

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Tehnoloogiainstituut

Uku Soome

**CHESSMOVE MALELAUA PROTOTÜÜBILE TARKVARA  
ARENDAMINE**

Bakaleureusetöö (12 EAP)

Arvutitehnika eriala

Juhendajad:

MSc Renno Raudmäe

MSc Hendrik Türk

Tartu 2021

## Resümee

Bakalaureusetöö käigus loodi ChessMove malelaua prototüübile tarkvara, testiti selle töötamist ning dokumenteeriti tehtud töö.

Kirjaliku töö esimeses osas võrreldakse ChessMove malelauda teiste turul olevate elektrooniliste malelaudadega ning kirjeldatakse ChessMove malelaua riistvara ja tarkvara loomisel kasutatuid vahendeid. Tarkvara loodi arendusraamistikku ESP-IDF abil. ESP-IDF kasutati operatsioonisüsteemis Ubuntu 16.04 loodud tarkvara kompileerimiseks ning mikrokontrollerile laadimiseks. Malelauale on loodud veebiserver aine Tarkvaraprojekt raames Kert Tali poolt. Malelaud kasutab ühenduvuse jaoks WiFi-t ning suhtleb lokaalses võrgus asuva serveriga kasutades HTTP POST meetodit. Riistvaras kasutatakse mikrokontrollerit ESP32-WROVER ning nuppude juhtkontrollerid AT42QT1110-AUR.

Töö teises osas antakse ülevaade loodud tarkvarast ning kirjeldatakse malelaua ja serveri testimist. Serveri testimisel leiti, kui palju mängu veebiserver korraga ilma hangumata suudab kuvada. Tarkvara testimist tehti enamjaolt tarkvara loomise ajal. Töö tarkvara dokumenteeriti koodihoidlas GitHub.

Töö kolmandas osas antakse soovitusi malelaua edasiseks arendamiseks ning tehakse tööst kokkuvõte. Tehtud töö anti üle ChessMove esindajatele.

**CERCS:** T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia

**Märksõnad:** ChessMove, Elektrooniline malelaud, Tarkvara arendus, Manussüsteemid, ESP-IDF, ESP32-WROVER, AT42QT1110-AUR

## **Abstract**

In this bachelors' thesis software was created for ChessMove prototype chess board. The software was tested and documented.

In the first part of this thesis, ChessMove chess board is compared to other electronic chessboards on the market and ChessMove hardware and tools used for the development of software are described. ESP-IDF was used for developing software. ESP-IDF was used in Ubuntu 16.04 operating system to compile and upload the code to the microcontroller. The chessboard web server was made by Kert Tali during the course Software Project. The chess board uses WiFi to connect to the web server and HTTP POST method to communicate with the web server in a local network. Microcontroller used was ESP32-WROVER and button lead controllers were AT42QT1110-AUR.

The second half gives an overview of the software created in this bachelors' thesis and describes how the chessboard and the server were tested. During the testing of the web server it was found how many games the server can display without crashing. Software was mostly tested during the development. Software was documented in GitHub.

In the third part, the author gives suggestions on what to further develop in the future and the work is summarized. The chess board software and documentation was given to the representatives of ChessMove.

**CERCS:** T120 Systems engineering, computer technology

**Keywords:** ChessMove, Electronic chessboard, Software development, Embedded system, ESP-IDF, ESP32-WROVER, AT42QT1110-AUR

# Sisukord

<b>Resümee .....</b>	<b>2</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>3</b>
<b>Jooniste loetelu .....</b>	<b>6</b>
<b>Tabelite loetelu .....</b>	<b>7</b>
<b>Mõisted, terminid.....</b>	<b>8</b>
<b>Sissejuhatus .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Kirjanduse ülevaade .....</b>	<b>10</b>
1.1    Elektroonilised malelauad .....	10
1.1.1    Chess Challenger .....	10
1.1.2    Digital Game Technology .....	10
1.1.3    Square Off.....	11
1.1.4    ChessUp.....	12
1.2    Malelaudade võrdlus .....	13
<b>2 Nõuded .....</b>	<b>16</b>
<b>3 Arendatav platvorm ja arendusvahendid.....</b>	<b>17</b>
3.1    Riistavara.....	17
3.1.1    ESP32-WROVER.....	18
3.1.2    AT42QT1110-AUR.....	18
3.1.3    Mahtuvuslikud nupud .....	18
3.1.4    Aku .....	19
3.2    ESP-IDF .....	20
3.3    Programmeerimiskeel.....	20
3.4    Server .....	20
<b>4 Tarkvara arendus .....</b>	<b>23</b>
4.1    WiFi konfiguratsioon .....	23
4.2    SPI konfiguratsioon.....	23
4.3    Nuppude info lugemine.....	24
4.4    Käikude edastamine serverile.....	25
<b>5 Testimine.....</b>	<b>27</b>
5.1    Server .....	27
5.2    Malelaud.....	27
<b>6 Ettepanekud riistvara ja tarkvara edasiseks arendamiseks .....</b>	<b>29</b>

<b>Kokkuvõte.....</b>	<b>30</b>
<b>Viited .....</b>	<b>31</b>
<b>Lisad .....</b>	<b>35</b>
Lisa 1 Algebraalne notatsioon .....	35
Malelaud ja malendid .....	35
Käikude märkimine .....	36
Lisa 2 Malelaua elektroonika plaadid .....	36
Juhtplaat.....	37
Juhitav plaat.....	38
<b>Lihlitsents .....</b>	<b>39</b>

## Jooniste loetelu

Joonis 1.1: Chess Challenger 1 [6] .....	10
Joonis 1.2: Tournament E-Board [9] .....	11
Joonis 1.3: Grand Kingdom Set [9] .....	12
Joonis 1.4: ChessUp [11] .....	13
Joonis 3.1: ChessMove malelaua skeem.....	18
Joonis 3.2: Nuppude puudutamise tuvastamine [21] .....	19
Joonis 3.3: ChessMove serveri esileht .....	21
Joonis 3.5: ChessMove serveri ajaloo vaade .....	22
Joonis 4.1: ESP32-WROVER pinout .....	24
Joonis 4.2: ChessMove malelaua programmi plokkskeem.....	26
Joonis Malelaud koos malendite algväljadega [15] .....	35

## Tabelite loetelu

Tabel 1.1: Malelaudade võrdlus.....	13
Tabel 5.1: Serveri testimine skriptiga .....	27

## **Mõisted, terminid**

**FIDE** (*International Chess Federation*) – Rahvusvaheline maleföderatsioon

**FFC** (*Flexible Flat Cable*) – Painduv lamekaabel

**SPI** (*Serial Peripheral Interface*) – Sünkroonse järjestiksuhtluse liidese standard

**USB** (*Universal Serial Bus*) – Universaalne järjestiksiin

**UART** (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) – Universaalne asünkroontransiiver

**HTTP** (*Hypertext Transfer Protocol*) – Hüperteksti edastusprotokoll

**DGT** – Digital Game Technology

## Sissejuhatus

Malet on teadaolevalt mängitud pea 1500 aastat [1]. Malemäng soodustab kognitiivset arengut, arendades sealjuures keskendumisvõimet, õpetades probleemilahendamise oskust ning suurendades mälumahtu [2].

Maleturniiridel on mängijatel kohustus enda ja vastase käike märkida algebralise notatsiooniga [3]. Märkimiseks võib kasutada paberit või FIDE (*International Chess Federation*) nõuetele vastavat elektroonilist seadet [4]. Elektroonilised malelauad võimaldavad maleturniiridel võistlejatel jätta käigud märkimata ning keskenduda ainult mängule. Elektrooniliste malelauadade abil saavad kohtunikud mängu jälgida ühest kesksest kohast. FIDE turniiridel on korraldajatel kohustus edastada mängude internetis [4] ning elektroonilised malelauad lihtsustavad seda.

Kõnes Jaan Ehlvestiga [5] selgus, et hetkel on elektroonilised malelauad kasutuses ainult suurtematel võistlustel nagu USA meistrivõistlused. Väiksematel maleklubi võistlustel neid eriti ei kasutata, kuna olemasolevad lahendused on selleks liiga kulukad.

Väljaspool maleturniire saab elektroonilisi malelauadu kasutada ka male õppimiseks mängides malet üle internet teiste mängijate või arvuti vastu. Elektrooniliste malelauadadega on lihtsamalt võimalik mängu tagantjärele vaadata ja analüüsida.

ChessMove on Adam Erki Enok poolt loodud ettevõtte bakalaureusetöös kasutatava malelaua jaoks. Kõik tudengite poolt malelauale loodud tarkvara on avatud lähtekoodiga ning internetist kättesaadav.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on etteantud nõudeid kasutades luua ja dokumenteerida tarkvara ChessMove malelaua prototüübile

# 1 Kirjanduse ülevaade

## 1.1 Elektroonilised malelauad

### 1.1.1 Chess Challenger

Esimesene elektrooniline malearvuti *Chess Challenger 1* ilmus aastal 1977. Tegemist oli väga algelise elektroonilise malelauaga, mis sisaldas ainult male põhireeglid ning see lubas mängijal teha ka reeglite vastaseid käike [6]. Mängimiseks tuli käike sisestada manuaalselt malelaual oleva klaviatuuriga. Laual olid veeru ja ridade tähised omavahel vahetuses [7].



Joonis 1.1: Chess Challenger 1 [6]

### 1.1.2 Digital Game Technology

Digital Game Technology elektroonilisi malelaudu on kasutatud maleturniiridel üle maailma alates aastast 1998 [8]. DGT (Digital Game Technology) seadmed võimaldavad mängida arvutiprogrammi vastu. Malelaua igal väljal on nurkades valgusdiodid, mis näitavad arvutiprogrammi poolt tehtud käike.

DGT pakub mitut erinevat tüüpi malelaudu. Peamistest kahest esimene on mõeldud personaalseks kasutamiseks ning see ühendub arvutiga Bluetooth liidese kaudu. Teine on mõeldud maleturniiridele ning see vajab arvutiga suhtlemiseks USB (*Universal Serial Bus*) ühendust.

Turniiridel ühendatakse 12 malelauda ühenduskarpide abil kokku ühele siinile, mis omakorda ühendub USB-kaablit kasutades arvutiga.

See tähendab, et ühe arvutiga on võimalik ühendada USB pesade arv korda 12 lauda [9].



Joonis 1.2: Tournament E-Board [9]

### 1.1.3 Square Off

Square off [10] pakub elektroonilist malelauda Grand Kingdom Set, mille peamiseks funktsionaalsuseks on iseseisvalt malendite liigutamine. Mängijal on võimalik valida maleprogrammi erinevate raskusastmete vahel. Lauda juhitakse Bluetooth liidese abil ühendatud nutitelefoni [11]. Malelauaga on võimalik mängida teiste mängijatega üle interneti ning malelaul on robootiline malendeid magneti abil liigutav käsi [12].



Joonis 1.3: Grand Kingdom Set [11]

#### 1.1.4 ChessUp

ChessUp elektroonilised malelaud ühenduvad Bluetooth liidese abil nutitelefoni. Maledeid puudutades näitab malelaud võimalikke käike ning erinevate värvidega eristatakse ka seda, kui hea mingi käik on. Malelaua on võimalik valida, mis tasemel programm kaasa aitab ja õpetab. Madalamatel tasemetel aitab programm kriitilistest vigadest hoiduda, kõrgematel tasemetel näitab malelaua program värvide abil, kui head käigud on. Selle lauaga on võimalik mängida üle interneti teiste mängijatega [13].



Joonis 1.4: ChessUp [13]

## 1.2 Malelaudade võrdlus

Tabel 1.1: Malelaudade võrdlus

Funktsionaalsus	ChessMove prototüüp malelaud	Digital Game Technology	Square Off	ChessUp
Ühenduvus	WiFi	Bluetooth/USB	Bluetooth	Bluetooth
Toide	Aku	Aku	Aku	Aku
Aku kestvus	8.5h	24h	Pole teada	12h
Arvutiprogrammi vastu mängimise võimalus	Ei	Jah	Jah	Jah
Mängimine üle interneti	Ei	Jah	Jah	Jah
Mängude salvestus	Jah	Jah	Jah	Jah

Keskne malelaudade haldus turniiriks	Jah	Jah	Ei	Ei
Laua kokku voltimine	Jah	Ei	Ei	Ei
Reaalajas mängus eelise näitamine	Jah	Jah	Ei	Ei
Tehtud käigud algebralises notatsioonis kättesaadavad	Jah	Ei	Ei	Ei

Bluetooth liidese abil saab ühendada seadmeid üks ühele põhimõttel, ehk ühe arvuti või telefoniga saab ühendada ühe Bluetooth seadme. Bluetooth 5.2 versiooni dokumentatsiooni järgi saab ühe Bluetooth juhtseadmega juhtida seitset juhitavat seadet [14]. Kuid eespool toodud firmade malelaudadel seda versiooni ei kasutata. Bluetoothi leviala (10m [15]) on peaaegu 5 korda väiksem, kui WiFi (45m siseruumides [16]). Bluetoothi leviala suurendamiseks ja mitme seadmega korraga ühendumiseks on loodud WiFi ruuteritega sarnased seadmed, kuid need on mõeldud ühe seadmega mitut Bluetooth seadet juhtima [17]. WiFi ruuter on palju rohkem levinud kui Bluetooth vaste. ChessMove malelauade töötamiseks on vaja ainult WiFi võrgu olemasolu.

Square Off ja ChessUp malelauad on küll personaalseks kasutamiseks sobilikud, kuid neil puudub tarkvara mitme malelaua halduseks ühest keskest seadmest. Seeläbi pole nende firmade malelauad turniiridel kasutatavad. Lisaks ei paku ükski teise firma malelaud tehtud käikude salvestamist algebralises notatsioonis (vt. Lisa 1), et mängijad oma käike maleturniiridel käsitsi märkima ei peaks. Salvestatud mängu saab kasutada ka mängija personaalse arengu jaoks.

Maleturniiridele kasutamiseks on väljatoodud malelaudadest sobilikud ChessMove ja DGT malelauad. ChessMove peamiseks eelisteks on juhtmevaba ühenduse võimalus, veebiserveri kasutamine ning ChessMove veebiserverist on võimalik alla laadida fail algebralise notatsiooniga (vt. Lisa 1). Lisaks on võimalik ChessMove malelauda keskelt kokku voltida, et seda oleks võimalik kompaktsemalt transportida.

Hetkel ei ole võimalik ChessMove malelauaga arvutiprogrammi ega teiste mängijate vastu üle interneti mängida, kuid see võimekus plaanitakse tulevikus juurde lisada. Lisaks plaanitakse ChessMove malelauale lisada ethernet kaabli ühenduspesa, et ebakindlama WiFi ühendusega suurtematel turniiridel oleks võimalik ühendada malelauad serveriga suhtlemiseks kohtvõrgu kommutaatorisse.

## 2 Nõuded

ChessMove esindajate poolt seati bakalaureusetöö käigus valmivale tarkvarale järgmised nõuded:

1. Malelual tehtavate käikude vahetu lugemine.
2. Sisseloetud käikude edastamine ühte või mitut malemängu haldavasse serverisse.
3. Serveriga suhtlus WiFi ühenduse abil.
4. Serveriga suhtlus paralleelselt teiste malelaudadega.
5. Serveri rakendusliidese kasutamine käikude edastamisel.
6. Tehtud tööd hõlmav dokumentatsioon.

## 3 Arendatav platvorm ja arendusvahendid

### 3.1 Riistavara

Kogu bakalaureusetöös kasutatav riistvara on disainitud ja komplekteeritud firma Krakul OÜ [18] poolt.

ChessMove elektrooniline malelaud koosneb kahest trükkplaadist - juhtplaat ja juhitev plaat. Plaadid on ühendatud 12-pinnilise FFC (*Flexible Flat Cable*) kaabliga. Malelaud on jagatud kaheks plaadiks, et seda oleks võimalik kokku voltida ja oleks seeläbi kompaktsem.

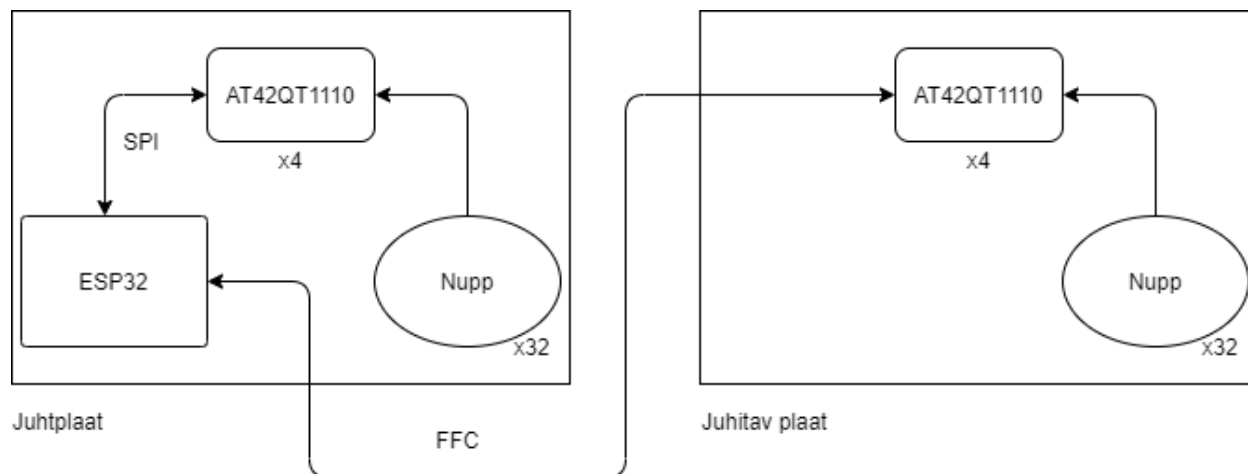
Juhtplaadil on kaks toiteallikat - aku ning Micro-USB kaabel.

Mikrokontrolleri programmeerimine käib üle mikro USB ühenduse kasutades UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) moodulit. Aku laadimine toimub üle USB ühenduse.

Juhtplaat ja juhitev plaat on trükkplaadi disainilt samasugused, kuid juhitaval plaadil on jäetud mikrokontroller, mikro USB ühenduspesa, aku ühenduspesa ning nendega seotud komponendid külge jootmata. Selle eesmärk on vähendada tootmiskulusid.

Juhitev plaat saab oma toitevoolu läbi FFC kaabli juhtplaadilt ning sama kaabliga saadab juhitev plaat nuppude juhtkiipidelt saadud andmeid juhtplaadile.

Plaatide elektroonika skeemid on välja toodud lisas 2.



Joonis 3.1: ChessMove malelaua skeem

### 3.1.1 ESP32-WROVER

Juhtplaadil on mikrokontroller ESP32-Wrover [19]. ESP32 valiti, kuna see on odav, Krakulil on selle mikroprotsessoriga varasemalt kogemusi ning sellel on olemas WiFi funktsionaalsus, mis tähendab, et see sobib ChessMove malelauale seatud nõudeid täitma.

Mikrokontrolleri peamine eesmärk on juhtida nuppude lugemise loogikat ning vastavalt sellele saata malelaul tehtud käigud serverile WiFi ühenduse kaudu.

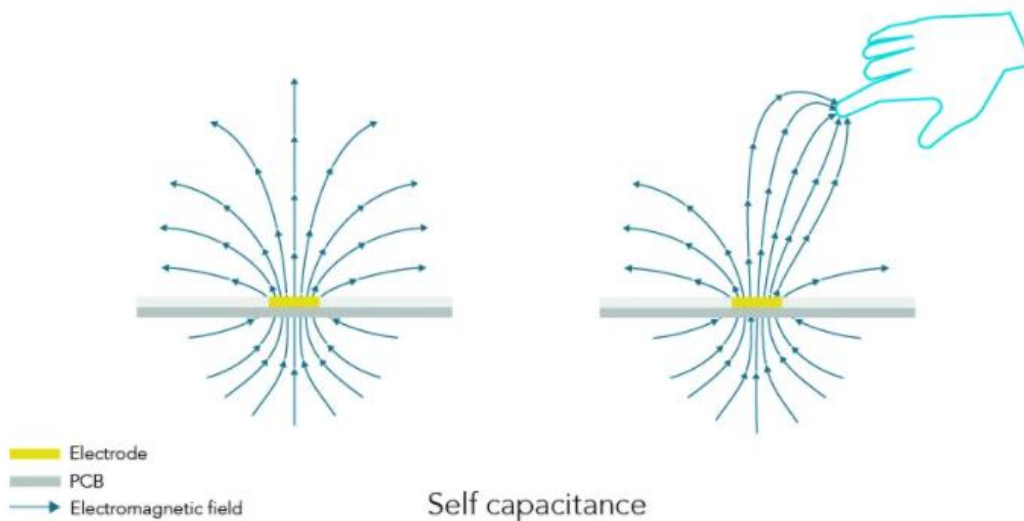
### 3.1.2 AT42QT1110-AUR

Mõlemal trükkplaadil on neli AT42QT1110-AUR [20] mikrokontrollerit. Iga mikrokontroller tegeleb ühe rea nuppudega, ehk kaheksa nupu lugemisega. Mikrokontroller saadab nuppude seisumuutumisi ESP32 mikroprotsessorile kasutades SPI (*Serial Peripheral Interface*) standardit.

### 3.1.3 Mahtuvuslikud nupud

Mõlemal trükkplaadil on neli rida, igas reas kaheksa nuppu [20]. Nupud on kasutusel malekäikude tuvastamiseks.

Nupud moodustavad kondensaatori elektroodi ja maaga (i.k. *ground*). Kui inimese käsi või elektritjuhtiv malend nupule peale pannakse, siis moodustunud kondensaatori väärtus muutub ning seda tuvastakse puudutusena [21].



Joonis 3.2: Nuppude puudutamise tuvastamine [21]

### 3.1.4 Aku

Hetkel kasutab ChessMove malelaua prototüüp 1360 mAh akut. ESP32 andmelehe järgi WiFi kasutades töötab mikrokontroller vaheldumisi *Active mode* ja *Modern-sleep mode*-s. *Active mode* kõige suurem voolukulu on 240mA sellel ajal, kui ESP32 saadab informatsiooni [22]. Nuppude juhtkiibid kasutavad keskmiselt 8 mA [23] ning neid on kokku 8. Kasutame arvutuseks valemit

$$T = C/I$$

Kus T on aeg ühikus h, C aku mahutavus ühikus mAh ning I vool ühikus mA.

$$\frac{1360mAh}{240mA + 64mA} = 4.44h$$

Seega saime tulemuseks, et juhul kui mikrokontroller kogu aeg infot saadab, on aku kestvus 4 tundi ja 26 minutit.

Multimeetriga mõõdetud malelaual oli voolukulu keskmiselt 160mA ning sama valemiga arvutades:

$$\frac{1360mAh}{160mA} = 8.5h$$

Seega reaalne oodatav akukestvus on 8 tundi ja 30 minutit.

## 3.2 ESP-IDF

ESP-IDF [24] on firma Espressif Systems [25] poolt loodud arendusraamistik ESP32 mikrokontrolleritele.

ESP-IDF seadistamine ja kasutamine on välja toodud Github koodi repositooriumis [26].

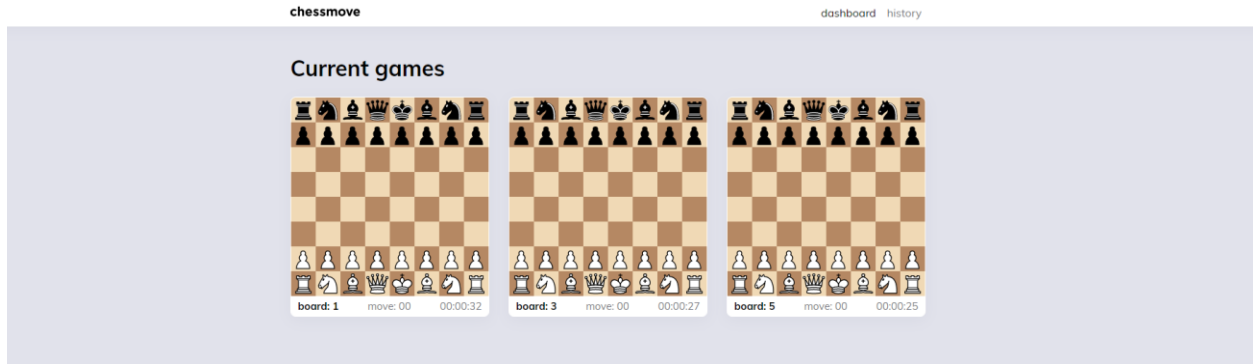
## 3.3 Programmeerimiskeel

ESP-IDF toetab programmeerimiskeeli C [27] ja C++ [28]. Programmeerimiskeeleks valiti C kuna ESP-IDF toetab C keeles rohkem teke ning bakalaureusetöö autoril on suurem kogemus selle keelega.

## 3.4 Server

Server on programmeerimiskeeles Java loodud veebirakendus, mis kuulab malelaua poolt saadetud käike kasutades HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) protokoll. Server loodi Kert Tali tiimi poolt aine Tarkvaraprojekt LTAT.05.005 raames. Serveri töötamiseks on vajalik Java versioon 11. Serveriga suhtluseks on loodud rakendusliides [29].

Joonisel 3.3 on näha ChessMove veebiserveri esilehte. Serveri esilehel saab valida vaatamiseks erinevaid mänge ning minna mängude ajaloo lehele. Erinevatel mängudel on erinevad *board id* väärtused. *Board id* kasutatakse malelaudade eristamiseks, see on unikaalne ning see peab olema ka füüsilisel malelualal märgitud.



Joonis 3.3: ChessMove serveri esileht

Joonisel 3.4 on välja toodud ühe mängu vaade. Sellel näeb mängu detaile. Joonisel punase number ühega tähistatud kirje näitab, kellel sel hetkel on mängus eelis. Eelise arvutab *Stockfish chess engine*, mis peab server programmiga samas kasustas olema [30] [31]. Punase number kahega tähistatud nupud lubavad tehtud käike tagasi võtta ja uuesti teha. Mängu lõppedes tekib punase number kolmeega tähistatud kohale nupp “*Export to PGN*”, mis laeb alla faili, kus on kirjas info mängu kohta ning tehtud käigud, kasutades algebralist notatsiooni. Fail on sobilikus formaadis maleturniiridel kasutusel olevatele käikude märkimise dokumentidele asenduseks. Algebraalne notatsioon on viis käikude märkimiseks (vt. Lisa 1).



Joonis 3.4: ChessMove serveri ühe mängu vaade

Joonisel 3.5 on välja toodud kõikide mängude ajaloo vaade. Ajaloo lehelt saab minna erinevatesse juba läbi saanud mängudesse.

### History

Game ID	Date	Start time	Board ID	Moves	Duration	Result
346	6.2.2021	18:18	0	1	03:40	draw
344	6.2.2021	18:17	0	1	00:57	
342	6.2.2021	18:16	0	1	00:21	draw
341	6.2.2021	18:14	4	2	07:44	draw
333	6.2.2021	18:13	0	7	00:21	draw
332	6.2.2021	17:57	0	0	15:59	
331	6.2.2021	17:55	0	0	02:09	
330	6.2.2021	17:52	0	0	00:04	draw
329	6.2.2021	17:52	0	0	00:14	draw
328	6.2.2021	17:51	0	0	00:15	
327	6.2.2021	17:29	0	0	22:11	

Joonis 3.5: ChessMove serveri ajaloo vaade

## 4 Tarkvara arendus

Bakalaureusetöö raames arendati ChessMove malelauale tarkvara. Programmi hoiti ja dokumenteeriti koodihoidlas Github [26]. Dokumenteerimisel oli tähtis, et koodi oleks võimalik tulevikus muuta tarkvara arendajast sõltumata. ESP32 mikrokontrollerile laaditava projekti kaustastruktuur tuleneb ESP-IDF raamistiku nõuetest.

### 4.1 WiFi konfiguratsioon

WiFi konfiguratsioonis seatakse WiFi nimi ja parool, kuhu ühendus luuakse. Defineeritakse ühenduse loomiseks vajalikud funktsioonid ning luuakse ühendus.

### 4.2 SPI konfiguratsioon

Antud konfiguratsioonis seadistatakse SPI nuppude juhtkiipidega ja ESP32 vaheliseks suhtluseks. ESP32 on antud konfiguratsioonis *SPI master* ning nuppude juhtkiibid *SPI slave*. ESP32 mikrokontrolleril kasutatakse kahte SPI siini SPI2 ja SPI3. ESP-IDF dokumentatsioonis väidetakse, et kumbki SPI siin suudab juhtida kolme erinevat *SPI slave* seadet [32], kuid tarkvaraga oli vaja juhtida nelja seadet mõlema siiniga. Töö tegemise käigus selgus, et kolme seadme limiit oli seatud tarkvaraliselt ning selle suurendamiseks tuli muuta ESP-IDF teeki nimega “spi\_master.c” [33]. Kuid uuemas ESP-IDF versioonis (nt. v4.3) oli see viga juba parandatud.

Nuppude mikrokontrollerid seatakse *11 key mode-i* ning kolme viimase nupu lugemine lülitakse välja. *11 key mode* tähendab seda, et üheteistkümne nupu lugumine lülitatakse sisse ühe käsuga. Igal mikrokiibil on oma *CS(Chipselect)* viik. SPI läbi info edastamine algab alati CS viigu

madalaks seadmisega ja lõpetatakse CS viigu kõrgeks seadmisega. Seda tehakse *callback* funktsioonide abil.

		Mod1		ESP32-WROVER(16MB)			
J 3-4	nCHANGE	25	IO0		EN	3	ESP nRESET
	IO2	24	IO2	SENSOR_VP	(IO36)	4	BAT INDICATOR
	SPI MU CS0	26	IO4	SENSOR_VN	(IO39)	5	
	SPI MU CS1	29	IO5				
	SPI MU MISO	14	IO12		RXD0 (IO3)	34	RXD0
	SPI MU MOSI	16	IO13		TXD0 (IO1)	35	TXD0
	SPI MU SCK	13	IO14				
	SPI MU CS2	23	IO15		SD0 (IO7)	21	
		27	IO15		SD1 (IO8)	22	
		28	NC		SD2 (IO9)	17	
	SPI SU SCK	30	NC		SD3 (IO10)	18	
	SPI SU MISO	31	IO18		CMD (IO11)	19	
	SPI SU CS0	33	IO19		CLK (IO6)	20	
	SPI SU CS1	36	IO21				
	SPI SU MOSI	37	IO22				
	SPI SU CS2	10	IO23		IO33	9	QT nRESET MCU
	SPI SU CS3	11	IO25		IO34	6	SPI MU 1-2 nCH
	SPI MU CS3	12	IO26		IO35	7	SPI SU 1-2 nCHA
SU 3-4	nCHANGE	8	IO27	END			
			IO32	END			
				END			
				END_PAD			
				NC			
					3V3		
						2	

Joonis 4.1: ESP32-WROVER pinout

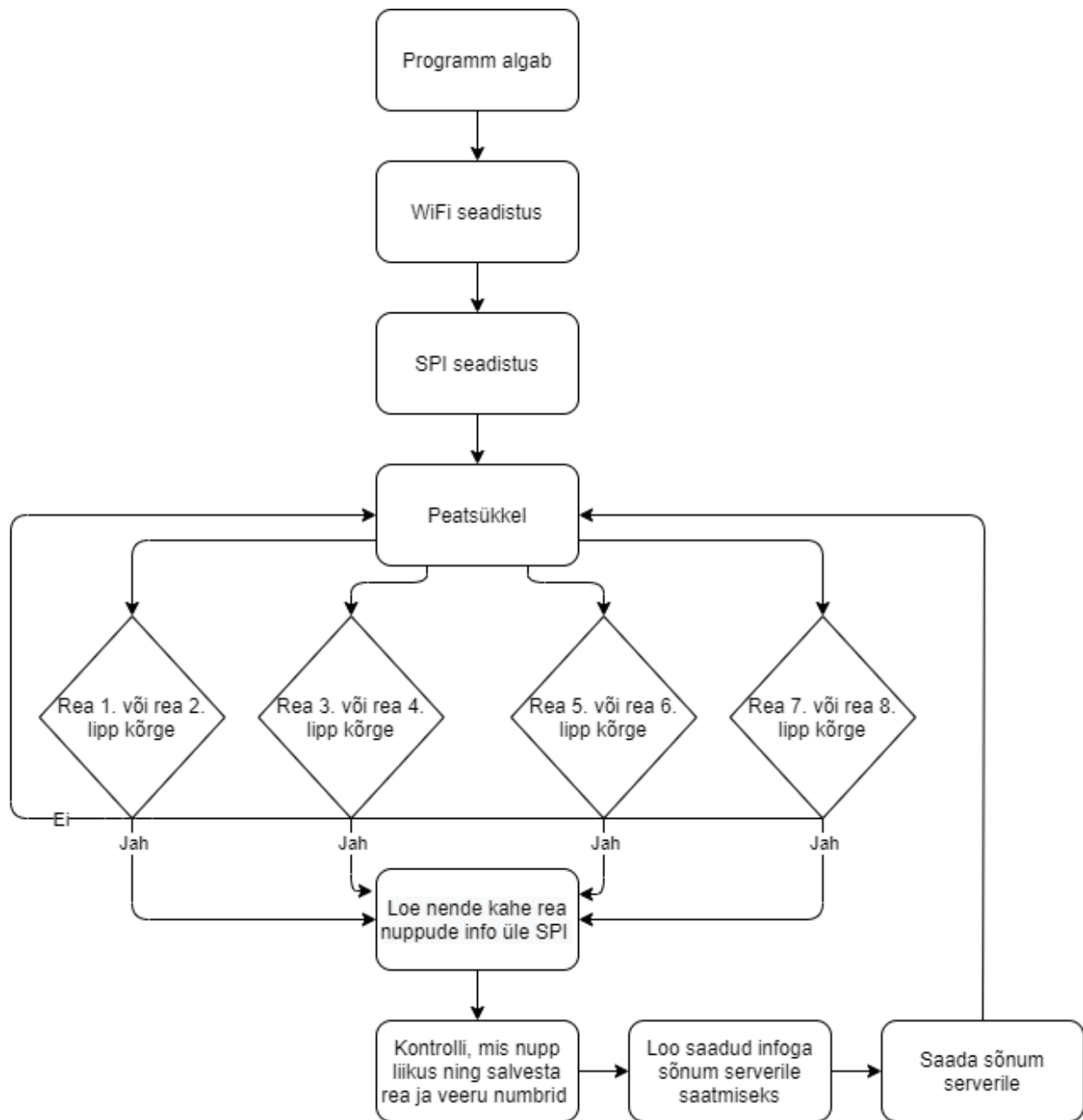
### 4.3 Nuppude info lugemine

Kõikidel nuppude juhtkiipidel on oma *Change* viik, mis näitab kas nuppude väärtused on muutunud. Kahe juhtkiibi viigud on ühendatud ühte ESP32 viiku, kuna ESP32 I/O(*input/output*) viikude arv oli limiteeritud. Sel põhjusel viigu kõrges olekus loetakse mõlema viiguga ühendatud juhtkiipide nuppude väärtused. Ühe juhtkiibi poolt juhitud nuppude väärtuste saamiseks saadetakse juhtkiibile käsk kuuteistkümnendsüsteemi numbriga 0xC1 ning juhtkiip vastab ühe

veeru nuppude väärtustega. Antud väärtused salvestatakse vastavalt juhtkiibile seatud indeksiga globaalsesse listi õigele reale.

#### **4.4 Käikude edastamine serverile**

Serverile käikude edastamiseks luuakse sõnum JSON formaadis [34] serveri rakendusliidese poolt defineeritud struktuuris [29]. Sõnumis on kirjas *board id* väärtus, välja tähis millelt käik tehti ning välja tähis kuhu käik tehti. Sõnumi edastamiseks serverile kasutatakse HTTP POST meetodit [35]. Käikude reeglipärasust kontrollitakse serveris.



Joonis 4.2: ChessMove malelaua programmi plokk skeem

## 5 Testimine

### 5.1 Server

Serveris saab mängu luua ilma füüsilise malelauata, kuna mängu saab alustada ja käike teha kasutades HTTP POST meetodit.

Testimiseks loodi skript programmeerimiskeeles Python [36]. Skript saatis serverile käsu mängude loomiseks ning antud mängudes käikude tegemiseks.

Tabel 5.1: Serveri testimine skriptiga

Skripti tegevus	Tulemus
Loodi 20 mängu ja tehti igas mängus 2 käiku.	Server töötas hangumata ja probleeme ei esinenud.
Loodi 50 mängu ja tehti igas mängus 2 käiku.	Server hangus paar korda, kuid mängud loodi ja käigud tehti ära ning server töötas edasi.
Loodi 500 mängu ja tehti igas mängus 2 käiku.	Server hangus mitmeid kordi, kõik mängud loodi, käigud tehti ära, kuid server hangus nii palju, et ei olnud enam kasutatav.

### 5.2 Malelaud

Enne malelauale tarkvara loomist leiti, et malelaud ei tööta ainult USB toitega. Koodi oli võimalik peale laadida, kuid programmiväljundit lugedes oli näha, et ESP32 mikrokontroller taaskäivitab ennast ja ei täida kunagi koodi. Tuli välja, et see oli põhjustatud sellest, et USB toitega ei saanud malelaud piisavalt voolu. Kuna USB 2.0 annab välja maksimaalselt 500mA [37] ja malelaud kasutab maksimaalselt umbes 300mA on viga arvatavasti malelaua elektroonikas.

Malelauda testiti kõige rohkem tarkvara arendamise käigus, et näha kas loodud komponendid iseseisvalt töötavad ning erinevad osad pandi koos tööle alles komponentide iseseisvalt tööle saamisel.

Nuppude lugemise loogika loomisel kõigepealt testiti suhtlust nuppude juhtkiipidega. Peale selle tööle saamist loodi viis nuppude väärtuste saamiseks ning salvestamiseks ühte listi, mida malelaua visualiseerimise eesmärgil näidati. Enne serveriga suhtluse loomist testiti nuppude väärtuste lugemist kasutades inimkätt malendite asemel.

WiFi ühendust ja serveriga suhtluse arenduses kõigepealt testiti, kas malelaud suudab WiFi võrguga ühenduda. Serveri suhtlust testiti kõigepealt muutumatute sõnumitega ning peale selle tööle saamist arendati automaatne sõnumite loomine vastavalt malelaual tehtud käikudele.

Nuppude lugemise ja serveriga suhtluse töötamisel testiti malelauda malenditega, mille põhjale oli teibitud hõbepaber, et suurendada elektrijuhtivust ja seeläbi võimendada malendite tuvastamist nuppudel.

Malenditega testimisel tuli välja, et nuppude juhtkiipidel on vaikehäälestuses kasutusel *Adjacent Key Suppression Technology*, mis ei lase ühes reas olevatel nuppudel samal ajal hoida väärtust 1 ning see tuli välja lülitada. Samuti selgus, et vaikehäälestuses, kui nupud on väärtusega 1 üle 25.6 sekundi, siis seatakse need automaatselt väärtuseks 0, et ära hoida olukorda, kus nupp on kinni ühes staatuses.

## 6 Ettepanekud riistvara ja tarkvara edasiseks arendamiseks

1. Lokaalne kasutajaliides funktsionaalsuse lisamiseks:
  - Aku täituvuse näidu kuvamiseks.
  - Serveriga ühenduse olemasolu indikeerimiseks.
  - *Board id* väärtue kuvamiseks.
  - Erinevate režiimide, näiteks turniirirežiim ja õppimisrežiim, vahel valimiseks.
2. Integreerimine populaarsemate interneti male lehekülgedega
3. Parandused veebiserveri loogikas.
  - Leida, miks server hangub suure arvu mängudega ning see parandada.
  - Praeguses versioonis hakkab kell tööle sel hetkel, kui mäng luuakse. Peaks algama, kui tehakse esimene käik.
4. Malelaua programmis luua viis mängu uuesti alustamiseks ilma malelauda taaskäivitamata.
5. Malelauda ei saa kasutada puhtalt USB toitet. Tuleks tarkvara arenduse lihtsustamiseks teha selliselt, et piisaks ka ainult USB toitest malelaua töötamiseks.

## **Kokkuvõte**

Elektroonilised malelauad võimaldavad maleturniiridel lihtsamalt turniiri nõudeid täita ning mängijatel rohkem mängule keskenduda. Lauad aitavad kaasa male õppimisele nii arvutiprogrammide vastu mängimise abil kui ka juba mängitud mängu analüüsis. Käesoleva bakalaureusetöö käigus loodi ChessMove elektroonilise malelaua prototüübile tarkvara kasutades ESP-IDF arendusraamistikku. Malelaua tarkvara loodi programmeerimiskeeles C ja dokumenteeriti koodihoidlas Github. Töö eesmärk sai täidetud ning bakalaureusetöö käigus loodud ChessMove elektroonilisele malelaua prototüübile loodud tarkvara vastab seatud nõuetele.

Töö käigus muutus selgemaks, mida oleks ChessMove malelauale tulevikus vaja juurde arendada nii tarkvaraliselt kui ka riistvaraliselt.

Tehtud töö presenteeriti, vastavust nõuetele kontrolliti ning lõpptulemus anti üle ChessMove esindajatele.

## Viited

- [1] "History of chess | Wikipedia," [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_chess](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_chess)
- [2] "Benefits of chess | Chess Academy of Denver," [Online]. Available: <https://coloradomasterchess.com/benefits-of-chess/>
- [3] "Arbiters' manual | Fide," [Online]. Available: <https://www.fide.com/docs/regulations/ARB%20Manual%202020.pdf>
- [4] "Standards of Chess Equipmment | Fide," [Online]. Available: <https://handbook.fide.com/files/handbook/C02Standards.pdf>
- [5] "Owncloud | Videokõne Jaan Ehlvestiga," [Online]. Available: <https://owncloud.ut.ee/owncloud/index.php/s/JLM6gigKEnSmapi>
- [6] "Chess computers prehistory | electronicchess," [Online]. Available: <http://electronicchess.free.fr/prehistory.html>
- [7] "Chess Challenger 1," [Online]. Available: <https://tluif.home.xs4all.nl/chescom/EngCC1.html>
- [8] "Digital Boards | Digital Game Technology," [Online]. Available: <http://www.digitalgametechnology.com/index.php/products/electronic-boards>
- [9] "Cable connections smart board | Digital Game Technology," [Online]. Available: <http://www.digitalgametechnology.com/index.php/products/electronic-boards/serial-tournament/37-dgt-cable-connections-smart-board>
- [10] "About us | Square off," [Online]. Available: <https://squareoffnow.com/aboutus>
- [11] "Grand Kingdom Set | Square Off," [Online]. Available: <https://squareoffnow.com/product/gks>
- [12] "Square off Chess Board | cnet," [Online]. Available: <https://www.cnet.com/news/square-off-is-robotic-ai-table-chess-with-harry-potter-like-magic-at-ces-2019/#:~:text=When%20your%20online%20opponent%20moves,to%20your%20phone%20via%20Bluetooth.>

- [13] "ChessUp level up your chess game | Kickstarter," [Online]. Available: <https://www.kickstarter.com/projects/bryghtlabs/chessup-level-up-your-chess-game>
- [14] "Bluetooth | Bluetooth 5.2 Specification," [Online]. Available: <https://www.bluetooth.com/specifications/specs/core-specification/>
- [15] "Sony," [Online]. Available: <https://www.sony.com/electronics/support/articles/00014085>
- [16] "Range of typical wifi network | Lifewire," [Online]. Available: <https://www.lifewire.com/range-of-typical-wifi-network-816564#:~:text=A%20general%20rule%20of%20thumb,one%2Dthird%20of%20these%20distances.>
- [17] "How to connect multiple bluetooth devices to a single device | ieyenews," [Online]. Available: <https://www.ieyenews.com/how-to-connect-multiple-bluetooth-devices-to-a-single-device/>
- [18] "Krakul," [Online]. Available: <https://krakul.eu>
- [19] "ESP32 | Espressif Systems," [Online]. Available: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- [20] "AT42AQT1110 | Microchip Technology," [Online]. Available: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/AT42QT1110>
- [21] "How capacitive sensors work | bareconductive," [Online]. Available: <https://www.bareconductive.com/blogs/blog/how-do-the-touch-boards-capacitive-sensors-work>
- [22] "ESP32 datasheet | Espressif," [Online]. Available: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
- [23] "AT42QT1110 datasheet | Microchip," [Online]. Available: [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-9520-AT42-QTouch-BSW-AT42QT1110\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-9520-AT42-QTouch-BSW-AT42QT1110_Datasheet.pdf)
- [24] "ESP-IDF | Espressif Systems," [Online]. Available: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/>
- [25] "Espressif | Espressif Systems," [Online]. Available: <https://www.espressif.com>
- [26] "ChessMove | Github," [Online]. Available: <https://github.com/UkuSoome/ChessMove>

- [27] R. R. Ryan and H. Spiller, "The C programming language and a C compiler," *IBM Systems Journal*, vol. 24, no. 1, pp. 37-48, 1985
- [28] B. Stroustrup, *The C++ Programming Language*, Addison-Wesley Professional, 2013
- [29] "ChessMove server API | Gitlab," [Online]. Available: <https://talikert.gitlab.io/chessmove-server/apidoc/>
- [30] "ChessMove Server | Gitlab," [Online]. Available: <https://gitlab.com/TaliKert/chessmove-server>
- [31] "Stockfish chess engine," [Online]. Available: <https://stockfishchess.org/>
- [32] "SPI Master | Espressif," [Online]. Available: [https://docs.espressif.com/projects/espressif/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/spi\\_master.html](https://docs.espressif.com/projects/espressif/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/spi_master.html)
- [33] "Github | spi\_master.c," [Online]. Available: [https://github.com/espressif/espressif/blob/release/v2.0/components/driver/spi\\_master.c](https://github.com/espressif/espressif/blob/release/v2.0/components/driver/spi_master.c)
- [34] "Introducing JSON | json," [Online]. Available: <https://www.json.org/json-en.html>
- [35] "Developer mozilla | HTTP POST method," [Online]. Available: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Methods/POST>
- [36] "Python," [Online]. Available: <https://www.python.org/>
- [37] "Resources | USB Standards," [Online]. Available: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2020-what-are-the-maximum-power-output-and-data-transfer-rates-for-the-usb-standards#:~:text=USB%20Maximum%20Power%20Output%20Standards,which%20translates%20into%204.5%20watts>
- [38] "Fide | International Chess Federation," [Online]. Available: <https://www.fide.com/>
- [39] "Learn how to set up a chessboard | learnchess101," [Online]. Available: <https://learnchess101.com/learn-how-to-set-up-a-chessboard/>
- [40] "Algebraline notatsioon | maleliit," [Online]. Available: [maleliit.ee/varia/reegliid/koodeks/index.php?N=19](http://maleliit.ee/varia/reegliid/koodeks/index.php?N=19)
- [41] "Löömine males | wikipedia," [Online]. Available: [https://et.wikipedia.org/wiki/L%C3%B6mine\\_\(male\)](https://et.wikipedia.org/wiki/L%C3%B6mine_(male))

- [42] "Electornic Boards Digitalgametechnology," [Online]. Available:  
<http://www.digitalgametechnology.com/index.php/products/electronic-boards>
- [43] "Bluetooth e-Boards | Digital Game Technology Shop," [Online]. Available:  
[https://www.dgtshop.nl/index.php?route=product/category&path=59\\_76](https://www.dgtshop.nl/index.php?route=product/category&path=59_76)
- [44] " Chessmove-server," [Online]. Available: <https://gitlab.com/TaliKert/chessmove-server>
- [45] "Tournament e-board | Digital Game Technology," [Online]. Available:  
<http://www.digitalgametechnology.com/index.php/products/electronic-boards/serial-tournament/36-dgt-timeless-set-walnut-e-board-serial-port>
- [46] "Chess Challenger 3," [Online]. Available:  
<https://tluif.home.xs4all.nl/chescom/EngCc3.html>

# Lisad

## Lisa 1 Algebraalne notatsioon

FIDE [38] kasutab oma turniiridel ainult algebraalist notatsiooni. Algebraalne notatsioon defineerib viisi, kuidas märkida tehtud käike malemängu ajal.

### Malelaud ja malendid

Malelaul on igal väljal oma tähis, mis tuleneb liini tähe ja rea numbrist kombinatsioonist. Liinide tähti kirjutatakse alati väikse tähega. Näiteks valge malend kuningas on algasendis väljal “e1” (vt. joonis 2.1).



Joonis 0.1 Malelaud koos malendite algväljadega [39]

Malendite nimetusena tohib kasutada mängija emakeeles üldiselt kasutatud malendite nimede esitähte [40]. Eesti keeles on malendid tähistatud järgmiselt:

- Kuningas – K
- Lipp – L

- Vanker – V
- Oda – O
- Ratsu – R

Ettureid ei tähistada tähega, etturi käike tuntakse ära tähe puudumisest.

### **Käikude märkimine**

Käikude märkimisel on oma reeglid ning mis viisil märgitakse tuleneb sellest, kas liigutavale väljale on võimalik liikuda mitmel malendil ja kas liigutaval väljal toimub löömine [40]. Löömine tähendab, et väljal kuhu malend liigutatakse on vastase malend. Löödud malend eemaldatakse malelaualt [41].

Näited käikude märkimisest, kui sihtväljale saab liikuda ainult üks malend [40]:

- Oc3 – Tähendab, et malend oda liigutati väljale “c3”.
- Oxc3 – Kui üks malend lööb teist malendit siis tuleb esitähed ja sihtvälja vahele kirjutada “x”, selline kirje tähendab, et oda lööb malendit sihtväljal “c3”
- e5 – Kuna eestäht puudub, siis on teada, et malendiks on ettur ning see liigutati väljale “e5”.
- dxe5 – Kui ettur lööb teist malendit tuleb märkida tema lähteliin. Selline kirje tähendab, et ettur liinilt d löi malendit liinil e ja real 5.

Kui mitu sama malendit saavad teha käigu samale väljale märgitakse käigud [40]:

1. Kui malendid on samal real märgitakse käik: Malendi esitähed, lähteliin, sihtväli.  
Näiteks Rcd5 – mis tähendab, et ratsu lähteliinilt “c” liigub sihtväljale “d5”.
2. Kui malendid on samal liini märgitakse käik: Malendi esitähed, lähterida, sihtväli.  
Näiteks R3f4 – see tähendab, et ratsu lähterealt 3 liigub sihtväljale “f4”.
3. Kui malendid on erineval liinil ja erineval real eelistatakse esimest märkimise viisi.

Kui mitu sama malendit saavad teha käigu samale väljale ning toimub löömine märgitakse lähteliini või lähterea ja sihtvälja vahele “x” [40].

Näiteks Rcx5 – Ratsu liinilt c liigub väljale d5 ja seal on vastase malend ning toimub löömine.

## **Lisa 2 Malelaua elektroonika plaadid**

**Juhtplaat**



**Juhtiv plaat**



# **Lihtlitsents**

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Uku Soome,

1. Annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
**“ChessMove malelaua prototüübile tarkvara arendamine”**  
Mille juhendajad on MSc Renno Raudmäe ja MSc Hendrik Türk,  
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 kaudu Creative Commonsi 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 punktis 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

*Uku Soome*

20.05.2021