Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Tehnoloogiainstituut

Joel Jaemaa

E-paberil korduvkasutatava #(hashtag) sildi loomine

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Arvutitehnika eriala

Juhendajad:

professor Alvo Aabloo

MA Mariana Kukk

Tartu 2024

Resümee/Abstract

E-paberil korduvkasutatava #(hashtag) sildi loomine

Tartu Ülikooli majandusteaduskonna ja tehnoloogiainstituudi turundusmeeskonnad kasutavad sündmustel ja turundusfotodel plastikust *hashtag* (teemaviide, märgisega '#') silte, mille teksti ei saa muuta ning mis muutuvad jäätmeteks, kui teemaviide pole enam aktuaalne ja silti jääb kasutuseta.

Käesoleva bakalaureuse lõputöö eesmärgiks oli luua täielikult toimiv prototüüp e-paber ekraanidega korduvkasutatavast, ümberseadistatavast teemaviite sildist, mille teksti saaks muuta ning mis oleks oma olemuselt sarnane praegu kastutatavate lihtsa disainiga siltidega. Lisaks leida, kui mitu plastikust silti peaks elektrooniline silt asendama, et süsiniku jalajälg tasa teenida.

CERCS: T170 elektroonika, T111 pilditehnika, T120 süsteemitehnoloogia, T460 Puidu-, tselluloosi- ja paberitehnoloogia

Märksõnad: e-paber, e-tint, *hashtag*, teemaviide, silt, korduvkasutatav

Creation of e-paper based reusable #(hashtag) signage

University of Tartu's School of Economics and business Administration's and Institute of Technology's marketing teams uses plastic hashtag (#) signs for events and marketing photos. These plastic signs have a fixed text and turn into waste once the hashtag is no longer relevant and the sign is not used anymore.

The aim of this bachelor's thesis was to create a fully working and usable prototype for a reusable, reconfigurable e-paper hashtag sign where the text can be changed but the design would be simple and reminiscent of the original hashtag signs and also to find how many plastic signs should the electronic sign replace to make up for its carbon footprint.

CERCS: T170 Electronics, T111 Imaging, image processing T120 Systems engineering, computer technology, T460 Wood, pulp and paper technology

Keywords: e-paper, e-ink, hashtag, signage, reusable

Sisukord

Resümee/Abstract 2

E-paberil korduvkasutatava #(hashtag) sildi loomine 2

Creation of e-paper based reusable #(hashtag) signage 2

Jooniste loetelu 5

Lühendid, konstandid, mõisted 6

1. Sissejuhatus 7

1.1. Ülevaade turunduses ning sotsiaalmeedias kasutatavatest vahenditest 7

1.2. Sotsiaalmeedia ja rohepööre, sellega kaasnevad positiivsed ja negatiivsed aspektid 8

1.3. Teemaviited ning nende tähtsus turunduses ja sotsiaalmeedias 9

1.4. Teemaviidete sildid Tartu Ülikoolis 10

2. Ülevaade probleemist 12

3. Töö eesmärk ja nõuded 12

3.1. Töö eesmärk 12

3.2. Nõuded valmivale tootele 13

4. E-paber elektroonilise sildina 13

4.1. Sildid läbi ajaloo 13

4.2. Mis on e-paber? 15

4.3. E-paberi ajalugu 16

4.4. E-paber kui tehnoloogia, erinevused ja eelised teiste ekraanitehnoloogiate ees 17

4.5. Näiteid e-paberi kasutusest 19

4.6. E-paber kui uus *#hashtag* silt 22

5. Loodud lahendus 22

5.1. Kontseptsioon 22

5.2. Süsteemi üldine disain 22

5.3. Elektroonika 23

5.3.1. Emaplaat 23

5.3.2. Ekraanide juhtelektroonika plaadid 26
5.3.3. Ekraanid 28
5.3.4. Kaabeldus ja ühendused 28
5.3.5. Aku 30
5.3.6. Lisaplaat 30
5.4. Mehaanika 32
5.4.1. Korpus 32
5.4.2. Metallosad 33
5.5. Tarkvara 34
5.5.1. Ekraanipoolne tarkvara 34
5.5.2. Arvutipoolne tarkvara 35
5.6. Remonditavus ja jätkusuutlikus 36
5.7. Sildi kasutamine 37
5.8. Tagasiside üritustelt ja turundajatelt 37
5.9. Võimalikud edasiarendused 41
5.10. Siltide süsiniku jalajälg 42
5.10.1. Elektroonilise sildi jalajälg 42
5.10.2. Plastikust sildi jalajälg 43
5.10.3. Jalajälgede võrdlus 44
Kokkuvõte 46
Lisad 47
Lisa 1 - GitHubi link 47
Lisa 2 - Komponentide ja materjalide loetelu 47
Lisa 3 – Kaablite värvikoodi tabel 48
Lisa 4 – inglisekeelne kasutusjuhend 48
Tänuavaldused 50
Viited 51
Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks 56

Jooniste loetelu

Joonis 1 teemaviite sildid Tartu Ülikoolis. Allikas: TÜ Majandusteaduskonna Facebooki leht 12
Joonis 2 Loosung fosforiidisõjast. Allikas: ajakiri Eesti Loodus 14
Joonis 3 e-paber ekraani paneel. Allikas: Waveshare Electronics 16
Joonis 4 e-luger e-tint ekraaniga 19
Joonis 5 e-paber hinnasilt Lidli poes 20
Joonis 6 e-paber ekraaniga silt Tartu Ülikoolis Delta majas 21
Joonis 7 elektroonika plokkskeem 23
Joonis 8 emaplaat 25
Joonis 9 emaplaadi peaskeem 25
Joonis 10 emaplaadi skeemi ekraanide toitelülituse alammoodul 26
Joonis 11 ekraani ühendusplaadid 4tk 27
Joonis 12 ekraani juhtmooduli skeem 27
Joonis 13 Waveshare 7.5" V2 e-paber ekraanimoodul. Allikas: Waveshare 28
Joonis 14 ühenduskaabel ühe äärmise ekraani ja keskosa vahel 30
Joonis 15 lisaplaat, jootmata ja komponentideta 31
Joonis 16 lisaplaadi skeem 31
Joonis 17 Korpuse 3D mudel 33
Joonis 18 projektis kasutatud metallosad 34
Joonis 19 arvutipoolne kasutajaliides 36
Joonis 20 sildi prototüüp TÜ avatud uste päeval 29.02.2024 38
Joonis 21 Tartu Ülikooli õpilased AHHAA keskuses 39
Joonis 22 Tervisemuuseumi esindajad AHHAAs silti kasutamas 39
Joonis 23 TikTokis tuntud suunamudija ja muusik Krispoiss sildiga AHHAA keskuses 40
Joonis 24 silt Eesti Lennuakadeemia karjääripäeval 41
Joonis 25 tabel sildi süsinikujalajälje arvutustest 43
Joonis 26 silt kirjaga "#suunanäitaja" 44

Lühendid, konstandid, mõisted

SEO - *Search Engine Optimization* - otsingumootori tulemuste optimeerimine

CMS – *Content Management System* – sisuhaldussüsteem, tarkvara meedia haldamiseks

LCD – *Liquid Crystal Display* - vedelkristallekraan

USB – *Universal Serial Bus* – universaalne jadaliides

UART – *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* – universaalne asünkroonne vastuvõtja-saatja

SPI – *Serial Peripheral Interface* – sünkroonse jadaühenduse liides

V – Volt – pinge ühik elektroonikas

A – Amper – voolutugevuse ühik elektroonikas

GPIO – *General Purpose Inputs/Outputs* – üldkasutatavad sisendi-väljundi viigud

LED – *Light Emitting Diode* – valgusdiood

3D – kolmemõõtmeline

COM – *communication (port)* – kommunikatsioon, kommunikatsiooni liides

1. Sissejuhatus

1.1. Ülevaade turunduses ning sotsiaalmeedias kasutatavatest vahenditest

Sotsiaalmeedia on tänapäeval lahutamatu osa inimeste elust. Igapäevaselt kasutab sotsiaalmeediat üle poole kogu maailma elanikkonnast, täpsemalt 62.3% seisuga jaanuar, 2024. Keskmiselt veedab kasutaja päevas erinevate sotsiaalmeedia platvormide peale kokku 2 tundi ja 23 minutit. [1] Kuna suur osa rahvastikust on aktiivsed kasutajad, on internetis ja sotsiaalmeedias reklaamimine aina tõhusam meetod jõuda oma toote või teenusega suurema hulga inimesteni ning tänu sellele on ka suurem võimalus viia pakutav kaup kokku potentsiaalse kliendiga. Turundusspetsialist Neal Schaffer ütleb järgmist: "90% turundajate sõnul on sotsiaalmeedia väga tähtis nende klientidele ja nende äridele. Üle 91% turundajatest ajavad äri ka sotsiaalmeedia kaudu. 75% turundajatest väidavad, et sotsiaalmeedia on suurendanud liiklust nende veebilehtedel ning peaaegu 90% ütlevad, et see on aidanud nende äril jõuda rohkemate klientideni. Lihtsam publiku leidmine brändidele on peamine eelis sotsiaalmeedias reklaamimisel. Turundajatest, kes on kasutanud sotsiaalmeediat reklaamimiseks kaks või rohkem aastat, on 50% märkanud suuremaid müüginumbreid." [2]

Kuid kuidas paista silma tihedas infovoos ning olla kindel, et vajalik teave jõuab soovitud sihtgrupini? Turundusplatvormi Ranktracker kaasasutaja Felix Rose-Collinsi sõnul aitavad brändidel ja firmadel sotsiaalmeedias reklaamimisel ja võimalike klientide tähelepanu tõmbamisel edu saavutada hea SEO, väga sihipärased turundustegevused, oma veebilehe liikluse suurendamine, andmeanalüütika, brändi kujundi loomine, e-kaubanduse brändi humaniseerimine, sotsiaalne kaubandus, klientide kaasamine ja tooteteadlikkuse loomine. Rose-Collins soovitab veel kasutada sotsiaalmeediat klienditoeks, teha koostööd *influencer*itega, kasutada oma turunduses kasutajate ja klientide loodud sisu ja rakendada nutikaid sotsiaalmeedia haldamise vahendeid mis hõlbustavad kogu protsessi. [3]

Klientidel on brändide ja firmadega sotsiaalmeedias suhtlemiseks mitmeid võimalusi. Põhilised neist on järgnevad [4]:

- ***Likes* ehk meeldimised** - suurem osa sotsiaalmeedia platvorme kasutavad mingit süsteemi, millega kasutaja saab sisu meeldivaks märkida. Rohkem meeldivaks märkimisi tähendab, et platvormidel kasutatavad algoritmid näitavad antud sisu tõenäolisemalt aina suuremale publikule.

- **Jälgimised -** Jälgimisega saab kasutaja öelda platvormile, et ta soovib ka edaspidi postitaja postitusi ja sisu näha.
- **Kommentaarid** - Jättes kommentaari saab kasutaja anda kohest tagasisidet, jagada muljeid ning küsida täpsustavaid küsimusi.
- **Sõnumid** - Sõnumitega saab kasutaja kiiresti ja otse suhelda brändi esindajaga, mis aitab tagada kiirema klienditoe ning isiklikuma kogemuse.
- **Arvustused -** Arvustusi ning soovitusi saavad jätta kõik, kel on kokkupuude toote või teenusega ning need on üldiselt kõigile nähtavad.
- ***Tag*'id ehk märkimised -** märkimisega saavad kasutajad viidata oma sõpru, tuttavaid või teisi brände, et pöörata nende tähelepanu kellelgi teise postitusele või sisule.
- **Jagamised** - Jagades kellegi teise sisu või postitust jõuab see tõenäolisemalt ka jagaja sõprade ja jälgijate silme ette mis suurendab omakorda algse sisu postitaja nähtavust.

*Tag*i üks alamliik on veel *hashtag* ehk teemaviide (edaspidi teemaviide) . Kui tavalist märget kasutatakse pigem teise kasutaja või konto märkimiseks sümboliga "@", siis teemaviidet kasutatakse märksõna või teema tähistamiseks ja seda märgiga "#".

1.2. Sotsiaalmeedia ja rohepööre, sellega kaasnevad positiivsed ja negatiivsed aspektid

Reklaamimaailm ja turundus pole ainsad, kes on saanud kasu sotsiaalmeedia kiirest ja laialdasest info levitamise võimekusest. Mida aeg edasi läheb, seda reaalsemaks hakkab saama tõsiasi, et planeet Maad on ainult üks ning seda tuleb hoida, kui soovime siin veel pikemat aega elus püsida. Teadlikkus keskkonnaprobleemidest ning roheline mõtteviis aitavad meil arvestada planeedi heaoluga ning mõelda oma käitumis- ja tarbimisharjumustele ka vaatepunktist, et mis on jätkusuutlik ja säästlik, mitte ainult mugav. Juba aastakümneid on tehtud erinevaid kampaaniaid ning üleskutseid panna inimesi mõtlema rohelisemalt, kuid tihti on raske oma sõnumiga jõuda suurema publikuni, saada tagasisidet ning kuulda ka indiviidide hääli, kes soovivad teemal kaasa rääkida ja oma arvamusi, ideid ja kogemusi jagada.

Tänu sotsiaalmeediale on selleteemalised sõnumid ja teave jõudnud laiema publikuni.

"Oxfordi Ülikooli uuring leidis, et iga tuhande säutsu või meeldimise kohta keskkonnateemalisel postitusel nähti keskmiselt 0.14% kasvu keskkonnasõbraliku käitumise osas jälgijate seas" [5]. Kuigi see protsent ei kõla suurelt, on see siiski 1000 inimese kohta 1,4 inimest, 10 000 inimese kohta 14 inimest, 100 000 inimese kohta 140 inimest. Mida rohkem

on postitajaid ja reageerijaid, seda kaugemale sõnum jõuab. Hea näide sellest on mõned aastad tagasi Facebookis, Twitteris ja Instagramis levinud märksõna *#trashtag*, sõnamäng sõnast *hashtag*, mis jõudis ainuüksi Twitteris nädalas umbes 800 000 inimeseni ning inspireeris tuhandeid kasutajaid võtma kätte prügikotid, et minna oma kodukandis loodusest ning avalikest kohtadest prügi ära korjama. [6] See on vaid üks näide tuhandetest märksõnadest, üleskutsetest, kampaaniatest ja soovitustest, mis on jõudnud miljonite silmade ette ning esile toonud positiivse muutuse.

Kahjuks pole sotsiaalvõrgustikes leviv alati keskkonnale positiivse mõjuga. Viimaste aastakümnetega on aina rohkem hakanud levima nii-öelda mikrotrendid ja kiirmood. Mikrotrendid on trendid, mis ei kesta mitte aastaid ega aastakümneid, vaid üldiselt alla aasta, tihti ka vaid loetud nädalad. Eriti kiiresti levivad need platvormidel nagu TikTok, kus kasutajate jaoks on tähtis kogu aega uusima moe ja trendidega kaasas käia. See tähendab, et tarbijad ostavad suures koguses kaupa, mis on võrdlemisi lühikese aja pärast moest väljas ja ebapopulaarne. Kiire huvide muutumine tähendab, et tootjad ja brändid üritavad nõudlusega igal võimalusel sammu pidada ning suurte koguste, kiire tarne ja odava hinna nimel jäävad toodete kvaliteet, jätkusuutlikus ning säästlikud ja taaskasutussõbralikud tootmismeetodid tagaplaanile. Selline tarbimis- ja tootmiskäitumine on aga keskkonnale laastava mõjuga. [7]

Selleks, et ära hoida liigse prügi tootmist ning tagada see, et kui toode ühel hetkel paratamatult prügiks muutub oleks see maksimaalselt taaskasutatav, ümbertöödeldav ning keskkonnale võimalikult vähese negatiivse mõjuga hävitatav, tuleks vaadata tootmisviiside poole, mis kasutavad vähem energiat, vähem ohtlike materjale, kasutavad materjale ära võimalikult targalt ning sisaldavad materjale ja komponente mida saaks hiljem uuesti kasutada või lihtsasti ümber töödelda. Samuti võiks olla tooted võimalikult lihtsasti parandatavad ning olla oma hinnaklassis võimalikult kvaliteetsed, et tagada pikem eluiga.

1.3. Teemaviited ning nende tähtsus turunduses ja sotsiaalmeedias

Hashtag ehk teemaviide on sotsiaalmeedias märksõna, mida kasutatakse mingi kindla teema, sündmuse, trendi, toote jne. tähistamiseks postitustes, kommentaarides, vestlustes. Teemaviited said alguse Twitterist aastal 2007, kuid muutusid kiiresti universaalseks nähtuseks, mida kasutatakse peaaegu igal platvormil. [8] Need on äratuntavad "#" sümboli järgi sõna ees, näiteks lõputööteemalise postituse alla võib autor lisada teemaviite "#lõputöö".

Suur osa sotsiaalmeedia platvorme suudab tuvastada teemaviidete kasutust tekstis ning viitele vajutades saab näha ka teiste postitusi ja kommentaare, mis kasutavad sama teemaviidet.

Tänu sellele omadusele on teemaviited leidnud laialdast kasutust turundusvaldkonnas. Mugav on mõelda oma toote, teenuse või sündmuse jaoks välja tabav, nutikas või hästi kirjeldav märksõna, mida saab kasutada samal teemal postituste ja sisu loomisel ning konteksti lisamiseks. Selline teemaviidete kasutamine aitab kiiresti leida teisi postitusi ja arutelu vastava teema kohta.

Näiteid teemaviidete kasutamisest: [8]

- Toode või teenus (näiteks #Pretzels)
- Valdkonna- või kommuunispetsiifilised märgised (näiteks #BookTok)
- Aja- või hooajapõhised (näiteks #UusAasta)
- Asukoht (näiteks #Dublin)
- Lühendid (näiteks #OOTD (*Outfit Of The Day* ehk tänase päeva riietus, millel oli seisuga 07.02.2024 Instagramis 436 miljonit postitust)

Sprout Social sotsiaalmeedia- ja turundusblogi tegi oma järgijate seas avaliku küsitluse, kas nende arvates aitavad teemaviited sisul jõuda rohkemate nägijateni. Kokku vastas küsitlusele 1277 kasutajat, kellest 72% vastas “Jah“.

Kuigi teemaviited on olnud kasutuses juba pikka aega, on nende mõju ja efektiivsust turunduses mõõtvaid konkreetseid uurimusi võrdlemisi vähe. See-eest uuringud, mis on tehtud, viitavad siiski teemaviitade positiivsele mõjule kasutajate tähelepanu haaramisel. Professor Krzysztof Celuch leidis oma uurimuses *„Hashtag usage and user engagement on Instagram: The case of #foodfestivals“*, et toidufestivalide ja toiduteemaliste teemaviitade kasutus mõjus positiivselt tähelepanu kogusele, mida vastavaid viitasid kasutavad postitused ning nendega seotud sündmused said. Celuch järeldas, et populaarsete toiduteemaliste märksõnade kasutamine teemaviitadena võiks aidata turundajatel ja ettevõtetel jõuda oma sisuga suurema publikuni ning pöörata tähelepanu toimuvatele toidusündmustele. [9]

1.4. Teemaviidete sildid Tartu Ülikoolis

Selleks, et saada parem ülevaade teemaviidetest, praegustest siltidest, nende kasutamisest ning tähtsusest Tartu Ülikooli majandusteaduskonna ja tehnoloogiainstituudi turundusmeeskondadele, suhtlesin Tartu Ülikooli turundusspetsialisti Mariana Kukega, kes käesoleva töö käigus valmivat silti esimesena kasutama hakkab.

Tema vastas küsimusele “Mis on *hashtag*?“ järgnevalt: “*Hashtag*, nüüdseks ka Eesti turundusmaastikule imbunud sõna ja turundusmeetod, on eksisteerinud juba 2007. aastast alates, kuid teadlikumalt Twitteri kaudu aastast 2009, mil seda kasutati Iraani valimiste vastastes protestiaktsioonides [10] sotsiaalmeedia kanalite (Twitter) kaudu.“

Tema sõnul on siltide ja teemaviidete mõte see, et teemaviidet nähes, kas pildil või postitusel, aitavad need kohe aru saada mis projekti või teemaga on tegemist: “Kasutan *hashtag*e TÜ tehnoloogiainstituudi erinevates sotsiaalmeediakanalites (näiteks Facebook, Instagram, Linkedin) ning *hashtag*ide abil grupeerime erinevaid postitusi. Näiteks on tehnoloogiainstituudil palju rahvusvahelisi projekte, kus on ka teised ülikoolid ning kasutame näiteks kokkulepitud *hashtag*e, et projektide postitusi oleks lihtne leida sotsiaalmeedias (näiteks #eitmanufacturing).“

“*Hashtag*i siltide (joonis 1) kasutamise idee tuli Delta keskuse turundusjuhil Ott Pärnal, kui Delta keskus sai valmis ning neid hakkas esmalt kasutama majandusteaduskond.“ rääkis Kukk siltide idee tekkest.

Kuke sõnul on praegused sildid toodetud kergest 5 mm paksusest vaht-PVCst.

“Elektrooniline silt kindlasti on uuenduslik ning aitab vähendada kulusid, mis võivad tekkida suure hulga siltide tellimisel.“ Vastas ta küsimusele “ Mida arvad Sina e-paber ekraanist kui teemaviite sildi elektroonilisest alternatiivist?“ Lisaks sai ka uuritud, mis oleks tema põhiline soov elektroonilisele sildile: “Kasutajamugavus, et kõik turundustiimis saaksid antud sildi kasutamisega hakkama.“

Joonis 1 teemaviite sildid Tartu Ülikoolis. Allikas: TÜ Majandusteaduskonna Facebooki leht

2. Ülevaade probleemist

Probleem praeguste teemaviite siltidega on see, et need on plastikust ühekordsed sildid. Kui mingi teemaviide pole enam teemakohane või on seotud mingi projekti või sündmusega, mis on lõppenud, pole nende siltidega enam midagi teha ning need jäävad kas kasutult tolmu koguma või muutuvad jäätmeteks. Uute teemaviidete kasutuselevõtuks on vaja lasta toota uusi silte, mille saatus samuti mingil hetkel küsimärgi alla seatakse. Seetõttu oleks mõtekas praegused mittejätkusuutlikud sildid asendada targemate, elektrooniliste korduvkasutatavate siltidega, mida ei pea asjatult prügikasti viskama ning mis võimaldavad kuvada ükskõik millist teemaviidet, mida kasutaja soovib.

3. Töö eesmärk ja nõuded

3.1. Töö eesmärk

Töö eesmärk on valmistada elektroonilise korduvkasutatava teemaviite sildi täielikult toimiv ja nõuetele vastav prototüüp, mida saaks lihtsasti ümberseadistada näitama erinevaid teemaviiteid ja märksõnu ning mis asendaks lõpuks täielikult praegusel hetkel kasutusel olevad ühekordsed sildid. Samuti on töö eesmärgiks näidata, et pikas perspektiivis on korduvkasutatavate elektrooniliste siltide süsiniku jalajälg väiksem, kui ühekordsete plastiksiltide oma ning leida ka kogused, mille puhul see kehtib.

3.2. Nõuded valmivale tootele

Arutades teemat Tartu Ülikooli turundusspetsialisti Mariana Kukega ja professor Alvo Aablooga said seatud uuele sildile järgnevad nõuded ja ootused:

- Sildil kuvatav tekst peab olema muudetav
- Teksti muutmiseks ja paigutamiseks peab olema vastav tarkvara
- Silt peab olema lihtsasti seadistatav ja kasutatav ka inimesele, kel puudub kokkupuude programmeerimise ja peenelektroonikaga.
- Sildi korpus peab olema ehitatud selliselt, et seda saaks kompaktsemaks kokku voltida
- Ekraanipind ja sildi põhimõte peaks olema sarnane praegustele kasutusel olevatele siltidele – sarnane suurus, käeshoitav silt, must tekst valgel taustal
- Sildil kasutatav ekraan peaks olema inimsilmale loomulik ja mugav lugeda. Samuti peaks ekraan olema kaameratele lihtne pildistada ja filmida
- Sildi välimus peab olema esteetiline turundusfotode jaoks
- Silt ei vaja töötamise ajal lisakaableid ega lisaseadmeid (välja arvatud seadistamise ajal) ning sildi kasutamist ei tohiks oluliselt segada akude eluiga
- Disain peab olema dokumenteeritud, uuesti toodetav ning edasiarendatav. Komponendid peavad olema kas standardsed valmistooted mida saab juurde osta või jooniste olemasolul uuesti toota
- Seade peab olema vigade tekkimisel lihtsasti parandatav. Disain peab olema piisavalt modulaarne, et vea tekkimisel saab vahetada ühe komponendi/osa ning tervet silti või suurt osa sellest ei pea ära viskama

4. E-paber elektroonilise sildina

4.1. Sildid läbi ajaloo

Sildid on olnud osaks inimkonna ajaloost juba aegade algusest. Esimesed “sildid“ on ajaloolaste sõnul pärit juba kiviajast: nendeks olid tol hetkel koopamaalingud, mis rääkisid erinevatest tegevustest nagu jahipidamine, loomad, relvad. Kui koopamaalingud olid pigem jutustavad, siis juba vanas Egiptuses, Kreekas ja Rooma Impeeriumis kasutati silte tähistamaks kohti, teenuseid ja juhiseid. Selleaegsed sildid olid tehtud kivist, puidust, tellistest ja marmorist. Keskajal arenesid sildid edasi logodeks, valgustatud siltideks, ning 18. sajandil pani kuningas Charles II paika ka esimesed siltidega seotud seadused ja reeglid. [15]

Alates 19. sajandist hakkasid firmade laienemisega arenema ka sildid ja tehnoloogia, millega neid huvitavamaks ja pilkupüüdvamaks muuta. 1900. aastal püstitati esimene 24-leheline suur reklaamtahvel, 1910. aastal leiutati Prantsusmaal esimene neoonsilt, mis paigaldati Los Angelesse 1915. aastal, 1900. aastatel said populaarseks USA-s email- ja portselankattega sildid ning samal ajal standardiseeriti ka esimesed maanteede viidad. [11]

Peale teist maailmasõda hakati otsima tehnoloogiaid, millega toota silte kiiremini ja odavamalt. 1958. aastal tuli turule liimitav vinüülkile, mis tegi siltide tootmise oluliselt odavamaks. 1980. aastatel arenes see tehnoloogia edasi tänu digitaalsetele lõikuritele, millega sai vinüüli lõigata ülitäpselt keerulisteks tekstideks ja logodeks, mida oli lihtne kleepida. Tänapäevaks on need tehnoloogiad arenenud veel täpsemaks, kiiremaks, odavamaks ja keerulisemaks. [11]

Läbi ajaloo on olnud populaarsed ka riidest ning paberist sildid. Need said alguse vanast Egiptusest papüürusrullide näol ning arenesid hiljem edasi paber- ja pappsiltideks. [12]. Paberist, papist ja riidest sildid on olnud populaarsed läbi aja, sest neile on lihtne ise teksti peale kirjutada, tänu millele on need kõigi jaoks kättesaadavad. Seepärast on neid kasutatud ka loosungite, üleskutsete (joonis 2) ja reklaamide massiliseks tootmiseks.

Joonis 2 Loosung fosforiidisõjast. Allikas: ajakiri Eesti Loodus

Elektroonilised sildid nägid mitmeid uuendusi 1960. kuni 1980. aastatel. Selles vahemikus tulid turule esimene Hewlett-Packardi poolt välja töötatud LED ekraan (1968), esimene kodukasutajatele mõeldud videokassetisalvestaja Philipsilt (1972), VHS tehnoloogia JVC-lt (1976), Laserdisc nimeline analooog-optiline videoformaat (1978) ja esimene digitaalne videokasseti formaat Sony D-1 (1987). Need tehnoloogiad tegid taasesitatavate reklaamide kuvamise oluliselt lihtsamaks ning tänu neile hakkasid samal ajavahemikul levima ka esimesed videoseinad, interaktiivsed infokioskid, milleks olid tol hetkel pangaautomaadid, ning töötajatele koolitusvideote filmimine. 1990. aastatel alanud digitaalse revolutsiooniga tegi elektrooniliste siltide areng hüppelise kasvu. Digirevolutsioon tõi kaasa paljude tehnoloogiate laialdasema leviku ja kiirendatud arengu, näiteks lameekraan televiisorid, koduarvutid, mobiiltelefonid, internet, DVDd. Samuti hakkasid arenema varajased CMS (*Content Management System*) süsteemid, mis tegid videote mängimise eriti lihtsaks. 2000. aastatel hakkasid kujunema välja elektroonilised sildid sellisena, nagu me neid tänapäeval tunneme. Seda põhjustas ligipääs kiirele internetile, tänapäevaste CMS süsteemide väljaarenemine, seintele paigaldatavad LED ekraanid, puutetundlike ekraanide laialdasem kasutuselevõtt, modernsed ekraaniraamid, infokioskite kasutuse kasv ning esimesed laiatarbe tahvelarvutid. Kõigest sellest tulenevalt hakkas välja arenema eraldi tööstus- ja turundusharu, mis spetsialiseerus just digitaalsete siltide ja ekraanide tehnoloogiale. Viimase kümne aasta jooksul on lisandunud veel sotsiaalmeedia integratsioon CMS süsteemidesse, kõrge eredusega ekraanid, riiulitele mõeldud ekraanid, kumer- ja OLED-ekraanid, läbipaistvad ekraanid, RFID tehnoloogia kasv, mobiilsed ja akutoitega ekraanid ja sildid ning virutaalreaalsuse sidumine digitaalturundusega. [13]

4.2. Mis on e-paber?

E-paber (või e-tint, elektrooniline paber) ekraanid on vaieldamatult üks huvitavamaid uusi ekraanitehnoloogiaid, mis sel sajandil laialdaselt kasutusele võetud on. E-paberi eripära võrreldes teiste levinud ekraanitehnoloogiatega on see, et e-paber meenutab rohkem tavalist paberit kui teised ekraanitehnoloogiad ning nagu tavaline paber, ei vaja e-paber ekraan pildi aktiivsena hoidmiseks lisaenergiat ega juhtimist. Kui pilt kuvada ning seejärel eemaldada ekraanilt toiteallikas ning kasvõi ka kõik muud ühendused, jääb pilt siiski ette (joonis 3) ning seda nii kauaks, kuni kasutaja seda ise muudab.

Joonis 3 e-paber ekraani paneel. Allikas: Waveshare Electronics

Saghar jt [14] ütlevad , et e-tint ekraanid on muutnud seda, kuidas kasutatakse e-lugereid, nutikellasid ja muid madala energiatarbega seadmeid. Nad tõdevad ka seda, et e-tint ekraanid on palju paremad inimeste silmadele, kuna need meenutavad rohkem tavalist paberit, kui traditsioonilised vedelkristallekraanid. Just sellepärast on hakanud seda tüüpi ekraanid asendama tavalisi vedelkristall- ja OLED tüüpi ekraane paljudes seadmetes, kus loetavus, kompaktsus ja madal energiatarve on prioriteedid. [14]

4.3. E-paberi ajalugu

Vaatamata sellele, et see tehnoloogia on teinud suure arenguhüppe ja hakanud laialdaselt levima viimase paari aastakümne jooksul, on e-paber ja e-tint eksisteerinud juba pikemat aega.

Esimest korda teoretiseeriti seda tüüpi tehnoloogia olemasolu ja kasutust ekraanides 1968. aastal, ning esimesed e-paberi laadsed ekraaniprototüübid töötati välja Panasonicu ja Xerox Corporationi poolt 1970ndatel. Samal aastakümnel esitati ka esimesed e-paberiga seotud patendid. 1970ndate teises pooles e-tint tehnoloogia areng stagneerus ning keskenduti rohkem sel ajal populaarsete vedelkristallekraanide arengule. Areng jätkus taas 1990ndatel MIT meedialaboris, kus töötati välja e-tint sellisel kujul nagu me seda täna teame. 2000. aastate algus nägi mitme erineva e-paber ekraaniga seadme ilmaletulekut ning 2007. aastal tõi Amazon turule e-lugeri Amazon Kindle, mis müüs täielikult välja kõigest viie tunniga peale müügile tulekut. E-tint tehnoloogia ja e-paber ekraanid on ka põhjuseks, miks e-lugerid tänapäeval nii populaarsed on ning miks e-paber ekraanid on laialdalset kasutusele võetud ka teistes seadmetes. [15]

4.4. E-paber kui tehnoloogia, erinevused ja eelised teiste ekraanitehnoloogiate ees

E-paber ekraanide üks peamisi erinevusi teistest ekraanitehnoloogiatest on nende madal energiatarve, mis tuleneb nende tööpõhimõttest. Tavalistel vedelkristallekraanidel on pildi kuvamiseks vaja konstantset vooluallikat. Kui vool katkeb, siis pilt kaob. E-paber ekraanid see-eest talletavad neil kuvatud pildi ka peale voolu katkemist, tänu millele on nende peal hea kuvada staatilisi kujutisi, mis kiiresti ja tihedalt ei muutu. Näiteks e-lugeriga raamatut lugedes veedab kasutaja mitmeid minuteid ühel leheküljel. Tavaline LCD ekraan peaks selle lehe kuvamiseks kogu aeg ekraanil voolu sees hoidma, e-paber ekraanil seevastu piisab, kui anda talle vool ainult selleks ajaks, kui uut lehekülge ekraanile kuvama hakatakse. Kui lehekülg on ekraanile kuvatud, võib toiteallika ühenduse ekraaniga katkestada ning pilt jääb ikkagi ette. Uuesti on voolu vaja alles siis, kui lugeja lehekülge muudab. See on võimalik tänu e-paberi unikaalsele tehnoloogiale. Erinevalt teistest ekraanitüüpidest kasutab e-paber traditsiooniliste vedelkristallpikslite asemel imepisikesi kapsleid, mis on täidetud läbipaistva vedelikuga mis sisaldab ka mikroskoopilisi pigmendiosakesi. Igas kapslis on nii heledad kui tumedad pigmendiosakesed (mitmevärviliste e-paber ekraanide puhul on erineva pigmendiga osakesi rohkem), mõlemal erinevad laengud. Kapslid, millest moodustuvad pikslid, on paigutatud kahe elektroodkihi vahele, millest ülemine (vaatlejapoolne) on läbipaistev. Kummalegi elektroodikihile erinevaid laenguid andes liiguvad erineva pigmendi ja laenguga osakesed kapsli sees kas üles või alla ehk vaatleja näeb kas heledat või tumedat pigmenti ning just seeläbi moodustataksegi kahevärvilisel e-paber ekraanil mustvalge pilt. [16]

Teine põhjus, miks e-paber ekraanid on nii energiasäästlikud, on taustvalguse puudumine. Kuna e-paberi “tühjad“ pikslid on oma loomulikus seisundis valged, peegeldavad nad tagasi ekraanile paistvat valgust, mistõttu mõjub tühi ekraanipind heledana. [16] Tavalistel vedelkristallekraanidel teeb taustavalguse puudumine ekraani lugemise palju keerulisemaks, kui mitte võimatuks, sest ekraani mitte töös olevad pikslid on üldiselt üsna tumedad. [17] Taustavalguse puudumine tähendab, et pole vaja valgusdioode või muid valgusallikaid, mis energiatarvet oluliselt tõstavad. On olemas ka taustvalgusega e-paber ekraanid, kuid nende puhul on valgus pigem mugavuseks ning ekraani loetavust tavatingimustes taustvalguse puudumine ei mõjuta. Taustvalguse puudumine aitab ka silmi säästa, sest ekraani toon sulandub paremini sisse ümbritseva keskkonnaga. Kui siiski on vaja ekraanil olevat teksti näha ka pimedas, on olemas ka taustvalgusega e-paber ekraanid [18], kuid standartselt on e-paber tehnoloogia mõeldud kasutamiseks ilma taustavalguseta. E-paberit saab ka eest valgustada, teiste ekraanitehnoloogiate puhul seevastu teeb eestpoolt valgustamine ekraani lugemise pigem keerulisemaks kui lihtsamaks.

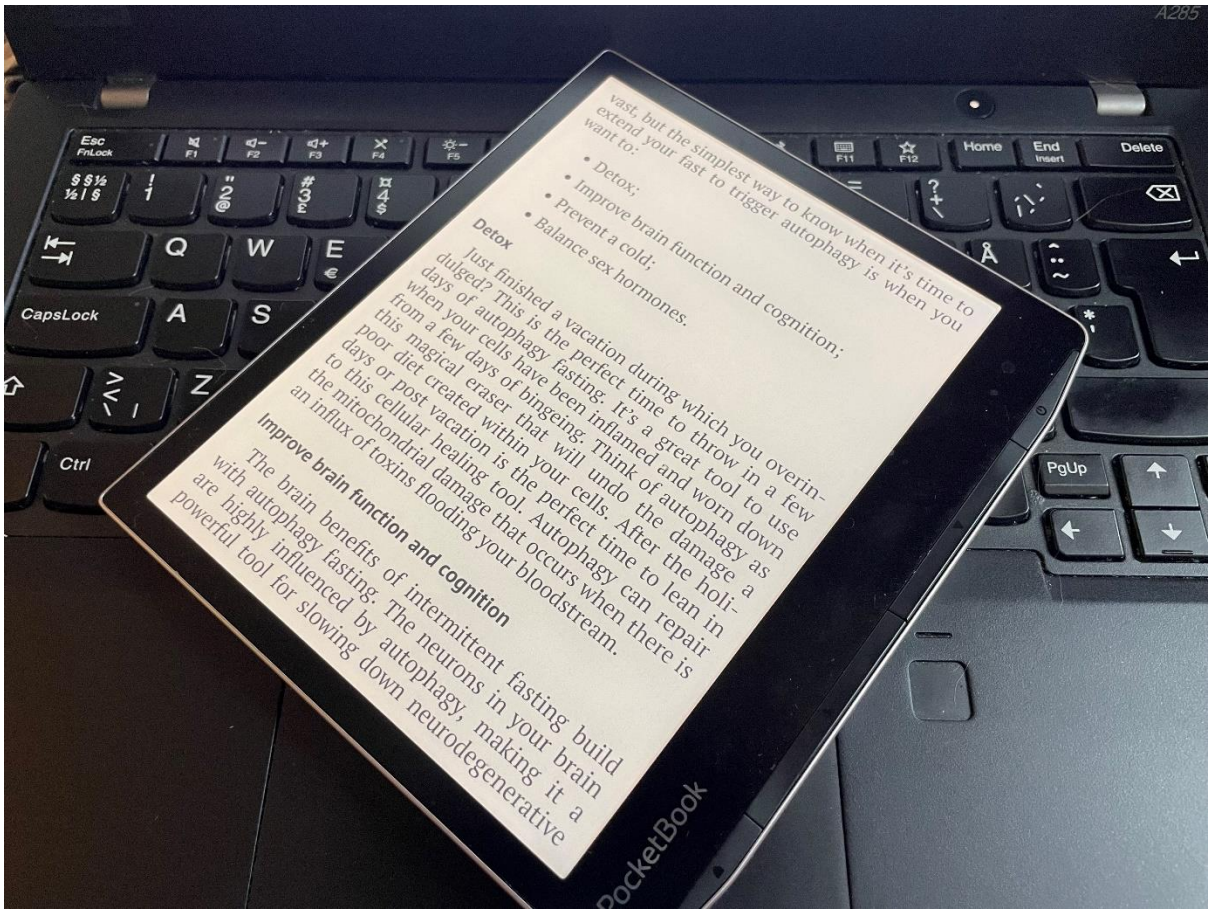
Tänu nendele disainieripäradele on e-paber inimsilmale parem, kui tavaline LCD ekraan. K. Shieh leidis oma uuringus, kus ta võrdles inimeste eelistusi erinevate ekraanide vaatekauguse ja vaatenurga osas, et e-paberi eelistatud vaatekaugus oli 500 mm, mis on isegi kõrgem kui tavalise paberi 360 mm ning erinevates valgustingimustes oli vaatekauguse eelistuse erinevus väike, kõigest 10-20 mm. [19]

Nagu kõigil muudel ekraanidel, on ka e-tint ekraanidel vaja lisaelektroonikat. Tänapäeval on üks levinumaid protsessori tüüpe madala energiatarbega kaasaskantavate elektroonikaseadmete jaoks ARM tüüpi protsessorid. Just seda tüüpi protsessorit kasutavad ka oma töös Jin ja Zhang [20]. Selles töös kasutati STM32F103C8T6 protsessorit Cortex-M3 tüüpi tuumaga, sest sellel protsessoril on sisseehitatud väga palju kasulikke funktsioone ekraaniga suhtlemiseks ja selle juhtimiseks, nagu näiteks SPI andmeside ja taimerid, mis tähendab, et neid ei pea eraldi disainima. Sellist tüüpi protsessorid on madala energiatarbega, mis sobib kokku hästi e-tint ekraani minimaalse energiatarbe põhimõttega. STM32F103C8T6 protsessori ja Waveshare 1.54“ e-tint ekraaniga tehtud kellaprojekti energiatarbeks saadi keskmiselt 30.38 mA, mis sisaldab ka ühte valgusdioodi, mille energiatarve on 20 mA. Ilma selle valgusdioodita oleks kella teoreetiline tööaeg kolme AA-tüüpi patareiga umbes 5400 tundi, kasutades tavalist umbes samades mõõtudes, sama funktsionaalsusega LCD ekraani oleks tööaeg kõigest 72 kuni 720 tundi. [20]

4.5. Näiteid e-paberi kasutusest

E-paberit kasutatakse paljudes erinevates seadmetes, kus ekraani loetavus, madal energiatarve ja silmasõbralikkus on tähtsad disainiaspektid.

Üks levinuimaid kasutusi e-paberile on e-lugerid (joonis 4). E-lugerid on kaasaskantavad elektroonilised seadmed, mis võimaldavad kuvada erinevaid digitaalsetes formaatides raamatuid. Kuigi ükskõik millist seadet, mis suudab ekraanil teksti kuvada võib teoreetiliselt kategoriseerida e-lugeriks, on praktikas need seadmed siiski eristatavad ühe põhilise tunnusmärgi järgi – e-paber ekraan. E-lugeri põhiline eelis paberkandjal raamatu ees on kompaktsus. Üks e-luger suudab endasse mahutada sadu kuni tuhandeid digitaalseid raamatuid ning on üldiselt sama suur või isegi väiksem, kui tavaline paberraamat. E-paber ekraan aitab nendel seadmetel ka oma kasutusmugavuse ja loetavuse poolest sarnaneda tavalise paberiga – pikk aku eluiga, lihtsalt loetav ja ei väsita nii palju silmi kui tavaline LCD ekraan, õhuke ja kompaktne korpus. [21] Seisuga 11.03.2024 kasutasid 100% Photopointi e-poes müüdavatest e-lugeritest e-paber ekraani [22].

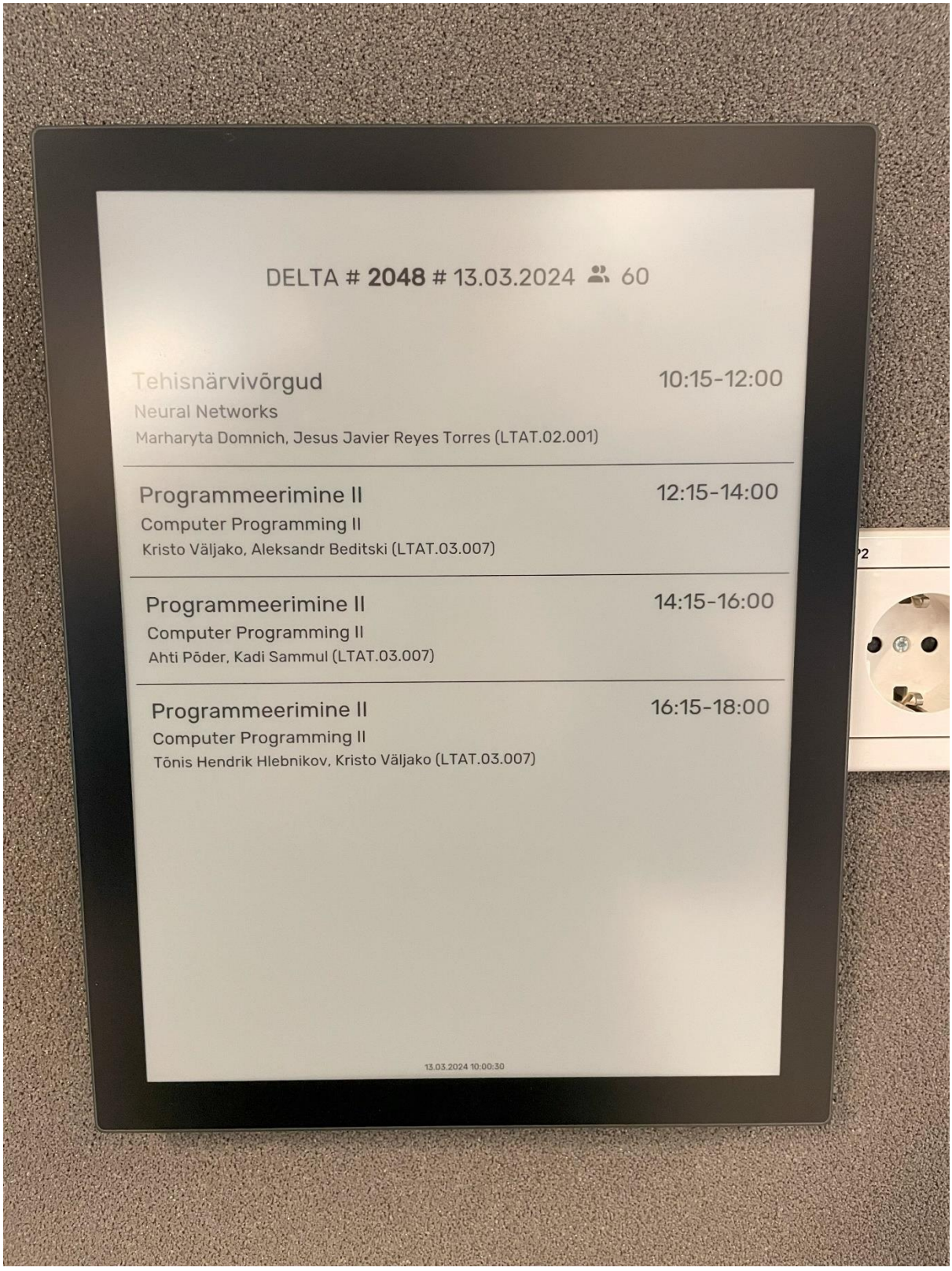


Joonis 4 e-luger e-tint ekraaniga

E-paber tehnoloogia pole aga ainult isiklike seadmete jaoks. E-tint tehnoloogia arenguga on läinud ekraanid suuremaks ning seetõttu on e-paber tehnoloogia leidnud aina laialdasemat kasutust ka kohtades, kus ei piisa pisikeset ekraanist, mis mahub käeshoitavasse seadmesse. Hea näide e-paberi kasutusest suurematel seadmetel on firmast Papercast, kes pakuvad e-paber ekraanidel baseeruvaid suuremaid infotahvleid ja tabeleid, näiteks sõidugraafiku tabelid bussipeatustesse, rongide graafikud ja suunaviidad rongijaamadesse, suunaviidad lennujaamadesse, hinnatablood tanklatesse ning infotahvlid sündmuskorralduse jaoks. Et kasutada ära e-paberi energiasäästu maksimaalset eelist, on paljud nende sildid varustatud akude ja päikesepaneelidega. [23] Samuti toodetakse ka e-paberist näiteks poodidele hinnasilte (joonis 5) [24] [25] mille teksti saab muuta ilma, et peaks sildi ära viskama ja uuega asendama.

Joonis 5 e-paber hinnasilt Lidli poes

E-paber ekraane kasutatakse ta Tartu Ülikooli mitmes õppehoones (näiteks Delta maja ja füüsika instituudi hoone) klassiruumide ja auditooriumite uste kõrval ruumis toimuva kava kuvamiseks (joonis 6).



Joonis 6 e-paber ekraaniga silt Tartu Ülikoolis Delta majas

4.6. E-paber kui uus #*hashtag* silt

Tänu oma unikaalsetele omadustele on e-paber ekraan ideaalne kandidaat asendama praeguseid plastikust silte. E-paberiga on lihtne jäljendada praeguste siltide lihtsasti loetavat must-valget disaini ning madal energiatarve ja ekraani mäluefekt teevad sildi kasutuse sama lihtsaks, kui tavaline plastiksilt – kui ekraanidele tekst kuvada ja silt arvuti küljest lahti ühendada, käitub elektrooniline silt edasi juba nagu täiesti tavaline plastiksilt. Kui tahta teksti hiljem muuta, on seda lihtne ja kiire uuesti arvutiga ühendada ja paigutada ekraanidele uus tekst. Seda tüüpi ekraanide kasutamine annab ka võimekuse tulevikus huvitavateks edasiarendusteks, näiteks piltide, logode ja dünaamilise sisu kuvamiseks.

5. Loodud lahendus

5.1. Kontseptsioon

Elektroonilise sildi üldine idee sai välja mõeldud nii, et oleks mitmest e-paber ekraanist moodustuv pind, mis on kokkuvolditav lihtsamaks transpordiks ja hoiustamiseks, mida oleks kerge käes hoida, oleks viisaka välimuse ja disainiga ning lihtsasti ühendatav mõne teise seadmega, näiteks arvutiga, kus saaks teksti eelvaate abiga manipuleerida ning seejärel sildile kuvamiseks saata.

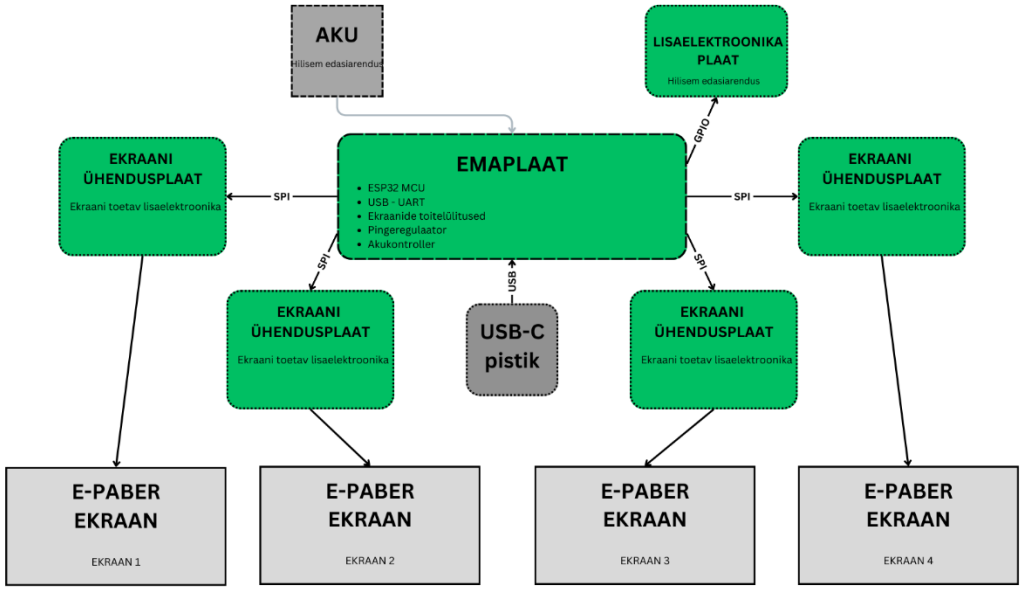
5.2. Süsteemi üldine disain

Süsteem koosneb järgnevatest põhilistest komponentidest:

- Neli Waveshare 7,5“ V2 800x480 resolutsiooniga must-valget e-paber ekraanimoodulit
- Emaplaat Espressif ESP32 mikrokontrolleri mooduli, USB – UART sillaga, toiteregulaatori ja akukontrolleriga
- Neli ekraani juhtelektroonikaplaati
- Kaablid ekraanide ja USB ühenduse jaoks
- Aku
- Lisaplaat LEDide ja nuppudega
- Kolmest osast koosnev kasevineerist puitkorpus
- Hõõrdhinged volditavate osade liiteks
- Sangad mugavamaks käeshoidmiseks
- Poldid, mutrid, seibid osade kinnitamiseks

5.3. Elektroonika

Kogu elektroonika skeem (joonis 7) ning trükkplaadid on disainitud Altium Designer 23 tarkvaraga ning terve Altiumi projekt kui ka skeemid PDFina ning plaatide gerber tootmisfailid on kättesaadavad GitHubis (lisa 1).



Joonis 7 elektroonika plokkskeem

5.3.1. Emaplaat

Emaplaadi (joonis 8) südameks on Espressif Systems ESP32-WROOM-32E moodul. Tegemist on multifunktsionaalse mooduliga, kus on ühte seadmesse mahutatud kahetuumaline 32-bitine Xtensa LX6 mikroprotsessor taktsagedusega kuni 240 MHz, 448 KB ROMi, 520 KB SRAMi, 802.11b/g/n Wi-Fi moodul sisseehitatud antenniga, Bluetooth 4.2 võimekus sisseehitatud antenniga, 4 MB SPI liidsesega välkmälu ning mitmed liidesed ja GPIO ühendused teiste seadmetega suhtlemiseks. [26]

ESP32 mooduli peamisteks valiku põhjusteks olid laialdane tarkvara teekide olemasolu arenduse hõlbustamiseks (sealhulgas teegid Waveshare ja paljude muude e-paber ekraanide tootjate ekraanide juhtimiseks), implementeerimise lihtsus, sisseehitatud Bluetooth ja Wi-Fi edasiarendus võimaluste pakkumiseks, hulgaline GPIO viikude kogus ja SPI liidese olemasolu ekraanide ning muude lisaseadmete ja komponentidega suhtlemiseks.

Emaplaadil on ESP32 mooduli USB liidese kaudu programmeerimiseks ning andmevahetuseks Silicon Labs CP2102N USB-UART sild. CP2102N eeliseks on madal väliste komponentide

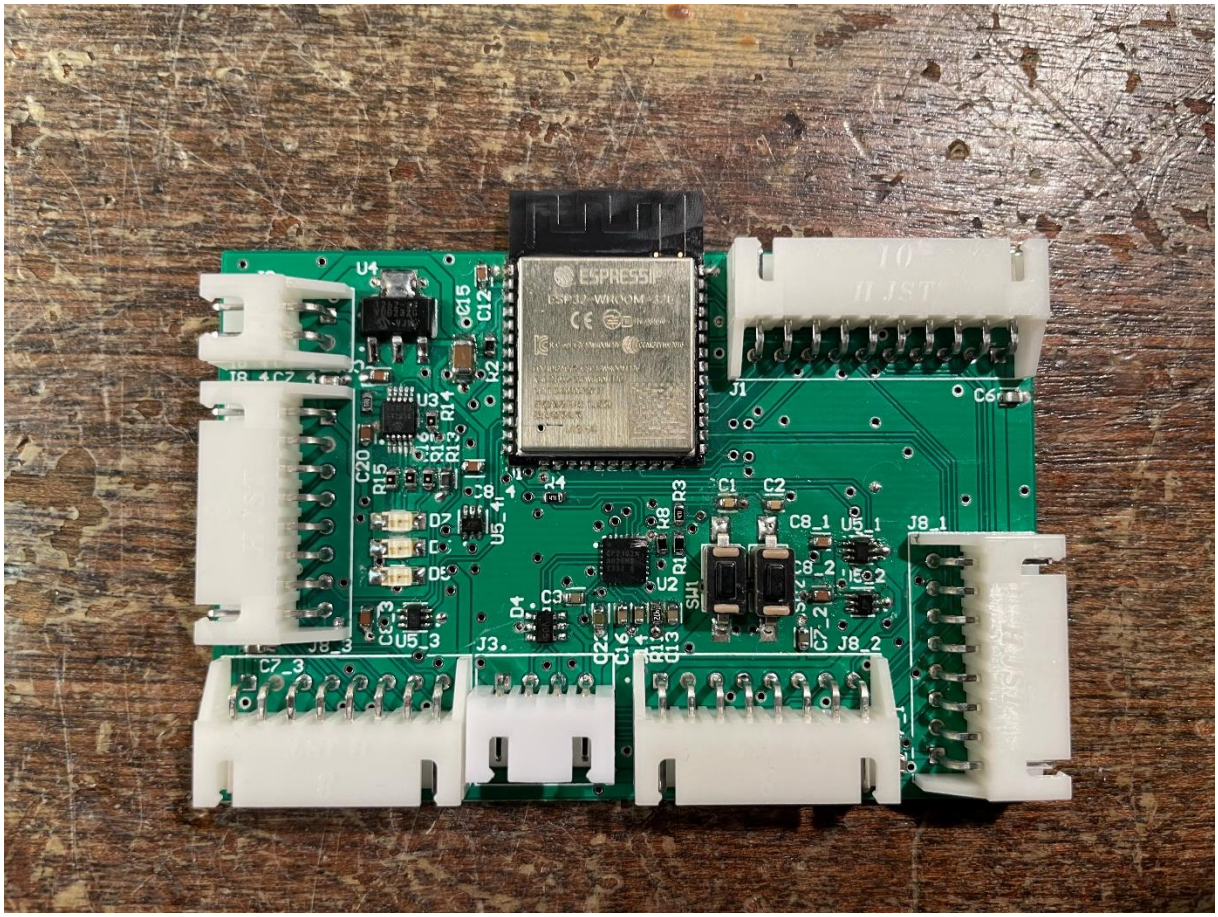
kogus, vähene ruumivajadus trükkplaadil, iseseisev töövõime ilma eraldi tarkvara ega programmeerimiseta ning madal energiatarve, töörežiimis kõigest 9.5 mA. [27]

ESP32 ja CP2102N saavad omale toite USB liidese kaudu või akust, olenevalt kas USB kaabel on ühendatud või kaablit pole ühendatud aga aku on täis. Aku laadimise eest vastutab Microchip MCP73833 laadimiskontroller, mille väljundisse on ühendatud aku ning Microchip TC1262-3.3VDBTR lineaarne pingeregulaator, mis hoiab ESP32, CP1202N ning ekraanide jaoks ühtlast 3.3 V toitepinget. Kui USB kaabel on ühendatud, siis laadimiskontrolleri väljund laeb akut ning annab sisendi ka pingeregulaatorile. Kui USB kaabel lahti ühendada lõpeb aku laadimine ja regulaator hakkab voolu tarbima akust. Kui sildile akut paigaldada ei soovi, tuleb emaplaadile joota 0 oomine takisti või tinasild positsiooni R5. See jätab laadimiskontrolleri vahele ja saadab USB-st tuleva toite otse pingeregulaatori sisendisse.

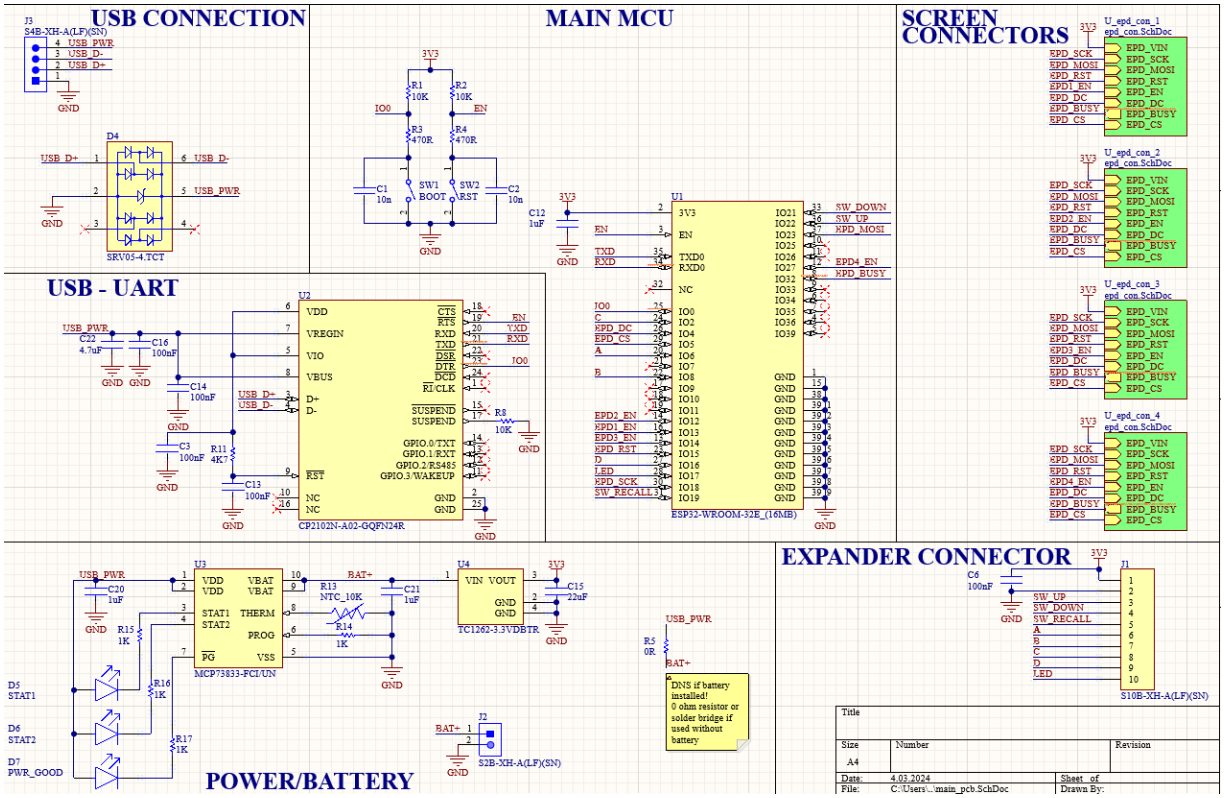
Lisaks on emaplaadil ka SRV05-4 kaitsedioodid USB liidese kaitseks, lülitid mikrokontrolleri käsitsi programmeerimisrežiimi seadmiseks, neli Microchip MIC94073YC6 elektrooniliselt juhitud koormuslülitit ekraanide toite sisse- ja väljalülitamiseks (joonis 10) ning JST XH seeria ühenduspistikud teiste moodulitega ühendamiseks.

Ekraanide juhtimine toimub üle SPI liidese, kusjuures peale standardselt ühiste SCK ja MOSI viikude on ka SS viik tehtud ühiseks ning ekraaniga suhtluse alustamine/lõpetamine käib vastavalt ekraani toitepinge sisse- või väljalülitamisega. Kuna korraga on sisse lülitatud ainult üks ekraan, on ka ekraanide DATA/COMMAND, BUSY ja RESET viigud ühised. Selle põhjuseks oli ekraanide juhtimise aluskoodi ja ESP32 mikrokontrolleri eripära.

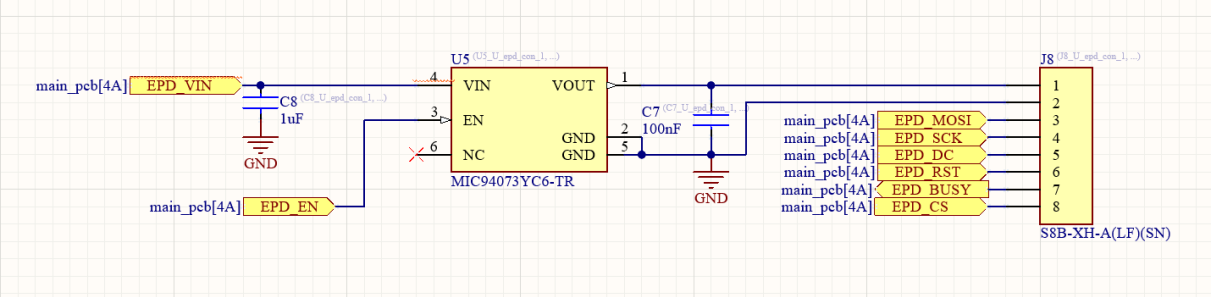
Emaplaadi peaskeem on nähtav joonisel 9.



Joonis 8 emaplaat



Joonis 9 emaplaadi peaskeem

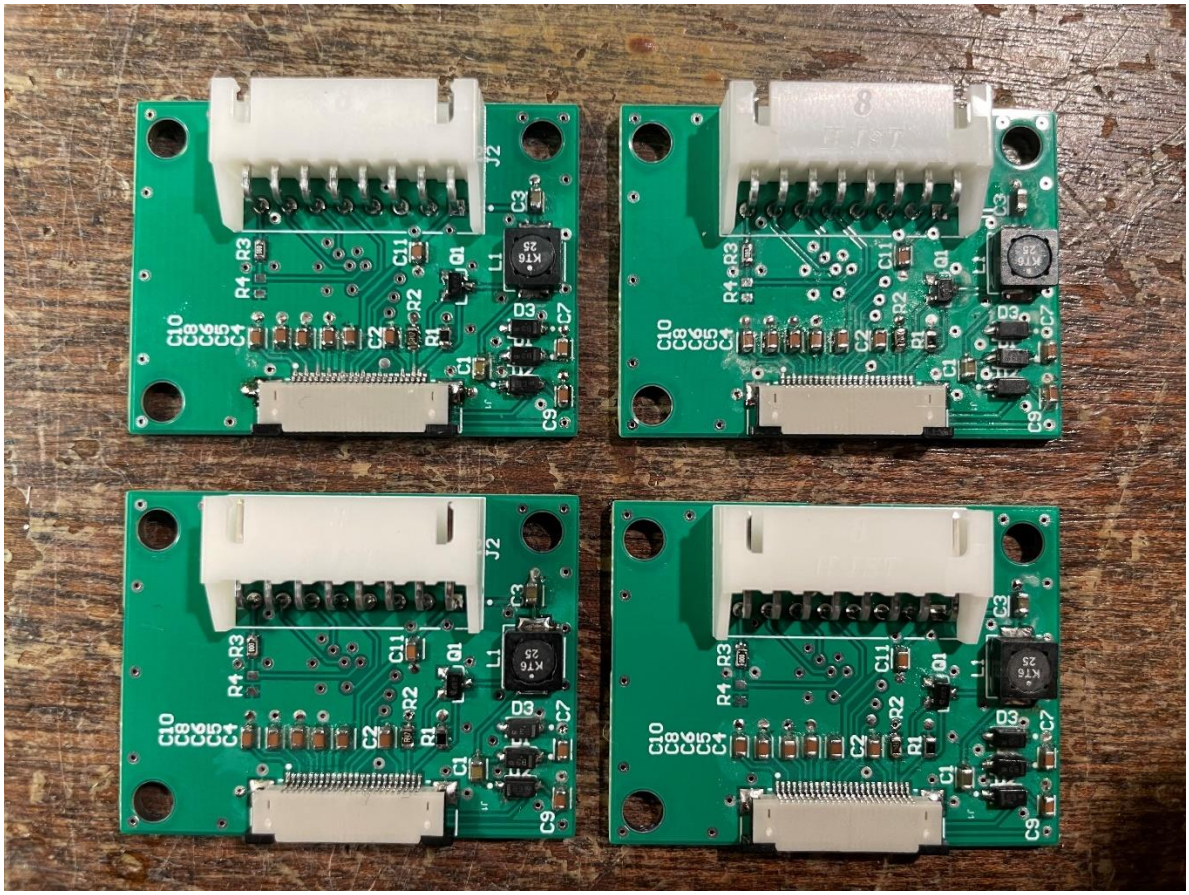


Joonis 10 emaplaadi skeemi ekraanide toitelülituse alammoodul

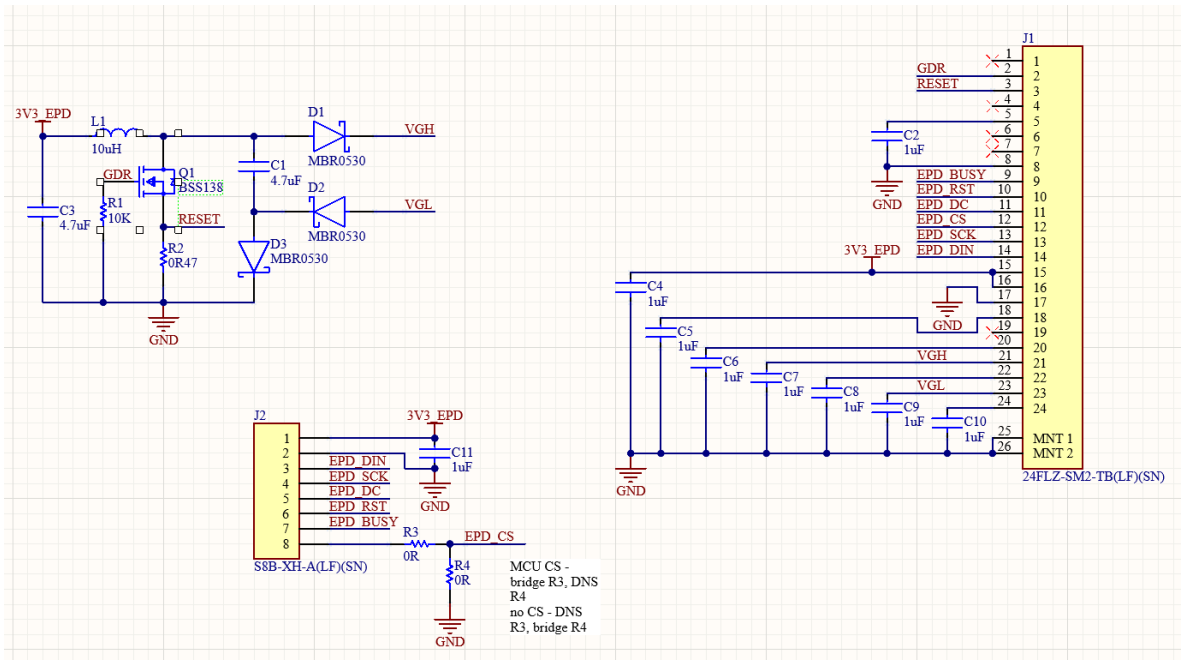
5.3.2. Ekraanide juhtelektroonika plaadid

Waveshare'i e-paber ekraanid vajavad töötamiseks natuke lisaelektroonikat, mistõttu ei saa neid otse mikrokontrolleri külge ühendada. Selleks said disainitud eraldi trükkplaadid (joonised 11 ja 12) ekraanide ning emaplaadi vahele, mis sisaldavad vajalikku lisaelektroonikat ekraanide töö võimaldamiseks. Plaadid ühenduvad emaplaadiga 8 viiguga JST XH tüüpi pistikuid kasutavate kaablitega ning ekraanidega kasutades 24 viiguga JST 24FLZ-SM2-TB lintkaabli pesasid.

Skeem baseerub osaliselt Waveshare'i oma E-Paper Driver HAT versioon 2.3 skeemil [28] [29] ning abiks oli ka Waveshare 7,5“ V2 ekraanipaneeli andmeleht [30]. Võrreldes Waveshare'i skeemiga on eemaldatud üleliigsed komponendid, mida töös kasutatav paneel ei vaja ehk 3/4-ühendusega SPI režiimilüliti, ekraanimudelite valimise lüliti koos üleliigse 3 oomise takistiga, kogu ekraanide toite sisse-väljalülitamise skeem, mis on viidud emaplaadile ning seal asendatud MIC94073YC6 elektroonilise koormuslülitiga. Lisaks on eemaldatud ka Raspberry PI-le mõeldud ühendusviigud ning TXB0108E tasemelüliti, mida pole selles disainis vaja, sest kogu süsteem töötab 3.3 V toitepinge,l mis on Waveshare'i ekraani nõutud toitepinge [30].



Joonis 11 ekraani ühendusplaadid 4tk



Joonis 12 ekraani juhtmooduli skeem

5.3.3. Ekraanid

Silt kasutab pildi kuvamiseks nelja Waveshare 7,5“ V2 must-valget 800*480 resolutsiooniga ekraani (joonis 13). Selle ekraanimudeli kasutusidee tuli sellest, et testimiseks oli ühest varasemast projektist jäänud üle sama ekraani must-valge-punane versioon, mis tundus käes hoides mugava suurusega. Hoides ekraani käes ning võrreldes seda umbkaudse praeguste plastikust teemaviite siltidega oli hästi näha, et ekraan on kõrguselt väga sarnane praeguste plastikust siltide kõige kõrgemate kohtadega. Neli ekraani kõrvuti pannes andis ka laiuselt ekraanipind välja väga sarnase suuruse, kui pikemad plastiksildid. Ekraanil on ka üsna kitsad servad, külgedel ning üleval 3.5mm ning all 9,8mm [30]. See tähendab, et kaks ekraani kõrvuti asetades on nende vahel kasutamatut pinda ainult 7 mm mis on suurema teksti kuvamisel tähtede vahele peidetav ning kitsas ülemine ja alumine äär võimaldavad teha sildi korpuse ääred üsna kitsaks.

Ekraanide pikslitihedus on 125 pikslit ruuttolli kohta [30], mis tähendab, et juba 1,5 m kauguselt on pildikvaliteet inimsilmale väga hea [31].

Joonis 13 Waveshare 7.5" V2 e-paber ekraanimoodul. Allikas: Waveshare

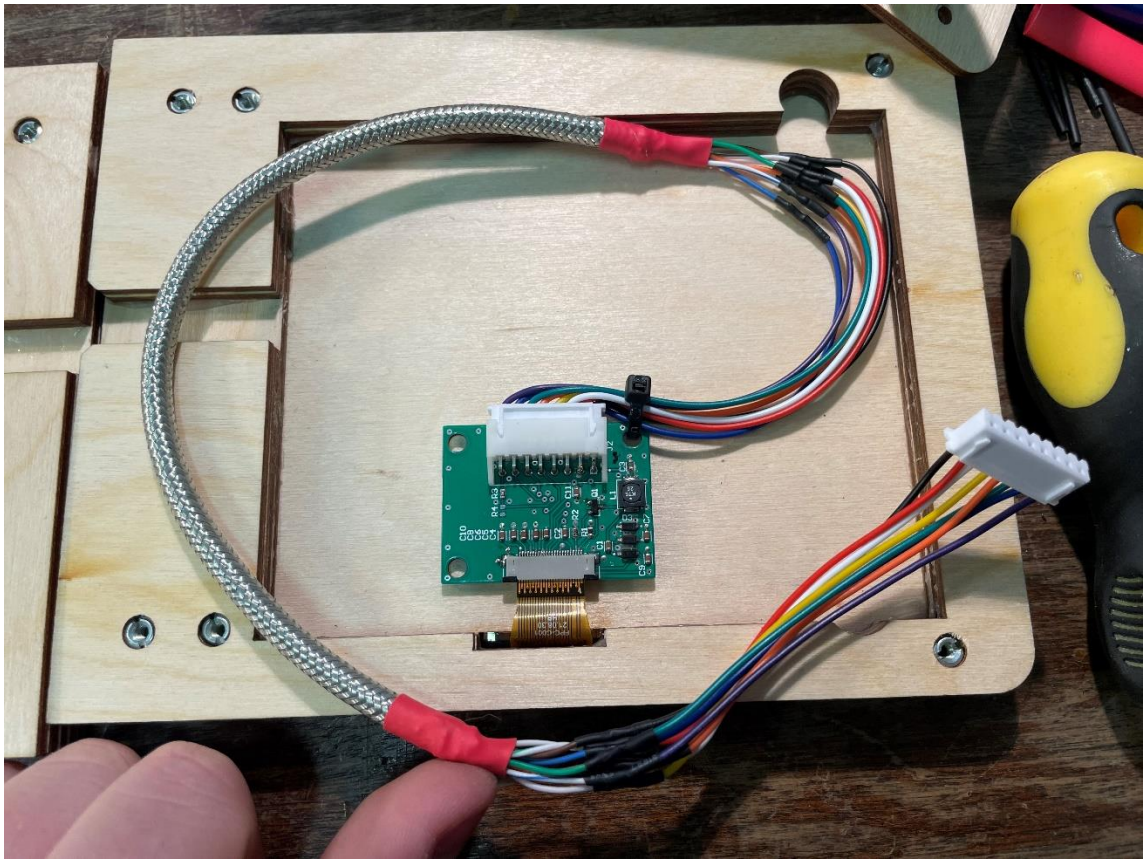
5.3.4. Kaabeldus ja ühendused

Silt kasutab USB ühenduse jaoks USB TYPE-C tüüpi ühendust. C-tüüpi ühenduse kasutamise põhjuseks on C-pesa laialdane kasutus tänapäeva elektroonikaseadmetes. Kuna paljud telefonid, tahvelarvutid ja muud väikeelektroonikaseadmed kasutavad sama tüüpi ühendust, on

seda tüüpi kaablit lihtne leida. Lisaks on Euroopa Liit ette näinud, et 2024. aasta lõpuks peavad kõik USB kaudu laetavad seadmed kasutama USB-C tüüpi liidest [32]. USB pesa on kinnitatud korpuse külge ning ühendub emaplaadiga kasutades 4 viiguga JST XH tüüpi pistikut. Arvuti külge ühendub silt standartse USB-A – USB-C tüüpi kaabliga.

Emaplaat ja ekraanide juhtelektroonika plaadid ühenduvad samuti kasutades JST XH seeria pistikuid, ekraanide ühenduste pistikud see-eest on 8 viiguga. Kahe keskmise ekraani ja emaplaadi vahel on kasutatud standartset eraldi soontega kaablit kuid kaks äärmist, hingedega kinnituvat ekraanimoodulit kasutavad ühenduseks CAT tüüpi internetikaablit, millele on mõlemasse otsa paigaldatud JST XH seeria pistikud. CAT tüüpi kaabel osutus heaks kandidaadiks, sest see sisaldab endas kaheksat eraldiseisvat kaablisoont. Kuna kaabel ühendab kahte osa korpusest, mis on üksteise suhtes liikuvad ja kaabel peab nendega kaasa painduma, sai testitud enne lõpliku valiku tegemist mitmeid erinevaid kaableid. Kaheks parimaks kandidaadiks osutusid Ubiquiti Unifi CAT6, mis on ülimalt pehme ja painduv ning mis tundus esmapilgul parim valik, kuid tekitas muresid hingede vahele muljumise potentsiaaliga, ning Adam Hall K4NCAT5 mis tundus esmapilgul natuke liiga jäik, kuid peale välimise isolatsioonikihi eemaldamist osutus palju painduvamaks. Kui K4NCAT5 kaablilt välimine kiht eemaldada, jääb nähtavale tugev ning puidu peal hästi libisev metallist varjestus, mis kaitseb kaablisooni, on piisavalt jäik et seda on isegi tahtlikult väga raske hingede vahele suruda, kuid on samas piisavalt painduv, et liigub koos hingedega ilusti kaasa mistõttu osutus just see kaabel valituks. Sildi keskmises osas on kaabel jäigalt fikseeritud, kuid mõlemasse külgmisse ekraanimoodulisse on jäetud piisav kaablivaru, et kaabel saaks hingede kinni-lahti voltimisel vabalt korpusesse sisse-välja libiseda ning oma väljaulatuva osa pikkust ise automaatselt reguleerida.

Ekraani kaablite (joonis 14) värvikood on lisatud töö lisadesse (lisa 3).



Joonis 14 ühenduskaabel ühe äärmise ekraani ja keskosa vahel

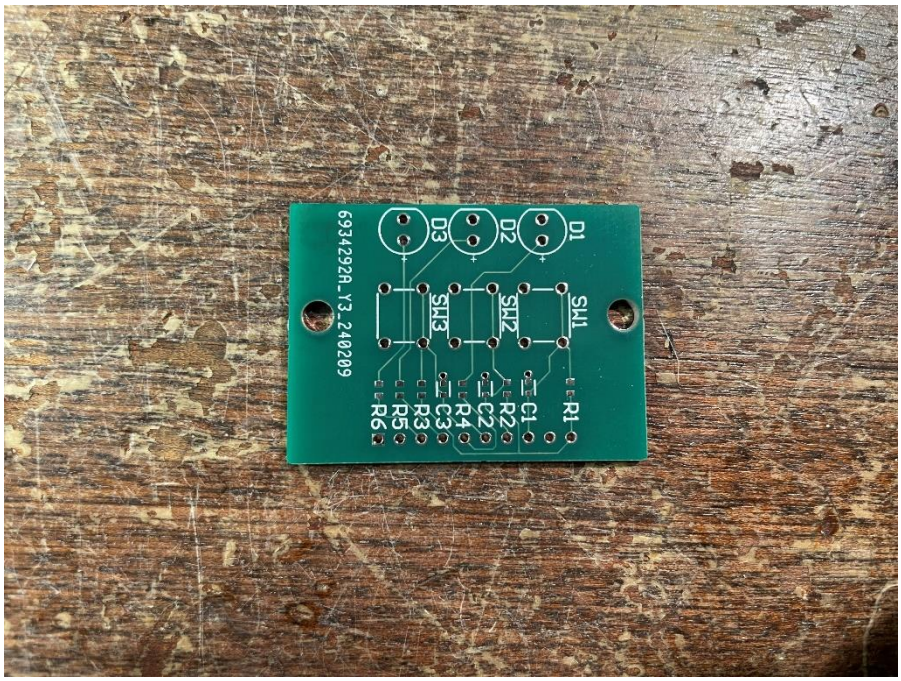
5.3.5. Aku

Kuna silt otseselt töötamiseks voolu ei vaja peale pildi kuvamist ekraanidele, siis akut otseselt vaja pole ning seda selles töös ei kasutatud. Küll aga arvestades edasiarenduse võimalusi ning ESP32 mikrokontrolleri potentsiaali kasutada Wi-Fi ja BlueTooth ühendust ning mälufunktsioone mitme sõna hoiustamiseks, sai siiski ennetavalt emaplaadile lisatud aku ühendamise võimalus ning laadimisskeem Microchip MCP73833-FCI/UN laadimiskontrolleri baasil, mis võimaldab üle USB laadida kuni 1 A voolutugevusega Li-Ion ja Li-Polümeer akusid [33]. Sildi korpuse sisse on jäetud piisavalt ruumi väiksema Li-Ion aku jaoks, mille saab ühendada emaplaadiga kasutades 2-viiguga JST XH tüüpi pistikut.

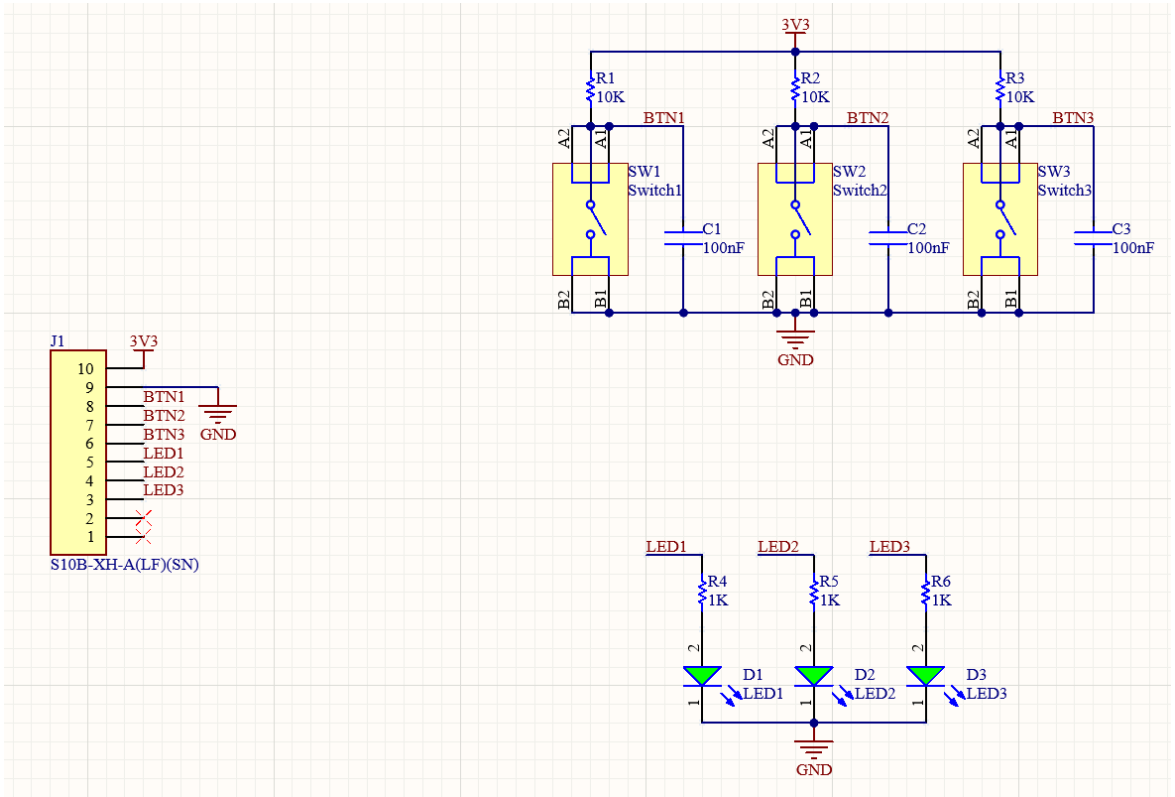
5.3.6. Lisaplaat

Teise edasiarenduse võimalusena sai emaplaadi skeemile lisatud ka 10-viiguga lisamooduli pesa, mis nagu ka teised pistikud ja pesad, kasutab JST XH tüüpi ühendust. Pesa mõte oli anda võimalus tulevikus ära kasutada ESP32 osasid vabu GPIO viike. Kümnest viigust kaheksa on GPIO ühendused, üks on maandus ja üks on 3.3 V toide. Kohe sai juurde disainitud ka väike, lihtne lisaplaat (joonised 15 ja 16) mis sisaldab endas kolme mikrolülitit ja kolme LEDi ning

mis toimiks kui lihtne kasutajaliides. Kolm nuppu saavad olla tulevikus näiteks kolme erineva sisselaetud sõna vahel valimiseks ning vastav LED annab märku milline hetkel valitud on.



Joonis 15 lisaplaat, jootmata ja komponentideta



Joonis 16 lisaplaadi skeem

5.4. Mehaanika

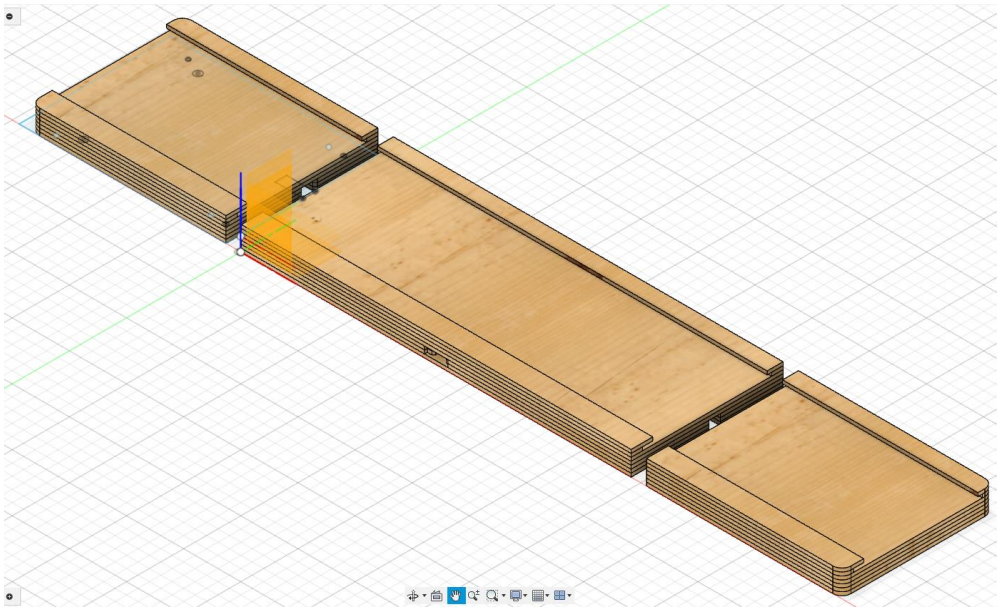
5.4.1. Korpus

Sildi korpus (joonis 17) on valmistatud 3mm kasevineeri kihtidest, mis on laserlõigatud ning üksteise peale liimitud. Alguses sai kaalutud ka 3D-prinditud korpust, kuid arvestades ka lõpptulemuse jätkusuutlikkuse ja keskkonnasõbralikkuse põhimõtteid sai siiski otsustatud puidu kasuks. Peale toote eluaja lõppu kõduneb puit loodusesse sattudes ära, samas paljude 3D-prinditavate materjalide, näiteks laialdaselt levinud PLA kasutamisel, on nende taaskasutamine ja komposteerimine palju keerulisem ja energiakulukam protsess. Samuti on seda ka PLA tootmine. Bionanotehnoloog Svetlana Batasheva on uurinud PLA tootmise ja ümbertöötluse mõju keskkonnale ning on öelnud järgmist: “PLA elutsüklile omastatud kasvuhoonegaaside kogus näitab, et bioloogiliste materjalide ümbertöötlus piimhappeks ning sealt edasi PLA-ks on energiaintensiivne protsess mis vabastab atmosfääri suure koguse CO_2 gaasi. Olemasolevate andmete kohaselt, üle 50% (2.8 kg CO_2 1 kg PLA kohta) PLA elutsükli jooksul vabanevast CO_2-st tuleb sellest töötlusest“ [34]

Materjali paksuseks sai valitud standardne 3 mm paksusega kasevineer, sest seda saab mõistliku hinna eest laserlõigata. Paksemat tükki peaks freesima, mis oleks keerullisem ning kulukam. Korpus koosneb kolmest põhiosast: keskmine osa, kus on kaks ekraani, parempoolne tiib ja vasakpoolne tiib, mille mõlema küljes on üks ekraan. Äärmised osad voldivad keskmise taha kokku, et sildi pikkust transportimiseks või lühema teksti kuvamiseks mugavamaks teha. Iga sektsiooni paksus on seitse kihti vineeri ehk 21 mm. Kihid on omavahel liimitud kasutades tavalist PVA tüüpi puiduliimi ning pitskruve. Sildi tagumine külg ei ole liimitud vaid paigaldatud kruvidega, et tagada ligipääs korpuse sees olevale elektroonikale.

Sildi puitpind on kaetud Osmo Ployx 3040 õlivahaga, mis aitab kaitsta puitu määrdumise ja pindude eritamise eest.

Korpuse 3D mudel Autocad Fusion projektina ning ka DWG ja DXF failidena on leitav projekti GitHub repositooriumist (lisa 1).



Joonis 17 Korpuse 3D mudel

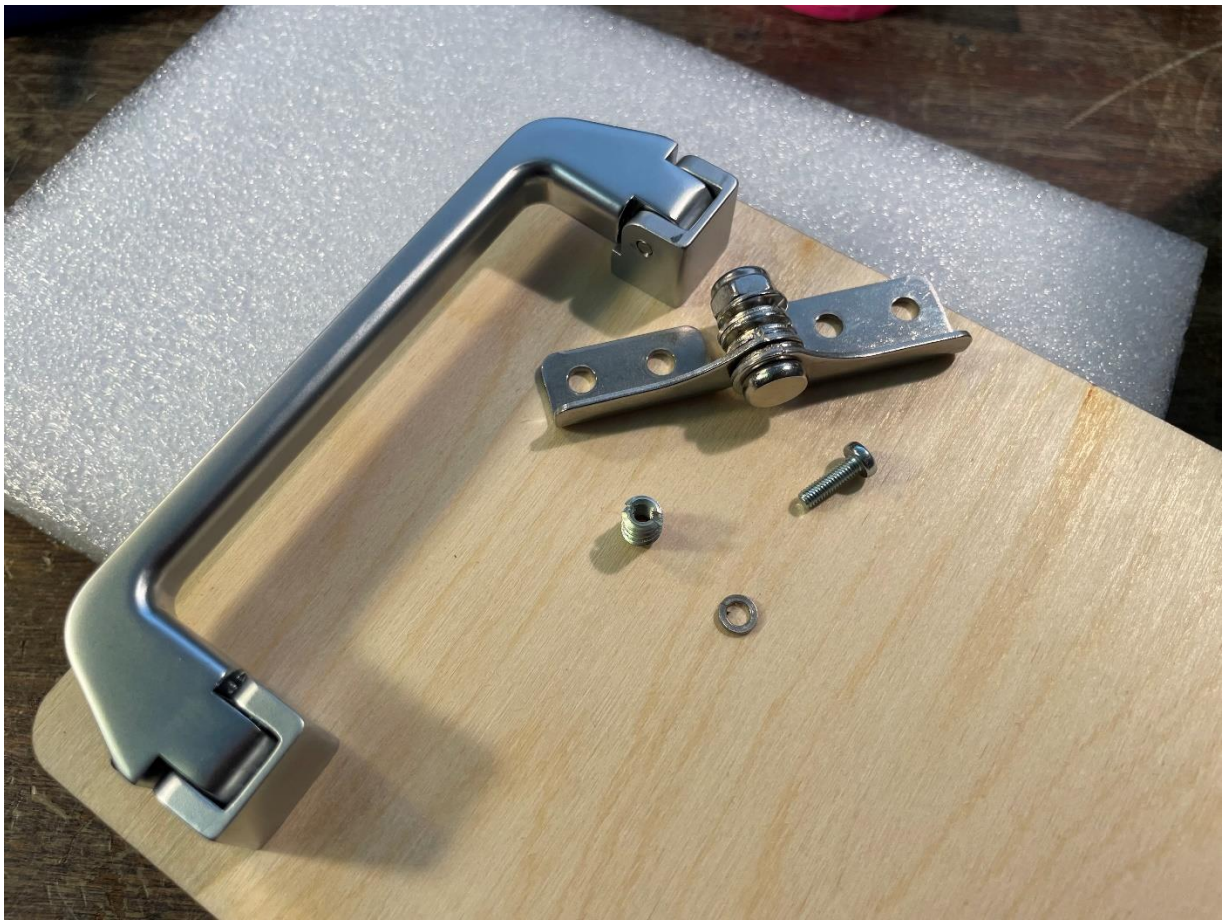
5.4.2. Metallosad

Korpuse valmistamiseks on kasutatud peale puidu ka mõningaid metallosi (joonis 18). Nendeks on puidumutrid (välimine keere puidukeere, sisemine keere M3) korpuse tagakülgede ja hingede kinnitamiseks, 10 mm pikkused M3 kruvid korpuse tagakülgede ja hingede kinnitamiseks ja vedruseibid hingede kruvide alla, sangad ja hinged. Kuna hingede kruvidele mõjub kokku-lahti voltides rohkem mehaanilist stressi, on need kruvid paigaldatud Loctite 243 keermeliimiga.

Selleks, et sildi küljed käes hoides kinni ei vajuks, tuli hingi valides mõelda ka sellele, kuidas küljed end kinni ja lahti hoiaks. Esimene mõte oli kasutada väikeseid mööblihingi sildi külgede äärtel ning fikseerida küljed lahti asendisse kasutades külgede äärte sisse süvistatud neodüümmagneteid. See idee poleks aga toiminud, sest küljest hoides ning silti järsult liigutades võivad magnetid järgi anda. Uus idee, mis ka lõpuks kasutusse läks, tuli vaadates sülearvuti ekraanihingi. Sülearvuti ekraani saab käega vabalt üles-alla liigutada kuid samas suudab ekraan kogu oma raskust vabalt seatud asendis hoida. Peale pikka otsimist sai leitud sobivad hõõrdhinged, mis on piisavalt tugevad ning mille liigutamisjäikust saab vajadusel ka muuta.

Pika otsimise peale sai leitud ka sangad. Algne mõte oli teha sangad eemaldatavaks, kuid see oleks tõstnud kasutuskeerukust ning lisanud komponendi, mis võib sildi küljest eemalduda ja kaduma minna. Leitud sangad on sellised, mida saab voltida lapikuks kokku ning mis mahuvad

kokkuvolditud sildi vahele täpselt ära. Kui silti kasutada, saab sangad jälle välja voltida. Sangad lukustuvad klõpsuga nii kinnisesse kui lahtisesse asendisse.



Joonis 18 projektis kasutatud metallosad

5.5. Tarkvara

Kogu tarkvara ning kood, nii sildi kui arvutipoolne, on olemas projekti GitHub repositooriumis (lisa 1).

5.5.1. Ekraanipoolne tarkvara

Ekraanipoolne tarkvara on kirjutatud C++ programmeerimiskeeles kasutades Microsoft Visual Studio Code tarkvara koos PlatformIO laiendusega, mis võimaldab programmeerida Arduino tööriistu kasutavaid mikrokontrollereid, sinna alla kuulub ka käesolevas töös kasutatud ESP32. Koodi südameks on GxEPD2 teek, mis on mõeldud eelkõige Waveshare ja Good Display e-paber ekraanide juhtimiseks. Teksti kuvamiseks kasutab kood arvutist saadetud bitikaart (ingl. k *bitmap)* tüüpi pilte, sest teek ise ei suuda tekitada tekstifonte suuremaid kui 27 pt, mis on suurelt ekraanil kuvamiseks liiga väikesed.

Koodi tööpõhimõte on selline, et arvutiga ühendades käivitub mikrokontroller, konfigureerib sisend-väljundviigud ja vajalikud muutujad ning alustab jadaühendust arvutiga. Kui jadaühendusse tekivad andmed, siis veendub programm nende õigsuses ja saab aru, mitmenda ekraani pilt saadeti. Andmed sisaldavad pildiandmeid, pildi indeksit (mitmendale ekraanile kuvatakse) ning kontrollkoodi andmete õigsuse kontrolliks. Pilte saab vastu võtta nii kõikide ekraanide omi järjest kui ka eraldi. Kui andmed on vastu võetud ja andmete õigsus kontrollitud, alustab mikrokontroller suhtlust pildi indeksile vastava ekraaniga, puhastab ekraani vanadest andmetest ning kuvab uue pildi ning see protsess kordub, kuni kõik vastuvõetud pildid on vastavale ekraanile kuvatud.

5.5.2. Arvutipoolne tarkvara

Arvutipoolne tarkvara on kirjutatud C++ ja C# programmeerimiskeeltes kasutades Microsoft Visual Studio programmeerimistarkvara ning on kasutatav Microsoft Windows operatsioonisüsteemiga arvutitega. Tarkvara koosneb kahest põhiosast: graafiline kasutajaliides ning teksti pildiks muutmise ning saatmise osa.

Graafiline kasutajaliides (joonis 19) põhineb SFML ja SFGUI teekidel. Kasutajaliides aitab kasutajal seada teksti ekraanidele kasutades programmi enda poolt loodud reaalajas eelvaadet. Eelvaatel on näha ka mustade postidega tähistatud ekraanide liitekohad, mis aitavad kasutajal näha, kuhu teksti paigutada ei tohiks. Kasutaja saab sisestada ekraanile kuvatava teksti, teksti liigutada, muuta tähevahet, teksti suurust ja kirjastiili ning seejärel saata teksti sildile kas eraldi erkaanide kaupa või kõik korraga.

Kui kasutaja vajutab ühele pildi saatmise nuppudest, võtab programm eelvaates loodud bitikaardi formaadis pildi, võtab arvesse mitmenda pildiga on tegu, valib seda arvestades alguspositsiooni ning pakib pildi pikslid (bitid) üheks vektoriks. Vektorile lisatakse ka pildi indeks. Seejärel üritatakse algatada suhtlus ESP32 mikrokontrolleriga kasutades kasutades jadaliidest ning kui ühendus on edukas, saadetakse andmed edasi mikrokontrollerile. Kui mikrokontroller on lõpetanud pildi kuvamise, saadab ta arvutile märguande, misjärel loetakse saatmine lõpetatuks ning programmi töö saab jätkuda.

Tarkvara on mõeldud Windowsiga arvutitele ja selle mugavaks paigaldamiseks on loodud paigalduspakett, mis on allalaetav GitHubist (lisa 1).

Joonis 19 arvutipoolne kasutajaliides

5.6. Remonditavus ja jätkusuutlikus

Kuna lahenduses kasutatud komponentidest kõik peale laserlõigatud vineerkorpuse, kaablite ja trükkplaatide on kataloogitooted, on sildi remontimine lihtne, sest kõiki komponente saab rikke esinemise korral tellida. Modulaarse konstruktsiooni kasutamine tähendab, et nende komponentide vahetamine on võrdlemisi lihtne. Sildi elektroonikale saab ligi, kui tagant kõik kruvid eemaldada. Iga hing on kinnitatud nelja kruviga. Ekraanimooduli purunemisel saab vana ekraani korpuse küljest lahti tõmmata, eemaldada ekraani hoidva teibi ning paigaldada uue teibi ja ekraani. Trükkplaatidel kasutatud komponendid on kõik praegu tootmises olevad kataloogitooted ning trükkplaatide skeemid, gerber failid ja ka korpuse joonised on laetud üles GitHubi (lisa 1), kust saab neid vabalt alla laadida.

Kaablid on tehtud selle sildi jaoks, kuid ka kaablite valmistamiseks vajaminevad komponendid on tellitavad ning kaablite valmistamise joonised on samuti GitHubis olemas. Samuti on seal olemas ka kogu komponentide nimekiri (lisa 2).

5.7. Sildi kasutamine

Sildi kasutamine on tehtud võimalikult lihtsaks ning on kirjeldatav järgmiste sammudega:

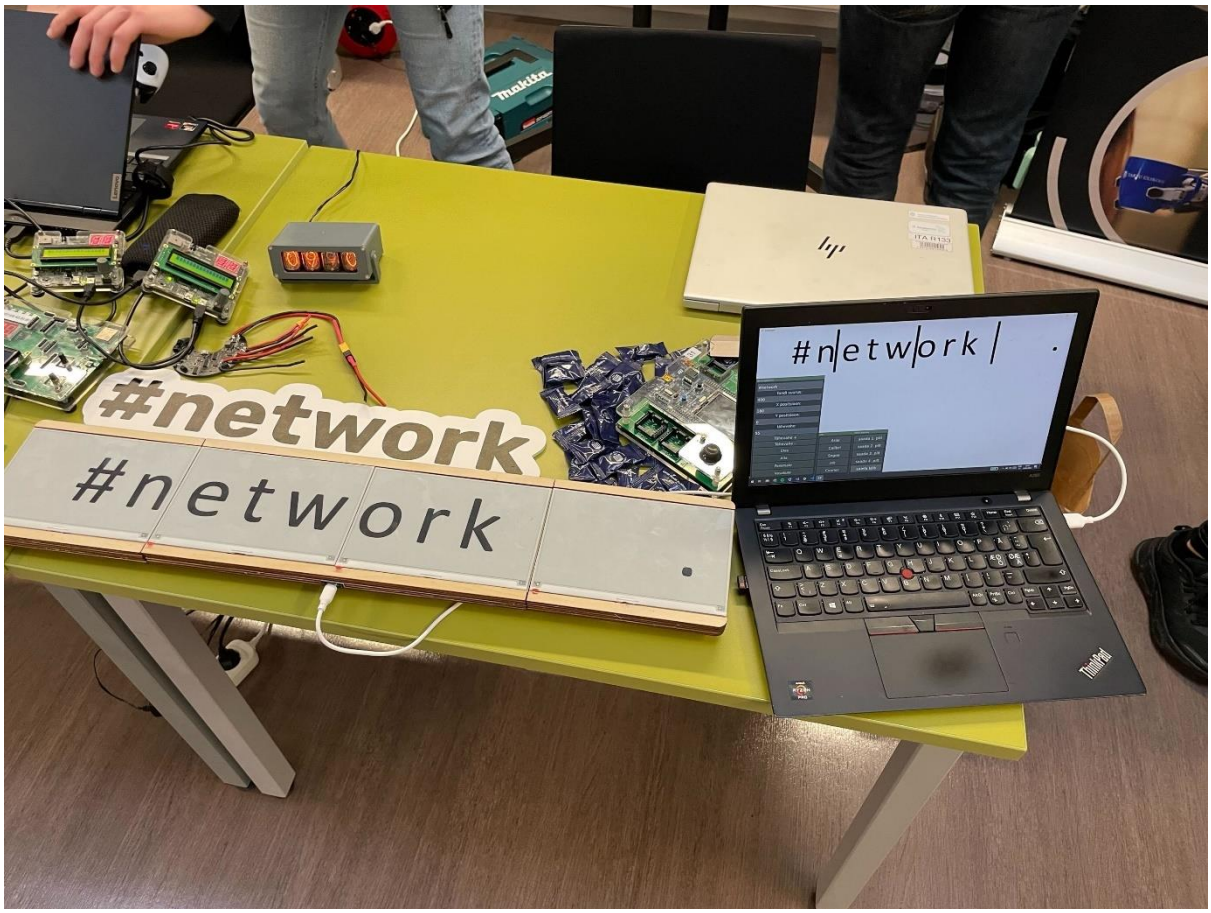
1. Lae alla ning paigalda arvutisse sildi kasutamise tarkvara.
2. Käivita programm.
3. Sisesta tekst, mida kuvada.
4. Muuda teksti suurust, kirjastiili ja asetust vastavalt vajadusele. Pane tähele, et tekst ei satuks eelvaatel mustade tulpade peale, sest need on ekraanide liitekohad. Teksti võib kuvada nii mitmel ekraanil, kui ise soovid.
5. Ühenda silt arvuti USB pesasse kasutades USB-C tüüpi kaablit.
6. Kui kasutad silti oma arvutiga esimest korda, ava Device Manager, leia sealt “Ports (COM & LPT)“ alt “Silicon Labs CP210X“ ning sisesta selle taga olev COM number lahtrisse “COM port“. Siis teab arvuti, millise jadaliisese kaudu sildiga suhelda. Seda peab tegema üldiselt ainult ühe korra, COM number jääb sama seadmega tavaliselt samaks ning programm jätab sulgedes viimase COM numbri meelde.
7. Vajuta nuppu “Saada sildile“ et saata kõikide ekraanide tekst.
8. Sildi ekraanid vilguvad ükshaaval paar korda üleni mustaks ja valgeks ning seejärel tekib kuvatav tekst. Teksti kuvamine võtab natuke aega. Ära ühenda silti lahti enne, kui kõikide ekraanide tekst on kuvatud.
9. Kui kõikidel ekraanidel on tekst ees ja oled paigutusega rahul, võid sildi arvuti küljest lahti ühendada ja kasutama hakata. Kui mõnda ekraani ei kasutatud ja soovid silti kompaktsemaks teha, voldi mitte kasutusel olev ekraan sildi taha.
10. Kui soovid uut teksti kuvada, mine tagasi 3. sammu juurde. Sammu number 6 võid edaspidi vahele jätta.

See kasutusjuhend on olemas ka inglise keeles lisas 4.

5.8. Tagasiside üritustelt ja turundajatelt

Esimest korda sai sildi prototüüpi näidatud 29.02.2024 toimunud Tartu Ülikooli avatud uste päeval, kus oli silt arvutitehnika eriala tutvustaval laual vaatamiseks ja katsumiseks välja pandud (joonis 20). Peale üritust oli tagasiside üldiselt positiivne ja idee meeldis inimestele väga. Samas tuli tagasi ka konstruktiivset kriitikat, mis aitas prototüübi arendamisel. Näiteks tekkis arusaamatus sellega, et e-paber ekraanid töötavad ka ilma vooluallikata ning silt ei pea olema kogu aeg USBga ühendatud. Sellest tuli idee kirjutada ka lihtne kasutusjuhend ning

kuvada see otse kasutajaliidesele. Teine tähelepanek oli seoses kasutajaliidesega: kui panna tekst saatma ning enne saatmise lõpetamist teksti liigutada või muuta, jooksis programm kokku. Sellega tuli idee muuta tarkvara nii, et kasutaja sisend on blokeeritud teksti saatmise ajaks. Peale seda sündmust sai silti transporditud ilma kaitsega auto tagaistmel ja seljakotis, mistõttu sai viga üks ekraanidest. See andis kohe idee, et sildile tuleks leida või valmistada ka sobivas mõõdus transpordikohver või ümbris.



Joonis 20 sildi prototüüp TÜ avatud uste päeval 29.02.2024

Uuesti sai silti kasutatud AHHAA keskuses 9.-10. aprill toimunud õpilaste teadusfestivalil (joonis 21), kus oli silt taaskord tehnoloogiainstituuti ja arvutitehnika eriala tutvustava laua juures. Seal said kasutada silti nii turundajad kui ka külastajad. Rahvale silt meeldis, inimesed käisid ja kirjutasid sildile oma nime või märksõnu ning tegid koos sildiga pilti (joonised 22 ja 23). Huvitav oli näha-kuulda, et paljud polnud e-paber tehnoloogiast varem kuulnud ning see, et ekraanile sai kuvada teksti ning seejärel ekraani vooluallikata kasutada, oli paljudele imestuseks. Võrdluseks oli lauale pandud ka paar plastikust silti ning paljud kommenteerisid, et e-paberist silt on huvitav ja innovatiivne asendus plastikule. Silt toimis terve ürituse probleemivabalt ning tagasiside oli positiivne nii turundajatelt kui külastajatelt.

Joonis 21 Tartu Ülikooli õpilased AHHAA keskuses

Joonis 22 Tervisemuuseumi esindajad AHHAAs silti kasutamas

Joonis 23 TikTokis tuntud suunamudija ja muusik Krispoiss sildiga AHHAA keskuses

Silti oli kasutusel ka 12. aprillil Eesti Lennuakadeemia karjääripäeval (joonis 24). Sellel üritusel sai paigaldatud tarkvara ka teise arvutisse, kus see töötas probleemideta. Silt jäi terveks päevaks üritusele ja sildi kasutamisega saadi ilusti hakkama täiesti iseseisvalt.

Joonis 24 silt Eesti Lennuakadeemia karjääripäeval

5.9. Võimalikud edasiarendused

Kohe algusest peale oli selge, et seda projekti valmistades tuleb palju huvitavaid ideid, mida kõiki kahjuks ei jõua ajaliselt teostada. Sellegipoolest võiks tulevikus olla võimalus funktsioone lisada ja võimekust täiendada. Seepärast said tehtud ka mitmed otsused disaini osas arvestades, et tulevikus oleks võimalik lisada funktsionaalsust. Edasiarenduste võimaluste tekitamine aitab ka toote eluiga pikendada ning minimaliseerida riistvaramuudatuste tõenäosust ja vajalikkust.

Mõned näited ja ideed edasiarenduseks:

- Sildil kasutataval ESP32 mikrokontrolleril on olemas ka Wi-Fi ja Bluetooth võimekus mis annab võimaluse tekitada juhtmevaba ühenduse teiste seadmetega
- Juhtmevaba ühenduse loomise võimalus annab ka potentsiaali mobiilsete rakenduste arenduseks
- ESP32 vaba mäluruum ja vabad GPIO viigud annavad võimaluse erinevate lisamoodulite loomiseks, näiteks näidiseks valmistatud plaat nuppude ja LEDidega, millega saaks lisada erinevate tekstide salvestamise funktsiooni
- Sildil on olemas aku ühendamise võimalus ja laadimiskontroller, mis on vajalik tööks juhtmevaba seadmena
- Puitkorpusele saaks anda värvi kasutades erineva tooniga puidupeitse või puiduvärve

5.10. Siltide süsiniku jalajälg

Igal tootel ja tootmisprotsessil on mingi mõju keskkonnale. Selleks, et saada aimu selle mõjust, arvutatakse välja toote või protsessi süsiniku jalajälg ehk kui palju süsinikku protsess toodab (positiivne jalajälg ehk CO_2 kogus atmosfääris suureneb) või tarbib (negatiivne jalajälg ehk CO_2 kogus atmosfääris väheneb). Tooteid ja protsesse, mis CO_2 ei tekita ega tarbi nimetatakse süsinikneutraalseteks. Süsinikneutraalne jalajälg on hea, süsiniknegatiivne on veel parem.

Et saada aimu, kui palju CO_2 tekib ühe elektroonilise sildi tootmisega ja kui palju ühe keskmise plastiksildi tootmisega ning seejärel arvutada, kui mitme plastiksildi tootmata jätmine on võrdväärne ühe elektroonilise sildi kasutuselevõtuga, tuleb arvutada mõlema umbkaudne süsiniku jalajälg.

Süsiniku jalajälje arvutamine pole lihtne protsess ning väga täpset tulemust on keeruline saada. Küll aga saab arvutada umbkaudse koguse, kui vaadata silti mitte tervikuna, vaid eraldi komponentidena, leida iga komponendi umbkaudne CO_2 jalajälg eraldi ja seeläbi leida lõpuks terviku jalajälg.

5.10.1. Elektroonilise sildi jalajälg

Et leida elektroonilise sildi umbkaudne jalajälg, käsitleme sildi eraldi materjaligruppidena:

- Kasepuidust vineer – 500 kg CO_2 m^3 kohta [35]
- Terasest metallosad – 1850 kg CO_2 1000 Kg kohta [36]
- FR-4 trükkplaadid – 17,7 kg CO_2 1 m^2 kohta [37]
- Vasest kaabel – 4,1 kg CO_2 1 kg kaabli kohta [38]

- E-paber ekraanid – 6,8 tollise e-paber mooduli jalajälg on 3.3 kg CO_2 [39], seega oletame, et 7,5 tollise ekraani puhul on see umbes 4 kg

Neid andmeid kasutades sai sildi põhikomponendid kaalutud ja mõõdetud ning tehtud arvutused kantud tabelisse (joonis 25). Kogu sildi süsinikujalajäljeks tuli umbes 18,16 kg CO_2.

Materjal	**Sisaldus sildis**	**Jalajälg sildis**
Kasepuit vineer	1000 mm * 600 mm * 3 mm tahvel (sealhulgas jääkmaterjal) ehk 0,0018 m^3	900 g CO_2 + 20% liimi ja õli jaoks = 1080 g CO_2
Terasest metallosad	358,5 g kõik metallosad kokku	663,2 g CO_2
FR-4 trükkplaadid	75 mm * 50 mm emaplaat ja 40 mm * 30 mm ekraani plaadid 4tk. Kokku 8550 mm^2 ehk 0.00855 m^2	151,3 g CO_2 + 20% komponentide jaoks = 181,6g CO_2
Vaskkaabel	46.9 g kokku	192,3 g CO_2 + 20% pistikute ja pesade jaos = 230,8 g CO_2
E-paber ekraanid	Neli ekraani, iga ekraan umbes 4 kg CO_2	16 kg CO_2
Kokku		18115,6 g ehk 18,16 Kg CO_2

Joonis 25 tabel sildi süsinikujalajälje arvutustest

5.10.2. Plastikust sildi jalajälg

Plastikust ühekordsed sildid on valmistatud PVC plastikust, mille jalajälg on 7,83 Kg CO_2 iga toodetud Kg PVC kohta [40]. Kuna elektroonilise sildi materjalidesse pole arvutatud vineeri laserlõikust ja PVA liimi, siis ka plastikust sildi arvutamisel lõikamist, printimist ja viimistlemist ei arvesta, sest nende protsesside kohta on mõlemal puhul usaldusväärseid andmeid vähe.

Selleks, et leida keskmise sildi kaal, sai olemasolevatest siltidest valitud selline, mis oma pikkuse poolest kasutaks ära suurema osa olemasolevast ekraanipinnast. Selleks osutus silt kirjaga "#suunanäitaja", mis kaalus 137,8 grammi (joonis 26). Vaadates olemasolevaid silte oligi see üsna keskmine tekstipikkus, sest suurem osa silte olid umbes sama pikad ning leidus võrdselt ka silte, mis olid palju pikemad ning ka silte, mis olid palju lühemad.

Arvestades sildi kaalu 137,8 grammi, ning et 1 Kg PVC tootmisest eraldub 7,83 Kg CO_2, saame, et selle sildi tootmisest eraldus umbes 7,83 * 0,138 = 1,08 Kg CO_2.

Kokku oli Tartu Ülikooli Delta hoones kohapeal olemas 52 silti. Kui arvestada keskmise sildi süsinikjalajäljeks 1,08 Kg CO_2, siis kõikide nende siltide tootmine kokku on tekitanud umbes 56,15 Kg CO_2.

Joonis 26 silt kirjaga "#suunanäitaja"

5.10.3. Jalajälgede võrdlus

Kui võrrelda ühe plastiksildi umbkaudset jalajälge 1,08 Kg CO_2 elektroonilise sildi umbkaudse jalajäljega 18,16 Kg CO_2, võib esmapilgul tunduda, et elektrooniline silt on palju saastavam. Kui aga arvestada, et plastikust sildil olevat teksti muuta ei saa ja silt on lõppkokkuvõttes ühesugune aga elektrooniline silt suudab oma eluea jooksul kuvada kasvõi tuhandeid märksõnu, on pikas perspektiivis elektroonilise sildi teoreetiline jalajälg palju väiksem.

Kogu senini toodetud 52 sildi jalajälg on umbes 56,16 Kg CO_2, mis on natuke rohkem kui kolme elektroonilise sildi jalajälg. Kui aga arvestada taaskord, et kõik need sildid kuvavadki kokku ainult 52 sõna oma eluaja jooksul ning osad neist on juba praeguseks ilmselt kasutusest maas, ei ole see taaskord väga jätkusuutlik.

Üks elektrooniline silt on oma jalajäljelt võrdne umbes 17 plastikust sildiga, mis tähendab, et kui silt on oma elu jooksul kuvanud rohkem kui 17 sõna, on see juba võit toodetud CO_2 osas. Juba näiteks AHHAAs toimunud teadusfestivalil kuvas silt kahe päeva peale rohkem

märksõnu. Kui igast kuvatud sõnast toota plastikust versioon ning seda igal üritusel, oleks see meeletu kogus süsinikku. Seega pikas perspektiivis on elektrooniliste siltide kasutamine keskkonnale parem, kui ühekordsete plastiksiltide tootmine.

Kokkuvõte

Sotsiaalmeedia ning seal turundamine on tänapäeval olulised ja aktuaalsed teemad. Samuti ka süsiniku jalajälgede vähendamine, jätkusuutlik tootmine ning ühekordse kasutusega toodete vähendamine.

Praegusel hetkel on Tartu Ülikooli majandusteaduskonna ja tehnoloogiainstituudi turundusmeeskondadel kasutusel ühekordsed plastikust *hashtag*idega (teemaviidetega) sildid, mida ei saa muuks kasutada, kui ainult neile prinditud teemaviite näitamiseks. Kuigi sobivad uued tehnoloogiad on olemas, ei ole nendele siltidele olemasolevat korduvkasutatavat alternatiivi.

Et vähendada ühekordse kasutusega siltide tootmist ning teha nende kasutamine mitmekülgsemaks, valmis töö tulemusena korduvkasutatav, muudetava tekstiga elektrooniline e-paber ekraanidega silt, mida saab juurde toota ning mille kasutuselevõtt pakub hea alternatiivi plastikust siltide tootmisele. Üritustel selgus ka, et elektrooniline silt lisab juurde rohkem kasutusvõimalusi ja võimaldab sihtrühmal rakendada oma loovust, luues endale sobivaid teemaviiteid, näiteks #krispoiss ja #insenerid.

Lisad

Lisa 1 - GitHubi link

GitHubi link. Siin on saadaval kogu projekti elektroonika, koodi ja kopruse failid.

https://github.com/JaemaaJ/HashTagSign

Lisa 2 - Komponentide ja materjalide loetelu

See tabel on Exceli failina olemas ka GitHubis (lisa 1).

Nimetus	Kust tellida/osta	Tellimiskood/link	kogus
boot/en switch	Farnell	1703878	10
SRV05-4.TCT	Farnell	1456415	1
100nf 50 0603	Farnell	1288255	40
1uf 50 0603	Farnell	2211179	50
22uf 1206	Farnell	2820961	10
MCP73833-FCI/UN	Farnell	1605576	1
1k 0603	Farnell	2861864	20
ntc 10k 0603	Farnell	3470898	10
TC1262-3.3VDBTR	Farnell	1296594	1
10k 0603	Farnell	2616584	40
470r 0603	Farnell	2861880	40
4k7 0603	Farnell	3495312	40
MIC94073YC6-TR	Farnell	2510492	4
1206 smd led	Farnell	3548451	3
4 pin tht sw	Farnell	2469915	3
tht led	Farnell	1685027	3
0r47 0603	Farnell	2328098	4
bss138	Farnell	9845330	5
4.7uf 0603	Farnell	3873429	5
10uh	Farnell	1463479	5
mbr0530	Farnell	1431036	12
S8B-XH-A (LF)(SN)	Farnell	1516296	8
S2B-XH-A (LF)(SN)	Farnell	1516289	1
S4B-XH-A (LF)(SN)	Farnell	1516291	1
S10B-XH-A (LF)(SN)	Farnell	1516298	2
24FLZ-SM2-TB(LF)(SN)	Farnell	2399414	4
CP2102N	Farnell	3013847	1
0r 0603	Farnell	2073345	10
10n 0603	Farnell	3369402	10
Emaplaadi PCB	JLC	Gerber GitHubis	1
Ekraani PCB	JLC	Gerber GitHubis	4
Adam Hall K4NCAT5	Artsound and Lights	https://www.artsoun	1 meeter
Hinged L	Aliexpress	https://www.aliexpr	2
Hinged R	Aliexpress	https://www.aliexpr	2
Waveshare 7.5" V2 e-paper	Aliexpress	https://www.aliexpr	4
Sang LS506-5	Aliexpress	https://www.aliexpr	2
XH 2.54MM Dual, Length 200mm, 8Pin	Aliexpress	https://www.aliexpr	1
USB C 4pin	Aliexpress	https://www.aliexpr	1
Kaabliside 140*3.5	Espak	https://espak.ee/epc	1
Puitkorpus	Eccom	DWG GitHubist	1
M3 puidumutter	Baltic Bolt		24
M3 x 10 polt ristpea	Baltic Bolt		24
M3 vedruseib	Baltic Bolt		16
Keermeliim Loctite 243	Baltic Bolt		1
Kahepoolne teip 1mm paks	Oomipood		1
Puiduliim	Ehituspood	PVA standartne	väike pudel
Termokahanev rüüs 2mm	Elektrikaupade pood		0.5m
Termokahanev rüüs 6-7mm	Elektrikaupade pood		0.5m

Lisa 3 – Kaablite värvikoodi tabel

See tabel on tehtud kasutades standardse värvikoodiga CAT5 kaablit ning lisas 2 toodud tabelis olevaid JST XH kaableid. JST pistikutega kaablid on keskelt pooleks lõigatud ning seejärel sinna vahele joodetud umbes 20 cm pikkune jupp kooritud Adam Hall K4NCAT5 kaablit. Võib kasutada ka oma vabalt valitud värvikoodi, peaasi, et kaablid on mõlemalt poolt sama koodi järgi joodetud/pressitud.

JST	**K4NCAT5**
Roheline	Roheline
Sinine	Sinine
Oranž	Oranž
Must	Pruun
Valge	Roheline-valge
Lilla	Sinine-valge
Kollane	Oranž-valge
Punane	Pruun-valge

Lisa 4 – inglisekeelne kasutusjuhend

1. Download and install the e-paper sign software from the git repository
2. Run the program
3. Enter the text you wish to display
4. Adjust text size, font, positioning and letter spacing according to your preferences. The black bars in the text preview show where the dead space between display panels is. For best results, adjust text not to touch these bars. You can place the text on as many or few screens as you wish.
5. Connect the sign to your computer using a USB type-C cable.
6. If you are using the sign with your PC for the first time, open Device Manager, under “Ports (COM & LPT)“ find “Silicon Labs CP210X“ take note of the COM number and type that number into the “COM port“ field in your sign software. This tells your computer what COM port to use to communicate with the sign. This needs to be done only once as the COM port number usually does not change and the software will remember the port you entered for future use.
7. Press the button “Saada sildile“ to send the text to the sign.

8. The screens will flash black and white a few times and the text will begin to appear on the sign. This will take a few moments. Do not disconnect the sign until the full text has appeared.
9. If all the screens are displayed and you are happy with the placement then you can disconnect the sign and start using it. If you did not use all the screens, the side screens can be folded behind the sign when not in use.
10. If you wish to display another text, go back to step 3. You can skip step 6 from now on.

Tänuavaldused

Tänan oma juhendajat professor Alvo Aabloot lahenduste leidmisel kaasamõtlemise ja ideede andmise eest. Samuti juhendajat ja Tartu Ülikooli turundusspetsialisti Mariana Kukke meeldiva koostöö ja tagasiside eest ja Tartu Ülikooli elektroonikaspetsialisti Teet Tilka elektroonika osa tagasiside ja komponentide tellimisega abistamise eest.

Viited

[1] D. Chaffey, „Global social media statistics research summary 2024,“ Smart Insights, 1 veebruar 2024. [Võrgumaterjal]. https://www.smartinsights.com/social-media-marketing/social-media-strategy/new-global-social-media-research/. [Kasutatud 2 veebruar 2024].

[2] N. Schaffer, „61 Compelling Social Media Marketing Statistics You Need To Know For 2024,“ Neal Schaffer, 16 jaanuar 2024. [Võrgumaterjal]. https://nealschaffer.com/social-media-marketing-statistics/. [Kasutatud 2 veebruar 2024].

[3] F. Rose-Collins, „Miks sotsiaalmeedia turundus on e-kaubanduse jaoks oluline?,“ Ranktracker, 26 mai 2023. [Võrgumaterjal]. https://www.ranktracker.com/et/blog/why-social-media-marketing-is-important-for-e-commerce-business/. [Kasutatud 2 veebruar 2024].

[4] S. Lauron, „7 Types of Social Media Interactions (and How To Handle Them),“ Hootsuite, 18 juuli 2023. [Võrgumaterjal]. https://blog.hootsuite.com/social-media-interaction/. [Kasutatud 4 veebruar 2024].

[5] P. Roger, „How social media helps increasing environmental awareness ?,“ Medium, 8 november 2019. [Võrgumaterjal]. https://medium.com/@percevalroger_16306/how-social-media-helps-increasing-environmental-awareness-22daa21cbf8d. [Kasutatud 7 veebruar 2023].

[6] CBC News, „Why social media can play a positive role in environmental action,“ CBC, 22 august 2019. [Võrgumaterjal] https://www.cbc.ca/news/science/what-on-earth-newsletter-climate-action-social-media-1.5256653. [Kasutatud 9 veebruar 2024].

[7] A. Y. Lee, „Microtrends: The Implications of What You See on Your “For You” Page,“ The Harvard Crimson, 18 veebruar 2022. [Võrgumaterjal]. https://www.thecrimson.com/article/2022/2/18/microtends-fashion-think-piece-tiktok/. [Kasutatud 10 veebruar 2024].

[8] Sprout Social, „Hashtags: What they are and how to use them effectively,“ Sprout Social, 16 märts 2023. [Võrgumaterjal]. https://sproutsocial.com/insights/what-is-hashtagging/. [Kasutatud 10 veebruar 2024].

[9] K. Celuch, „Hashtag usage and user engagement on Instagram: The case of #foodfestivals,“ *Journal of Physical Education and Sport,* kd. 21, nr 2, pp. 966-973, 2021.

[10] L. Grossman, „Iran Protests: Twitter, the Medium of the Movement,“ TIME, 17 juuni 2009. [Võrgumaterjal]. https://content.time.com/time/world/article/0,8599,1905125,00.html. [Kasutatud 28 märts 2024].

[11] Esigns, „Signs of the Times: A Brief History of Signages,“ Esigns, [Võrgumaterjal]. https://www.esigns.com/history-of-signages.html. [Kasutatud 14 veebruar 2024].

[12] B. K. Brown, „Part 3 History of Signs and Printing from Papyrus to Gutenberg,“ Visigraph, 29 märts 2023. [Võrgumaterjal]. https://www.visigraph.com/signs/signs-and-printing/. [Kasutatud 14 veebruar 2024].

[13] E. Radcliffe, „The History of Digital Signage,“ Saturn Visual, 29 juuni 2023. [Võrgumaterjal]. https://saturnvisual.com/history-of-digital-signage/. [Kasutatud 14 veebruar 2024].

[14] S. Rabbani, M. Ahmed ja A. H. Zahid, „E-Ink; Revolution of Displays,“ *MATEC Web of Conferences,* kd. 381, pp. 1-2, Juuni 2023.

[15] Supernote, „The history of electronic paper,“ Supernote, 29 Juuli 2019. [Võrgumaterjal]. https://medium.com/@supernote/the-history-of-electronic-paper-cdafa0d6cc38. [Kasutatud 4 november 2023].

[16] Visionect, „Electronic paper explained: what is it and how does it work?,“ Visionect, 14 detsember 2023. [Võrgumaterjal]. https://www.visionect.com/blog/electronic-paper-explained-what-is-it-and-how-does-it-work/. [Kasutatud 4 november 2023].

[17] Nelson Miller, „Why Do LCDs Require a Backlight?,“ Nelson Miller, 14 mai 2019. [Võrgumaterjal]. https://nelson-miller.com/why-do-lcds-require-a-backlight/. [Kasutatud 4 november 2023].

[18] Good Display, „New 1.54 inch e-paper display with backlight partial refresh E-ink GDEH0154D67-FL,“ Good Display, [Võrgumaterjal]. https://www.e-paper-display.com/products_detail/productId%3D474.html. [Kasutatud 20 veebruar 2024].

[19] S. Kong-King ja L. Der-Song, „Preferred viewing distance and screen angle of electronic paper displays,“ *Applied Ergonomics*, kd. 38, nr 5, pp. 601-608, 2007.

[20] J. Xinkai ja Z. Guoqin, „Design and Realization of the electronic clock with E Ink screen,“ %1 *2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, Chongqing, 2020.

[21] Wilipedia, „E-reader,“ Wikipedia, [Võrgumaterjal]. https://en.wikipedia.org/wiki/E-reader. [Kasutatud 20 veebruar 2024].

[22] Photopoint, „E-lugerid,“ Photopoint, [Võrgumaterjal]. https://www.photopoint.ee/koik-e-lugerid?ship_to=EE. [Kasutatud 11 märts 2024].

[23] Papercast, „E-paper Display Applications,“ Papercast, [Võrgumaterjal]. https://www.papercast.com/e-paper-display-applications/. [Kasutatud 2024 märts 11].

[24] E-Shelf-Labels, „E-INK DISPLAYS,“ E-Shelf-Labels, [Võrgumaterjal]. https://www.e-shelf-labels.com/hardware/e-ink-displays.html. [Kasutatud 11 märts 2024].

[25] Minew Tag, „Electronic Shelf Label,“ Minew Tag, [Võrgumaterjal]. https://www.minewtag.com/products/electronic-shelf-label/electronic-shelf-label.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw17qvBhBrEiwA1rU9w9gymTV9C9W-5EBXLS5DxNC1ry2ZuHLZw8Tf02rgOYfdi8IBVj-i4BoC0JsQAvD_BwE. [Kasutatud 11 märts 2024].

[26] Espressif Systems, „ESP32WROOM32E ESP32WROOM32UE Datasheet,“ 18 jaanuar 2023. [Võrgumaterjal]. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf. [Kasutatud 12 märts 2024].

[27] Silicon Labs, „USBXpress™ Family CP2102N Data Sheet,“ november 2020. [Võrgumaterjal]. https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/cp2102n-datasheet.pdf. [Kasutatud 12 märts 2024].

[28] Waveshare, „E-Paper Driver HAT,“ Waveshare, [Võrgumaterjal]. https://www.waveshare.com/wiki/E-Paper_Driver_HAT. [Kasutatud 13 märts 2024].

[29] Waveshare, „e-Paper Driver HAT Rev2.3,“ [Võrgumaterjal]. https://files.waveshare.com/upload/8/8e/E-Paper_Driver_HAT.pdf. [Kasutatud 13 märts 2024].

[30] Waveshare, „7.5inch e-Paper V2.0 Specification,“ 28 mai 2019. [Võrgumaterjal]. https://www.waveshare.com/w/upload/6/60/7.5inch_e-Paper_V2_Specification.pdf. [Kasutatud 13 märts 2024].

[31] SAIC Service Bureau, „Resolution + Viewing Distance,“ SAIC, [Võrgumaterjal]. https://sites.saic.edu/servicebureau/home/help_center/resolution-viewing-distance/. [Kasutatud 13 märts 2024].

[32] Y. Yakimova, „Long-awaited common charger for mobile devices will be a reality in 2024,“ European Parliament, 4 oktoober 2022. [Võrgumaterjal]. https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20220930IPR41928/long-awaited-common-charger-for-mobile-devices-will-be-a-reality-in-2024. [Kasutatud 13 märts 2024].

[33] Microchip, „MCP73833,“ Microchip, [Võrgumaterjal]. https://www.microchip.com/en-us/product/mcp73833. [Kasutatud 15 märts 2024].

[34] E. R. Ghomi, F. Khosrav, A. S. Ardahaei, Y. Dai, R. E. Neisiany, F. Foroughi, M. Wu, O. Das ja S. Ramakrishna, „The Life Cycle Assessment for Polylactic Acid (PLA) to Make It a Low-Carbon Material,“ *Polymers,* kd. 13, nr 11, 2021.

[35] Garnica, „Your Carbon Footprint in the Plywood Industry,“ Garnice, 13 juuli 2022. [Võrgumaterjal]. https://www.garnica.one/en-us/blog/carbon-footprint.html. [Kasutatud 19 märts 2024].

[36] A. Kamczyc, „World Steel Association releases paper on CO2 emission reduction,“ Recycling Today, 17 mai 2021. [Võrgumaterjal]. https://www.recyclingtoday.com/news/worldsteel-co2-report/. [Kasutatud 19 märts 2024].

[37] Jiva Materials, „Efficient Manufacturing of Recyclable Composite Laminates for Electrical Goods,“ 2020. [Võrgumaterjal]. https://instct.org/images/stories/journal/vol_13/vol_13_3/ICT/201119_ReCollect_ICT_Autumn_Webinar_Slides.pdf. [Kasutatud 19 märts 2024].

[38] B. D. Wachter, „Whitepaper - Electrical Conductors,“ European Copper Institute, 2019.

[39] S. Beckett, „E Ink Carbon Footprint Verified by British Standards Institution, Compliant With ISO Standard,“ rAVe [PUBS], 26 august 2022. [Võrgumaterjal]. https://www.ravepubs.com/e-ink-carbon-footprint-verified-by-british-standards-institution-compliant-with-iso-standard/. [Kasutatud 19 märts 2024].

[40] Q. Liang ja L. Yu, „Assessment of carbon emission potential of polyvinyl chloride,“ *E3S Web of Conferences,* kd. 393, 2023.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Joel Jaemaa

1. Annan Tartu Ulikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

   “E-paberil korduvkasutatava #(hashtag) sildi loomine“

   mille juhendaja on professor Alvo Aabloo

   reprodutseerimiseks eesmargiga 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 Commonsi litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja uldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autorioiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud oigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse oigusaktidest tulenevaid õigusi.

Joel Jaemaa

05.04.2024