodulitena kasutusel alalisvoolu konverter, et teha 12 voldist mootori draiverile sobiv seitsme voldine toitepinge, ning monohelivõimendi kõvaketta kõlari jaoks.

Eksponaatide loomisel sai autor end proovile panna mitmete oskustega, mis ta arvutitehnika õppekava jooksul omandanud oli. Näiteks programmeerimine Pythoni ja C++ keeltes, elektroonikaskeemide joonestamine ning kokku panemine, elektroonikakomponentide jootmine, 3D-modelleerimine ja -printimine, mehaanika- ja elektroonikatööriistade käsitlemine, digitaalse- ja analooghelisignaali töötlus ning veel mitmeid pisioskusi. Õppekava väliselt sai töö raames veel tegeleda vanavara tundma õppimisega ning magnetiliste andmekandjate ajaloo.

Peale muuseumi püsinäituse eksponaadi valmis ka muuseumiöö ja tudengiprojektide võistluse raames plakat, mis täiendab füüsilist eksponaati vajaminevate juhiste ja informatiivse tekstiga.

Tänuavaldused

Tänan hea juhendamise, konstruktiivse tagasiside, järjepideva toetuse ja vastutuleikkuse eest töö juhendajaid Alo Peetsi ja Tarmo Oja.

Tänan ka Renno Raudmäed, kes vabatahtlikult aitas kõvaketta pinnale sektoreid illustreeriva kujutise graveerimisega.

A handwritten signature consisting of the letters 'A' and 'R' in a cursive, flowing script.

Viited

- [1] TÜ arvutimuseum. Külastatud: 4. november 2023. [Online]. Available: <https://arvutimuseum.ut.ee/>
- [2] ETIS. Külastatud: 28. oktoober 2023. [Online]. Available: <https://www.etis.ee/Portal/Classifiers/Index/26?>
- [3] R. P. Ltd. Buy a Raspberry Pi 3 Model B. Külastatud: 28. märts 2025. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- [4] UNO R3 | Arduino Documentation. Külastatud: 28. märts 2025. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>
- [5] ÕIS II - Arvutustehnika arengulugu (LTAT.06.023). Külastatud: 5. november 2023. [Online]. Available: <https://ois2.ut.ee/#/courses/LTAT.06.023/version/42282218-e200-d434-de09-2799aabfe5a6/details>
- [6] Valdemar Poulsen | Lemelson. Külastatud: 18. märts 2025. [Online]. Available: <https://lemelson.mit.edu/resources/valdemar-poulsen>
- [7] Valdemar Poulsen | Inventor, Magnetic Recording, Telegraphone | Britannica. Külastatud: 28. märts 2025. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/biography/Valdemar-Poulsen>
- [8] F. Pfleumer. (2025) Magnetlint salvesti. Külastatud: 27. märts 2025. [Online]. Available: <https://www.computerhistory.org/storageengine/audio-recorder-uses-low-cost-magnetic-tape/>
- [9] Basf/aeg esimene kaubanduslik magnetlint. Külastatud: 28. märts 2025. [Online]. Available: <https://www.basf.com/basf/www/global/en/who-we-are/history/chronology/1925-1944/1934>

- [10] Gustav Tauschek – Computer Timeline. Külastatud: 27. märts 2025. [Online]. Available: <http://www.computer-timeline.com/timeline/gustav-tauschek/>
- [11] Nõo arvuti. Eesti kõige tähtsam arvuti. Külastatud: 1. mai 2025. [Online]. Available: <https://kompas.harno.ee/tiigrihupe/ural-1960-1970-aastad/>
- [12] P. Uba, M. Leman, A. Jaeger, T. Roosmaa, and M. Roosi, Eds., *Pool sajandit arvutit Tartu Ülikoolis =: Half a century of computers in the University of Tartu*. Tartu: Tartu Ülikool, 2009.
- [13] Esimene lugemis-kirjutuspeaga magentiline kõvaketas: Ibm RAMAC 350 - CHM Revolution. Külastatud: 28. märts 2025. [Online]. Available: <https://www.computerhistory.org/revolution/memory-storage/8/233>
- [14] (2011, Dec.) Ibm ramac 350. Külastatud: 28. märts 2025. [Online]. Available: <https://proftomcrick.com/2011/12/26/in-1956-5mb-was-big-enough-for-anyone/>
- [15] Keskmise kõvaketta otsinguaeg. Külastatud: 28. märts 2025. [Online]. Available: <https://datarecovery.com/rd/hard-drive-seek-time/>
- [16] Keskmise kõvaketta mahutavus. Külastatud: 28. märts 2025. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/795748/worldwide-seagate-average-hard-disk-drive-capacity/>
- [17] Keskmise kõvaketta massiuuring. Külastatud: 28. märts 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/The-average-mass-g-of-HDDs-components_tbl1_320880010
- [18] B. Bhushan, “Historical evolution of magnetic data storage devices and related conferences,” *Microsystem Technologies*, vol. 24, no. 11, pp. 4423–4436, Nov. 2018, külastatud: 25. aprill 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s00542-018-4133-6>
- [19] C. Mellor. (2024, Dec.) The case for high-cap SSDs overtaking HDDs as datacenter standard. Külastatud: 6. mai 2025. [Online]. Available: <https://blocksandfiles.com/2024/12/20/the-future-of-the-hdd-is-the-ssd/>
- [20] Greaseweazle ostulingid ja dokumentatsioon. Külastatud: 31. märts 2025. [Online]. Available: <https://github.com/keirf/greaseweazle/wiki/Purchase-a-Greaseweazle>

- [21] Fluxengine kontrolleri monteerimisjuhend. Külastatud: 31. märts 2025. [Online]. Available: <http://cowlark.com/fluxengine/doc/building.html>
- [22] Kryoflux veebipood. Külastatud: 31. märts 2025. [Online]. Available: <https://webstore.kryoflux.com/catalog/index.php?cPath=1>
- [23] Kryoflux tehnilised andmed. Külastatud: 31. märts 2025. [Online]. Available: https://kryoflux.com/?page=kf_features
- [24] CBMSTUFF SuperCard Pro. Külastatud: 3. aprill 2025. [Online]. Available: https://www.cbmstuff.com/index.php?route=product/product&product_id=52
- [25] D. Hansel. (2025, Apr.) Arduino floppy drive controller library dhansel/ArduinoFDC. Külastatud: 14. aprill 2025. [Online]. Available: <https://github.com/dhansel/ArduinoFDC>
- [26] L. Talboom, T. Thorsted, E. Kata, and C. Knowles, "A Guide to Imaging Obscure Floppy Disk Formats," Sep. 2024, publisher: Zenodo, Külastatud: 18. aprill 2025. [Online]. Available: <https://zenodo.org/records/13828372>
- [27] Floppy Diskdrive pinout and wiring @ old.pinouts.ru. Külastatud: 22. aprill 2025. [Online]. Available: https://old.pinouts.ru/HD/InternalDisk_pinout.shtml
- [28] P-ATA / IDE interface and cable pinout signals @ PinoutGuide.com. Külastatud: 22. aprill 2025. [Online]. Available: https://pinoutguide.com/HD/AtaInternal_pinout.shtml
- [29] (2025, Feb.) MS-DOS | Definition, Features, Importance, & Facts | Britannica. Külastatud: 23. aprill 2025. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/MS-DOS>
- [30] (2025, May) TeraTermProject/teraterm. Külastatud: 5. mai 2025. [Online]. Available: <https://github.com/TeraTermProject/teraterm>
- [31] (2025, Apr.) Minicom / minicom · GitLab. Külastatud: 5. mai 2025. [Online]. Available: <https://salsa.debian.org/minicom-team/minicom>
- [32] R. Sheldon. (2020, Feb.) Storage 101: Understanding the Hard-Disk Drive. Külastatud: 14. aprill 2025. [Online]. Available: <https://www.red-gate.com/simple-talk/databases/sql-server/database-administration-sql-server/storage-101-understanding-the-hard-disk-drive/>

- [33] 6 Pieces Micro Dc Motor High Speed 1 5v Dc | Desertcart Angola. Külastatud: 5. mai 2025. [Online]. Available: <https://angola.desertcart.com/products/53927972-6-pieces-micro-dc-motor-high-speed-1-5-v-dc-20-200-m-a-1-mm-shaft-pm-15-b-3-40715->
- [34] Raspberry Pi hardware - Raspberry Pi Documentation. Külastatud: 6. mai 2025. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html>
- [35] Mootori draiver L298N baasil - Oomipood. Külastatud: 13. mai 2025. [Online]. Available: https://www.oomipood.ee/product/oky3195_mootori_draiver_l298n_baasil
- [36] Toitemoodul DC/DC step-down 3.2...35V/1.25...35V 15W LM2596S - Oomipood. Külastatud: 13. mai 2025. [Online]. Available: https://www.oomipood.ee/product/oky3502_toitemoodul_dc_dc_step_down_3_2_40v_1_25_35v_15w_lm2596s
- [37] (2025, Apr.) inglise keelne kõlari definitsioon. Külastatud: 4. aprill 2025. [Online]. Available: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/speaker>
- [38] B. Owsinski. (2019, Dec.) Zeusaphone - muusikaline tesla trafo. Külastatud: 4. aprill 2025. [Online]. Available: <https://bobbyowsinskiblog.com/zeusaphone-tesla-coil/>
- [39] Mono vs. Stereo Sound: What's the Difference? | Sonos Blog. Külastatud: 25. aprill 2025. [Online]. Available: <https://www.sonos.com/en-us/blog/mono-vs-stereo-sound>
- [40] (2024, Jul.) dB Gain Calculator. Külastatud: 25. aprill 2025. [Online]. Available: <https://www.omnicalculator.com/physics/db-gain>
- [41] T. Instruments, "Lm386 low voltage audio power amplifier," külastatud: 25. aprill 2025. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm386.pdf>
- [42] D. Incorporated, "Pam8403 filterless 3w class-d stereo audio amplifier," külastatud: 25. aprill 2025. [Online]. Available: <https://www.mouser.com/datasheet/2/115/PAM8403-247318.pdf>
- [43] STMicroelectronics, "Tda2030 14 w hi-fi audio amplifier," külastatud: 25. aprill 2025. [Online]. Available: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/tda2030.pdf>
- [44] T. Instruments, "Opax134 high-performance, soundplus™ audio operational amplifier," külastatud: 25. aprill 2025. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa2134.pdf>

- [45] coolyyz154. Simple Way to Convert Stereo to Mono. Külastatud: 2. mai 2025. [Online]. Available: <https://www.instructables.com/Simple-Way-to-Convert-Stereo-to-Mono/>
- [46] Afrotechmods. (2015) Kõvaketta kõlari ehitamise õpetusvideo. Külastatud: 28. aprill 2025. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=rVPjQou42i8>
- [47] 3.5 Inch Diskette: Everything You Need to Know About 3.5 Inch Diskette | Lenovo UK. Külastatud: 5. mai 2025. [Online]. Available: <https://www.lenovo.com/gb/en/glossary/35-inch-diskette/>
- [48] [MS-FSCC]: 8.3 Filename. Külastatud: 6. mai 2025. [Online]. Available: https://learn.microsoft.com/en-us/openspecs/windows_protocols/ms-fscc/18e63b13-ba43-4f5f-a5b7-11e871b71f14

Lisad

Lisa 1: Repositooriumi viide

Töö jaoks kirjutatud kood on kättesaadavad GitHub'i repositooriumist: <https://github.com/A-Reitalu/arvutimuuseum>

Lisa 2: Pilt lõplikust eksponaadist ja kasutajaliidesest



Joonis 7: Lõpptulemus koos kasutajaliidesega 2025. aasta muuseumiööl

Lisa 3: Tudengiprojektide võistluse jaoks tehtud plakat

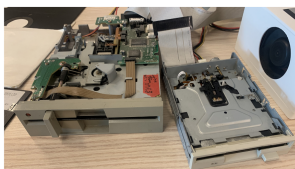
Tartu Ülikooli arvutimuuseumi magnetiliste andmekandjate interaktiivsed eksponaadid

University of Tartu computer museum interactive exhibits

1 Floppy ketaste töö visualiseerimine Visualisation of floppy disk working principles

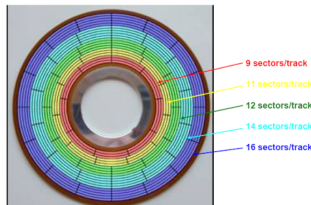
Kas sa oled kunagi vanade floppy draivide sisse vaadanud või tahtnud näha, kuidas need töötavad? Veendu, et kummaski lugejas on floppy sees ja vajuta punast nuppu, et teada saada!

Have you ever looked inside old floppy drives or wanted to see how they work? Make sure that both drives have a floppy disk inside them and press the red button to find out!



Meile tuntud 3,5" disketid, ehk floppy kettad, on ainult kõige uuem floppy standard. Kas teadsid, et enne neid oli veel 5,25" ja 8" disketid? Kõige esimene floppy suutis hoida ainult 80 kB andmeid, mis on umbes 30x vähem, kui täna üks keskmine telefoniga tehtud foto!

The 3,5" diskette, aka floppy disk is only the newest floppy standard out of the bunch. Did you know that before that there were 5,25" and 8" diskettes? The very first floppy could hold only 80 kB of data, which is 30x less than an average photo made with a modern smart phone!



Kõvaketta pind on jaotatud radadeks ja sektoriteks. üks rada teeb kettale terve ringi peale, üks sektor on väike lõik ühest rajast. Kuna välimistel ringidel on rajad palju pikemad, on need jaotatud ka rohkemateks sektoriteks, nagu üllemisel pildil näha. Just nendesse sektoritesse ongi magnetvoona andmed salvestatud!

The surface of a hard disk drive is divided into tracks and sectors. One track goes around the entire disk and one sector is a small section of a track. Because the outer tracks are much longer, they are also divided into more sectors, like in the picture above. These sectors are precisely where the data is stored as a magnetic field!



Kõlar võib olla sisuliselt ükskõik milline elektrooniliselt juhitud seade, mis suudab inimesele kuuldavas sagedusvahemikus vibreerida piisava helitugevusega. Sealhulgas ka kõvaketta kirjutuslugemispea!

A speaker can be essentially any electronically controllable device that can vibrate loud enough in a suitable frequency range for the human ear. That includes the read-write head of a hard disk drive!

2 Kõvaketta liikumine ja sektorid HDD movement and its sectors

Kas oled kunagi teada tahtnud, mis on tegelikult kõvaketta sees ning kuidas see liigub ja töötab? Vajuta rohelist nuppu ja saa teada!

Have you ever wondered, what is actually inside hard disk drives and how do they move and work? Click the green button and find out!



TARTU ÜLIKOOL

tehnoloogiainstituut



TARTU ÜLIKOOL

arvutiteaduse instituut

- Autor: Artur Reitalu
- Eriala: Arvutitehnika
- Õppeaste: Bakalaureus
- Instituut: Tehnoloogiainstituut
- Juhendajad: Alo Peets ja Tarmo Oja
- Projekti repositoorium QR koodil:



Joonis 8: Tudengiprojektide võistluse ja muuseumi püsinäituse jaoks loodud plakat

Lisa 4: Eksponaatide videote kaust

Eksponaatidest tehtud videod on kättesaadavad Google Drive kaustas: <https://drive.google.com/drive/folders/11NeuuYttTv-cSSyfvEZZuQWDrYSLdr08?usp=sharing>

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Artur Reitalu

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

"Tartu Ülikooli arvutimuuseumi interaktiivsete eksponaatide loomine"

mille juhendajad on Alo Peets ja Tarmo Oja

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Artur Reitalu

20.05.2025