



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Elektroenergeetika ja mehhatroonika Instituut

# KODUMAJAPIDAMISSEADMETE ELEKTRITARBIMISE JUHTIMISE PLATVORM

## DEMAND-SIDE MANAGEMENT PLATFORM FOR HOUSEHOLDS

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Trevor Uuna

Üliõpilaskood: 206396EAAB

Juhendaja: Vahur Maask, teadur

Kaasjuhendaja: Argo Rosin, kaasprofessor  
tenuuris

(Tiitellehe pöördel)

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 2024

Autor: Trevor Uuna

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 2024

Juhendaja: Vahur Maask

/ allkiri /

"....." ..... 2024

Kaasjuhendaja: Argo Rosin

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....2024.

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Trevor Uuna

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose KODUMAJAPIDAMISSEADMETE ELEKTRITARBIMISE JUHTIMISE PLATVORM, mille juhendaja on Vahur Maask ning kaasjuhendaja Argo Rosin,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Trevor Uuna, 206396EAAB

Õppekava, peeriala: EAAB16/17 Elektroenergeetika ja mehhatroonika, Mehhatroonika

Juhendaja(d): teadur, Vahur Maask, kaasprofessor tenuuris, Argo Rosin

**Lõputöö teema:**

(eesti keeles) KODUMAJAPIDAMISSEADMETE ELEKTRITARBIMISE JUHTIMISE PLATVORM

(inglise keeles) DEMAND-SIDE MANAGEMENT PLATFORM FOR HOUSEHOLDS

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Uurida olemasolevaid elektritarbimise juhtimislahendusi
2. Luua kontseptsioon tarbimisejuhtimise platvormile
3. Arendada välja kasutajasõbralik tarkvaraplatvorm kodumajapidamisseadmetele

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Elektritarbimise juhtimise vajalikkuse uurimine	02.2024
2.	Elektritarbimise juhtimise võimaluste analüüs	02.2024
3.	Platvormi kontseptsiooni kirjeldamine	02.2024
4.	Platvormi väljatöötamine	03.2024
5.	Platvormi katsetamine	03.2024
6.	Juhendajale esimeseks läbilugemiseks saatmine	04.2024
7.	Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine	04.2024
8.	Töö lõplik versioon	05.2024

**Töö keel:** Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....2024a

**Üliõpilane:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Kaasjuhendaja:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Konsultant:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
Lühendite ja tähiste loetelu .....	8
SISSEJUHATUS .....	9
1.    TARBIMISE JUHTIMISE VAJALIKKUS JA VALMIDUS .....	11
1.1    Kõrge elektri hind ja selle põhjus .....	11
1.2    Tarbijate valmidus tarbimise juhtimiseks .....	11
1.3    Tarbijate ootused tarbimise juhtimise platvormile .....	12
1.4    Kodumajapidamisseadmete valmidus tarbimise juhtimiseks .....	12
2.    HETKEL TURUL OLEMASOLEVAD VÕIMALUSED ELEKTRITARBIMISE JUHTIMISEKS.....	14
2.1    Olemasolevate elektritarbimise juhtimise platvormide analüüs .....	14
2.1.1    Shelly iseloomustus .....	14
2.1.2    Qilowatt iseloomustus .....	15
2.1.3    Celeon iseloomustus .....	16
2.1.4    Futugrid iseloomustus .....	17
2.1.5    Themo iseloomustus .....	18
2.1.6    Gruff iseloomustus.....	19
2.1.7    Vool iseloomustus.....	19
2.1.8    Platvormide võrdlus .....	20
2.2    Lõputöö raames loodava platvormi soovitud omadused .....	21
2.2.1    Platvormi seadmete haldamine.....	21
2.2.2    Platvormide kuvatav teave.....	22
2.2.3    Platvormi poolt pakutav funktsionaalsus .....	22
2.2.4    Platvormi poolt mittepakutav funktsionaalsus.....	23
2.2.5    Platvormi juhitavad seadmed .....	24
3.    PLATVORMI KONTSEPTSIOONI LOOMINE .....	25
3.1    Platvormi arendamise kirjeldus.....	25
3.2    Platvormi ülesehitus .....	26
3.3    Platvormi ühilduvus pilveteenustega.....	26
3.4    Juhtimise kontseptsioon .....	27
3.5    Kasutajaliidese disaini alustalad.....	28
3.5.1    Kasutajaliidese elemendid ja navigatsioon .....	28
3.5.2    Kasutajaliidese teabe kuvamine.....	29
3.5.3    Kasutajaliidese värvid .....	29
3.6    Kasutajaliidese lehed ja nende paigutus.....	29
3.6.1    Koduleht.....	30

3.6.2	Teabelehed .....	30
3.6.3	Sätete leht.....	30
3.6.4	Seadmete juhtimise lehed .....	31
4.	VÄLJATÖÖTATUD PLATVORMI ISELOOMUSTUS .....	32
4.1	Andmete liikumine platvormil .....	32
4.2	Platvormi kasutamine.....	33
4.3	Seadmete juhtimine.....	34
4.3.2	Shelly seadme lisamine .....	35
4.3.3	Shelly seadme lülitamine .....	36
4.3.4	Shelly nutipistikule graafiku peale saatmine .....	36
4.4	Kasutajale teabe kuvamine .....	37
4.4.1	Börsihinna pärimine Eleringi API-st .....	38
4.4.2	Shelly seadmelt läbiva võimsuse pärimine .....	39
4.4.3	Shelly andurilt keskkonnatingimuste pärimine .....	40
4.4.4	Shelly seadme tarbimisajalugu .....	41
5.	PLATVORMI ANALÜÜS .....	42
5.1	Platvormi katsetamine.....	42
5.2	Platvormi katsetamise tulemused.....	42
5.2.1	Platvormile seadmete lisamise hinnang .....	43
5.2.2	Platvormil seadme nime ja pildi muutmise hinnang .....	43
5.2.3	Platvormil tarbimise statistika vaatamise hinnang .....	44
5.2.4	Platvormi abil seadmete juhtimise hinnang .....	45
5.2.5	Katsetuse tagasiside .....	45
5.3	Platvormi edasiarendus .....	45
	KOKKUVÕTE .....	47
	SUMMARY.....	49
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	51
	LISAD .....	54
Lisa 1	Katse ülesehitus.....	54

## EESSÕNA

Lõputöö teema leidis autor „Automaatjuhtimine ja programmeeritavad juhtseadmed“ aines tehtud asendustöö raames loodud nutitelefon rakendusest, mille abil oli võimalik nutipistikule ühe päeva raames graafik koostada, valides soovitud sisselülitatud tundide arvu. Loodud rakendusel oli rohkelt potentsiaali ja seega otsustati jätkata rakenduse edasiarendusega. Rakendusel on mitmeid väljundeid tänu elektritootmise taastuenergia allikatele üleminekule, mis on kaasa toonud elektri hinna suure kõikumise. Elektri hinna volatiilsus põhjustab finantsstressi lõpptarbijale. Probleemi on võimalik lahendada tarbimise ja tootmise tippude ühtlustamisega läbi tarbijapoolse tarbimise juhtimise.

Käesoleva lõputöö raames arendati platvormi edasi kaardistades tarbijate ootusi ja vajadusi tarbimise juhtimise vaates. Kasutajasõbralikuma ja rohkem funktsionaalsust pakkuva teenuse välja arendamise eesmärgil uuriti turul olemasolevaid lahendusi. Analüüsi tulemusena saadi nõuded mille alusel välja töötada tarbimise juhtimise prototüüplahendus. Loodud prototüüplahenduse hindamiseks viidi läbi katsetus millest saadakse sisend platvormi edasiarendamiseks.

Täna oma lõputöö juhendajaid Vahur Maaski ja Argo Rosinat, nende aja ja põhjaliku tagasiside eest.

Võtmesõnad: elektrisüsteemi paindlikkus, tarbimise juhtimine, nutikodu, platvorm, bakalaureusetöö.

## **Lühendite ja tähiste loetelu**

IoT – Asjade internet (ingl k *Internet of things*)

API – Rakendustarkvara liides (ingl k *Application programming interface*)

HMI – Inim masin liides (ingl k *Human Machine Interface*)

IP - internetiaadress (ingl k *Internet Protocol*)

QR – Ruutkood (ingl K *Quick response*)

TVT – Toote valmidus aste



## SISSEJUHATUS

Euroopa Liit plaanib kääsoleva sajandi keskpaigaks olla esimene kliimaneutraalne maailmajagu ja juba 2030 aastaks vähendada heiteid poole võrra võrreldes 1990 aastaga [1]. Elektritootmise taastuenergia allikatele üleminek nii Euroopas kui ka mujal maailmas on raskendanud võimsusbilansi hoidmist.

Elektri tootmise ja elektri tarbimise mittekattumine raskendab võrgu stabiilset talitust. Võrgu stabiliseerimiseks tõstab turg elektri hinda neil tundidel kui tarbimine on tootmise suhtes liiga suur ja langetab hinda vastupidise olukorra puhul, sellest on tingitud elektri hinna suure kõikumine. Alates 2021 aasta sügisest on maagaasi hinnad mitmekordistunud, see on võrreldes eelnevate aastatega tõstnud keskmist elektri hinda.

Kõrged elektri hinnad möödunud aastatel on motiveerinud paljusid tarbijaid otsima lahendusi elektrikulutuste vähendamiseks. Tekkinud olukorda on võimalik lahendada tarbimise juhtimise abil, ehk tippude lõikamisega, nõgude täitmisega, tarbimise nihutamise ja energia säästmisega [2]. Kodutarbijale mugavam oleks eesmärk saavutada läbi tarbimise ja tootmise tippude ühtlustamise ehk tarbimise nihutamise madala elektri hinnaga perioodidesse.

Euroopa Komisjoni andmetel on Euroopa Liidu eluasemesektoris elektritarbimine 2021 aasta andmete kohaselt 1,7 MWh inimese kohta aastas [3]. Keskmiselt on elektrienergia tarbimine inimese kohta aastas Euroopa Liidus 6 MWh, seega moodustavad kodumajapidamised suure osa kogu tarbimisest [4]. Elektriautode ja soojuspumpade laialdasem kasutusele võtmine suurendab kodumajapidamiste energiatarbimist veelgi. Eelneva statistika alusel võib väita, et tarbijapoolne tarbimise juhtimine kodumajapidamisseadmete jaoks on potentsiaalne lahendus võimsusbilansi saavutamiseks.

Autori kogemuste põhjal võib väita, et paljud inimesed vähendavad oma tarbimist elektri kõrge börsihinnaga tundidel. Enamus tarbijaid teostab, aga autori hinnangul juhtimist käsitsi läbi koormuste väljalülitamise ja toatemperatuuri vähendamise. Viimastel aastatel populaarseks saanud targa kodu lahendused annavad võimaluse seda automatiseerida.

Täna turul olevatel kodumajapidamisseadmete tarbimise juhtimise platvormidel esineb mitmeid puuduseid nagu mitteühilduvus ja kasutamise ebamugavus. Antud lõputöö käigus arendati välja platvormi prototüüplahendus, läbi mille on lõpptarbijal võimalik oma tarbimist võimalikult mugavalt juhtida ja seeläbi vähendada kulutusi elektrienergiale.

Platvormi väljatöötamise eesmärgil uuriti tarbijate ja kodumajapidamisseadmete valmidust tarbimise juhtimiseks ja analüüsi hetkel turul olevate platvormide funktsionaalsust ja ülesehitust. Turu ja kasutajaliidese disaini põhimõtete uuringu tulemusel loodi kontseptsioon optimaalse tarbimise juhtimise platvormi jaoks. Kontseptsiooni alusel arendati välja platvorm ja kirjeldati selle olemust voodiagrammide ja kuvatõmmiste abil. Valmis platvormi sobivust tarbimise juhtimiseks hinnati läbi Google Forms keskkonnas tehtud küsimustiku tagasiside.

# **1. TARBIMISE JUHTIMISE VAJALIKKUS JA VALMIDUS**

Järgnevatel peatükkides uurib autor kirjandust kodumajapidamisseadmete juhtimise ja keskmise elektriinna kasvamise kohta. Elektrituru valmidusest tarbimise juhtimiseks ülevaate saamiseks uuriti varasemaid lõputöid. Analüüsi tarbijate valmidust tarbimise juhtimiseks ja kasutajate ootusi loodava platvormi jaoks. Analüüsi tulemusena saadakse nõuded platvormi kontseptsiooni loomiseks.

## **1.1 Kõrge elektriinn ja selle põhjus**

Kasvat elektri tarbimine erinevatel sektorites on oluline iga riigi arenguks. Hetkel tuleb 66 % maailma elektrist fossiilkütustest, mille kogus on piiratud ja mille kasutamine vabastab õhku kahjulike saasteainet. Rahvastiku arvu kasv toob endaga kaasa suurema energiatarbimise ja selle rahuldamiseks tuleb leida alternatiivseid energiaallikaid. Taastuvenergia allikad nagu tuule-, päikese- ja hüdroenergia sõltuvad nii lühikeses kui ka pikas perspektiivis ilmastikuoludest. Varieeruv tootmisvõimekus põhjustab varieeruvust ka elektriinnas [5], [6].

Maagaasil, mis moodustab suure osa Euroopa elektritootmise toorainest, on hind järsult kasvanud alates 2021 aastast. Kasvat on tingitud külmast talvest, suurenenud nõudlusest Aasias ning Kesk- ja Lõuna-Ameerikas ja vähenenud gaasivoogudest Venemaalt. Võrreldes 2021 aasta kevadet ja sügist, suurenesid elektriinnad ligikaudu 200 %. Kõrged maagaasi hinnad 2021 aasta sügisest alates põhjustasid rekordilised elektriinnad Euroopa elektriturul [7], [8], [9].

## **1.2 Tarbijate valmidus tarbimise juhtimiseks**

Uurimusest [10] selgus, et valimist enamus ei muuda oma tarbimist börsihinnast sõltuvalt. Börsihinda jälgivatest vastanutest üle poolte teeb seda raha säästmise eesmärgil. Olulised kriteeriumid juhtimisel on elektriinn, kasutamise mugavus ja kellaeg. Vastanutest üle poolte eelistavad juhtimist teostada poolautomaatselt, ehk vajadusel seadmete juhtimist ümber seadistades ja veerand eelistab täielikku käsitsijuhtimise meetodikat. Platvormi arendusel on vaja anda kasutajale võimalus juhtimisse sekkuda, sest enamus uuringus osalejatest peab seda oluliseks.

Enamus Eesti leibkondadest ehk potentsiaalselt 570 tuhat majapidamist on nõus oma koduseid seadmeid juhtima. Juhtimist soovitakse teha eesmärgiga tekitada rahalist säästu. Enamus uurimuses osalejatest soovis saada rahalist säästu vähemalt 50 kuni

100 eurot kuus, aga paljudele piisab juba säästust 10 eurot kuus. Uuringus selgus, et valimist enamuse ei oma ühtegi nutikodu seadet ja vaid ühele kümnest vastanust on nutikodu lahendusi pakutud. Eesti turul on võimekus oma tarbimist juhtida uuringu alusel 48 tuhandel leibkonnal, võrreldes Eestis kokku 600 000 leibkonnaga on laienemise potentsiaal suur.

### **1.3 Tarbijate ootused tarbimise juhtimise platvormile**

Uuringust [11] tuleb välja, et üle poolte vastanutest peab kõige olulisemaks aspektiks tarbimise juhtimise puhul väiksemaid küttearveid. Oluliseks peetakse ka, et süsteem, mille läbi tarbimist juhitakse, oleks mõistliku hinnaga ja töökindel. Pääaegu pooled küsimustikus osalejatest soovivad, et lahendus asuks elektrikilbis, pistikupesade sees või muudes kohtades, kus süsteem ei ole visuaalselt tuvastatav. Kütte juhtimine on oluline funktsionaalsus kümnest vastanust üheksale. Pakutav funktsionaalsus peaks endas hõlmama ka soojaveeboileri, ventilatsiooni ja muude kodumajapidamisseadmete juhtimist. Juhtimise platvorm peaks olema võimeline töötama autonoomselt, aga andma võimaluse ka käsitsi sekkuda. Enamus vastanutest peab oluliseks, et juhtimise käigus ei liiguks nende andmed läbi kolmandate osapoolte. Vastanutest kolmandik soovivad teenuse eest tasuda ühekordse maksega ja teine kolmandik soovib teenuse eest tasuda igakuiselt.

### **1.4 Kodumajapidamisseadmete valmidus tarbimise juhtimiseks**

Kodumajapidamisseadmete juhitavus tähendab, et seadmeid saab kaugjuhtida eesmärgiga muuta koormusmuustrit. Peamine koormuste juhtimise eesmärk on tarbimistippude tasandamine ja tarbimise nihutamine. Kodumajapidamisseadmete hulgas on mitmeid seadmeid, mille peal on võimalik rakendada kulutõhusat tarbimise juhtimist.

Meetmed tarbimise juhtimiseks jagunevad staatiliseks ja dünaamiliseks. Dünaamiline tarbimise juhtimine on lühiajaline tegevus, mille eesmärk on tasakaalustada elektriturgu- ja süsteemi. Dünaamiliste meetmetega tarbimise juhtimine ei tekitata märkimisväärset energiasäästu, kuid õige teostamise abil võib pakkuda suurt rahalist kokkuhoidu. Dünaamiline juhtimine on näiteks hinnapõhine juhtimine või tasakaalustamisteenuse pakkumine süsteemi haldurile. Staatiline tarbimise juhtimine on pikemas ajavahemikus toimuv tegevus, eesmärgiga tekitada energiasäästu.

Staatiline juhtimine pakub huvi sektorites, kus energiakokkuvõtt pakub märkimisväärset säästu kuludelt, peamiselt kodumajapidamistes ja avalikus/teenindavas sektoris. Staatiline tarbimise juhtimine on näiteks tõhusamate seadmete kasutuselevõtt ja reaktiivenergia kompenseerimine.

Kodumajapidamistes kasutatavaid seadmeid saab jagada kolmeks: juhitavad, osaliselt juhitavad ja mittejuhitavad. Juhitavate seadmete energiatarbimist on võimalik nihutada kõrge tariifi perioodilt madala tariifi perioodile, tipukoormuste alandamiseks või elektritarbimise- ja tootmise võimsusbilansi tagamiseks. Juhitavad seadmed on soojaveeboiler, pesumasin, nõudepesumasin ja põrandaküte. Elektri peal töötav soojaveeboiler võib moodustada kuni 50 % majapidamise elektri tarbimisest, seega on juhtimise abil võimaliku saavutada potentsiaalselt suur kokkuvõtt. Osaliselt juhitavate seadmete tarbimist on võimalik nihutada võimsuse reguleerimise abil. Osaliselt juhitavad seadmed on valgustusseadmed, külmkapid, veekeedukannud ja tolmuimejad. Mittejuhitavate seadmete tarbimist ei ole võimalik juhtida. Mittejuhitavad seadmed on näiteks pliivid, köögiventilatsioon, televiisor ja audiosüsteemid.

Antud töö käigus loodav platvorm keskendub juhitavate seadmete tarbimise nihutamisele, et tõsta kulutõhusust. Eesmärk saavutatakse dünaamilisi tarbimise juhtimise meetmeid kasutades[2], [12], [13], [14].

## **2. HETKEL TURUL OLEMASOLEVAD VÕIMALUSED ELEKTRITARBIMISE JUHTIMISEKS**

Alternatiivselt staatilistele meetmetele, nagu energiatõhusamate seadmete ostmine ja hoonete soojustamine, on võimalik minimeerida kodumajapidamiste kulutusi elektrienergiale ka läbi tarbimise nihutamise ja tippude lõikamise. Paljud tarbijad nihutavad oma tarbimist manuaalsete meetmete abil nagu tulede kustutamine ja termostaadi temperatuuri alandamine kõrge elektri hinnaga tundidel. Käitsi tarbimismustri kohendamine elektri hinnast sõltuvalt nõuab aktiivset osalemist tarbija poolt. Juhtimise paremaks haldamiseks on loodud mitmeid platvorme, järgnevates peatükides analüüsib autor turul olevaid platvorme, et koostada nõuded suuremat funktsionaalsust ja mugavust pakuvale platvormile.

### **2.1 Olemasolevate elektritarbimise juhtimise platvormide analüüs**

Hetkel on turul mitmeid lahendusi tarkades kodudes kasutatavate *Internet of Things* (IoT) nutipistikute ja releede juhtimiseks. Järgnevates alapeatükkides analüüsib autor erinevate kodumajapidamiste tarbimise juhtimise lahenduste poolt pakutavat funktsionaalsust, et välja töötada töö raames loodava platvormi kontseptsioon.

#### **2.1.1 Shelly iseloomustus**

Shelly pakub automatiseerimise lahendusi tarkadele kodudele, kasutades firma enda toodetud IoT seadmeid (Joonis 2.1 b). Ettevõtte tegutseb rohkem kui sajas riigis ja on müünud üle viie miljoni seadme [15]. Seadmeid on võimalik soovi korral juhtida ilma tootjapoolse serverita ja seadmed võimaldavad juhtimist ka ilma tsentraalse keskseadmeta. Shelly Cloud (Joonis 2.1 a) on pilveteenus, mis võimaldab hallata kasutaja kontoga liidestatud seadmeid. Platvormiga on võimalik siduda ühe- või kolmefaasilisi nutireleesid ja pistikuid, temperatuuri- ja niiskusandureid ja ka nutitermostaate. Platvorm teenib tulu seadmete müügist ja Shelly Home Premium teenuste müügist [16].

Kasutajaliidese abil on võimalik näha seadme hetkeolekut, seadme ligipääsetavust, releed läbivat võimsust ja mõnede seadmete puhul ka muid elektrilisi parameetreid. Kasutajal on võimalik muuta seadme nime ja koondada seadmeid tubade alusel. Platvorm võimaldab teostada nii lülitusi kui ka seadmele peale laadida lülitusgraafik.

Server salvestab ja kuvab infot seadme tarbimisajaloo kohta ja võimaldab seda läbi API pärida. Seadmetele on võimalik ligi pääseda nii läbi veebilehe kui ka kasutada selleks Shelly äppi [17].



a)



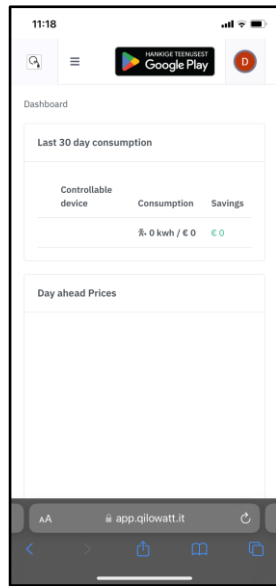
b)

Joonis 2.1 Platvormi Shelly a) kasutajaliides [17] b) nutipistik [16]

## 2.1.2 Qilowatt iseloomustus

Qilowatt pakub tarkvara nii nutipistikute (Joonis 2.3) kui ka kütteseadmete juhtimiseks vastavalt elektri börsihinnale. Erinevalt Gruffi ja Celeoni poolt pakutavatest lahendustest võimaldab Qilowatti platvorm ennast HomeAssistant nutikodu tarkvaraga liidestada. Juhtida on võimalik tootjate Shelly ja Sonoff nutipistikuid läbi Qilowatt veebilehe (Joonis 2.2). Tarkvara ja Modbus kontrolleri abil on võimalik ka mitmete tootjate õhk-vesi- ja maasoojuspumpasid juhtida. Vastavalt kasutaja poolt tellitud pakatile on võimalik seadmeid reaajas ja viitega jälgida, juhtida neid automaatselt või käsitsi ja ligi pääseda lugemite ajaloole kuni 2 aastat tagasi. Qilowatt teenib tulu igas kuus teenuse lisafunktsionaalsuse eest makstava hinna pealt ja platvormiga ühendatavate teiste tootjate seadmete müügi pealt [18].

Koostöös Fusebox teenusega võimaldab Qilowatt pakkuda võrgu tasakaalustamise teenust. Agregaatorina tegutsemine hõlmab endas tarbimise vähendamist kriitilistel hetkedel või tarbimise suunamist madalama hinnaga perioodidesse. Tasakaalustamise teenuses osalemine annab kasutajale võimaluse saada kompensatsiooni, et motiveerida tarbijaid aktiivselt osalema [19].

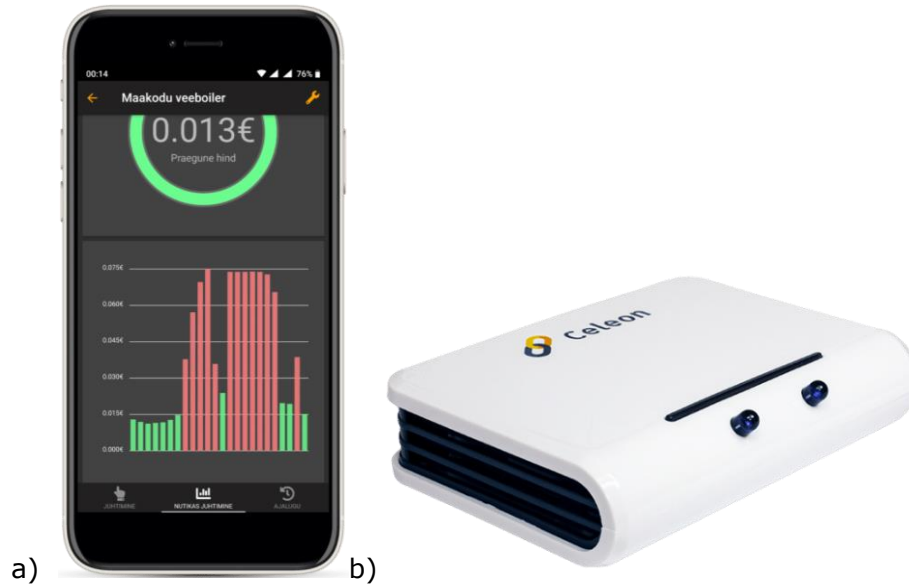


a) b)  
Joonis 2.2 Platvormi Qilowatt a) kasutajaliides b) nutipistik [18]

### 2.1.3 Celeon iseloomustus

Celeon võimaldab kasutajal elektritarbimist börsihinna alusel optimeerida, kasutades selleks ühe- või kolmefaasilisi nutireleesid ja pistikuid, temperatuuriandureid ja tarka õhk – õhk soojuspumba kaugjuhtimisseadet. Seadmete juhtimine toimub läbi Celeoni äpi, kus saab sisestada rakenduva võrgutasu, soovitud hinnapiiri nii päeval kui ka öösel ja soovitud seadme nime. Iga viie minuti järel uuendab kasutajaliides (Joonis 2.4.a) andmeid seda võimaldava seadme tarbimise kohta ja kuvab need kasutajale. Celeoni tarkvara võimaldab ka õhk-õhk soojuspumpa juhtida läbi targa õhk-õhk soojuspumba kaugjuhtimisseadme (Joonis 2.4 b). Soojuspumba juhtimisel sätestatakse kasutaja poolt miinimum- ja maksimumtemperatuurid ja nende temperatuuride vahemikus reguleeritakse seadet vastavalt elektriinnale. Platvorm teenib tulu ümberprogrammeeritud tootja Shelly seadmete ja Celeoni enda õhk-õhk soojuspumba kaugjuhtimisseadme müügist [20].





Joonis 2.3 Platvormi Celeon a) kasutajaliides b) Tark õhk-õhksoojuspumba kaugjuhtimise seade[20]

#### 2.1.4 Futugrid iseloomustus

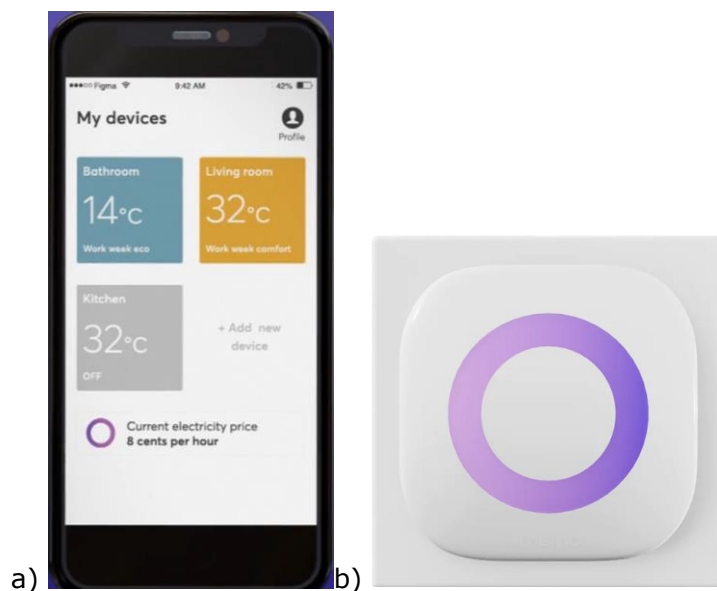
Futugrid võimaldavad läbi kaugjuhitavate nutipistikute juhtida suure tarbimisega elektritarvikuid (Joonis 2.5). Ettevõtte tehnoloogia fookusgrupiks on elektriradiaatorid ja -boilerid, mille juhtimise abil ennustab ettevõtte rahalist säästu kuni 40 %. Seadmeid juhitakse elektri börsihinna alusel automaatsete lülituste abil. Erinevalt eelnevalt käsitletud platvormidest pakub Futugrid automaatdiagnostikat, et teavitada klienti, kui boiler vajab hooldust või käitub ebatavaliselt [11]. Futugridi abil saavutatakse juhtimine läbi ettevõtte enda poolt väljaarendatud nutipistiku ja telefonirakenduse abil. Tootja sõnul on nende poolt arendatavat platvormi kerge integreerida mistahes Euroopa elektrivõrku [21]. Töö kirjutamise ajal ei ole võimalik veel leida infot, kuidas Futugrid plaanib platvormi pealt tulu teenida.



Joonis 2.4 Platvormi Futugrid kasutajaliides ja nutipistik [21]

### 2.1.5 Themo iseloomustus

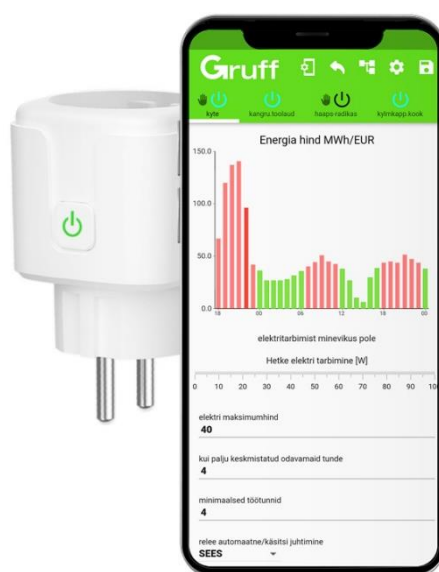
Themo pakub kasutajale tarktermostaati (Joonis 2.6 b), mis automaatselt reguleerib ruumi temperatuuri vastavalt elektri hinnale, välitemperatuurile ja kasutaja harjumustele. Ettevõtte lubab kuni 32 % vähendada elektriarvet, tingimusel, et kõik põrandakütted on ühendatud nende süsteemi. Termostaati on võimalik juhtida ka läbi telefonirakenduse (Joonis 2.6 a) [11]. Ettevõtte käive tekitatakse läbi termostaatide ja temperatuuriandurite müügi [22].



Joonis 2.5 Platvormi Themo a) kasutajaliides b) tark termostaat[22]

## 2.1.6 Gruff iseloomustus

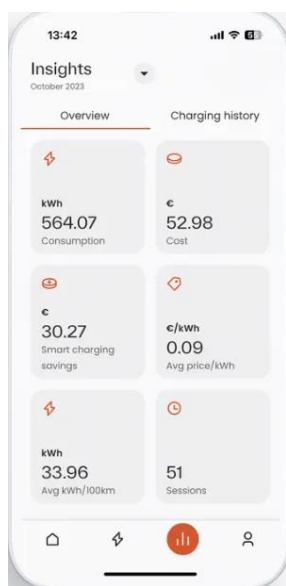
Gruff pakub ühefaasilise nutipistikiku (Joonis 2.7 b) näol elektrikulutuste minimeerimise tööriista koos selle haldamise mobiilirakendusega (Joonis 2.7 a). Üks kord päevas pärib nutipistik serverist Nord Pooli börsihinna ja lülitab ennast kasutaja poolt sätestatud parameetrite alusel. Lülitamisel arvestatakse nominaaltööaega päevas, minimaalset tööaega päevas, kindlasti sisse lülitatud tunde ja maksimaalselt lubatud elektri hindu. Kasutajaliides võimaldab muuta seadme nime, muuta juhtimisparameetreid ja seadet sisse- välja lülitada. Rakendus kuvab iga seadme tarbimisajalugu, elektri börsihinna ja hetke võimsust. Gruff teenib tulu ettevõtte enda poolt välja arendatud nutipistikute müügist [23].



Joonis 2.6 Platvormi Gruff kasutajaliides ja nutipistik [23]

## 2.1.7 Vool iseloomustus

Vool platvorm võimaldab kasutajatel laadida elektriautosid elektri börsihinna põhised. Platvormi kasutamiseks on kasutajal vaja soetada tootja ühe- või kolmefaasiline laadija (Joonis 2.8 b), et säästa kuni 90% elektriauto laadimise kulutustelt. Platvorm võimaldab seadme omanikul pakkuda laadimisteenust ja läbi Voolu mobiilirakenduse (Joonis 2.8 a) teenida seeläbi tulu [11]. Platvorm teenib tulu läbi laadijate müügi, laadija alghind on 890 eurot ja sellele lisanduvad kasutaja poolt valitud lisade hinnad [24].



a) b)

Joonis 2.7 Platvormi Vool a) kasutajaliides b) tark laadija[24]

## 2.1.8 Platvormide võrdlus

Analüüsi kokku seitset lahendust: Shelly, Qilowatt, Celeon, Futugrid, Gruff, Themo ja Vool. Olemasolevatest lahendustest loodavale platvormile on kõige sarnasem Qilowatt platvorm, sest pakub rohkelt funktsionaalsust ja viib läbi juhtimist läbi vabalt kättesaadavate nutipistikute. Qilowatti platvormi on võimalik kasutada vaid veebi lahendusena. Celeon on mobiilirakendus mille abil on võimalik ümberprogrameeritud Shelly seadmete ja tark õhk-õhksoojuspumba kaugjuhtimise seadme abil oma tarbimist reguleerida. Celeon-i kasutajaliides ei ole kasutajasõbralik ja juhitavad seadmed kallid. Gruff on väga alguses arengufaasis ja seega ei ole nende kasutajaliides väga kasutajasõbralik. Futugridi lahendus ei ole veel avalikusele kättesaadav, seega ei ole tema platvorm täielikult kaardistatav. Celeon keskendub erinevalt eelnevalt mainitud platvormidest tark termostaatide börsihinna alusel reguleerimisele. Vool keskendub hinnapõhisele elektriautode laadimisele. Shelly keskendub nutikodu lahenduste pakkumisele ja tekita tarbimise juhtimise abil rahalist säästu [16], [18], [20], [21], [22], [23], [24].

Kasutajaliidese loomisel tuleb inspiratsiooni võtta peamiselt Qilowatt ja Shelly platvormidest, sest nende kasutamine on kõige intuitiivsem. Platvormi funktsionaalsuse planeerimisel tuleks võtta aluseks Celeon ja Qilowatt platvormid, sest nende pakutav funktsionaalsus on sobilik tarbimise juhtimiseks. Gruff ja Futugrid on alguses arengufaasis, seega on nende platvormide uurimise tulemusi vaid kontseptsiooni loomiseks kasutada. Vool ja Themo ei keskendu nutipistikute juhtimisele, aga ülesehitusliku analüüsi tulemusena on ka nende alusel platvormi täiendada.

Analüüsist selgus, et kuigi olemasolevad lahendused pakuvad kasutajatele käsijuhtimist, siis kõik neist ei paku elektrihinna põhise juhtimisvõimalust. Enamus platvormide kasutamiseks tuleb osta platvormispetsiifilisi seadmeid, mis suurendab teenuse kasutamise hinda ja vähendab potentsiaalsete klientide liitumist platvormiga. Enamus käsitletud platvorme ei arvesta võrgutasuga, mis vähendab rahalise säästu tekitamise potentsiaali kahetariifse arvesti puhul. Olemasolevad lahendused piiravad kasutajat läbi selle, et võimaldavad kasutada vaid ühte juhtimisealgoritmi. Lõputöö raames loodaval platvormil ei ole plaanis elektrisüsteemi stabiliseerimiseks teenust pakkuda sarnaselt olemasolevatele platvormidele.

## 2.2 Lõputöö raames loodava platvormi soovitud omadused

Järgnevates peatükkides analüüsib autor erinevate platvormide funktsionaalsust ja võimekusi. Võrdluse tulemusena valitakse välja olulisimad soovitud omadused platvormile ja nende alusel pannakse paika nõuded loodavale platvormile.

### 2.2.1 Platvormi seadmete haldamine

Autor soovib, et töö lõpuks valminud rakendus kuvaks, sarnaselt eelnevalt analüüsitud olemasolevatele platvormidele, kõik kasutaja poolt platvormiga liidestatud seadmed ja iga seadme kohta seadet läbiva võimsuse. Seadmetel peaks olema võimalik muuta nime ja pilti, et kasutajal oleks võimalikult lihtne kokku viia ekraanil kuvatav reaalse maailmaga. Kasutajale tuleb anda võimalus seadmeid koondada gruppideks, et lihtsustada nii käsitsi kui ka automaatset juhtimist. Olemasolevate lahenduste seadmete halduse võrdlus loodava platvormiga on välja toodud tabelis (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Platvormide seadmete haldamise võrdlus [16], [18], [20], [21], [22], [23], [24]

Haldamis funktsionaalsus	Shelly	Qilowatt	Celeon	Futugrid	Themo	Gruff	Vool	Loodav platvorm
Seadmete kuvamine	+	+	+	+	+	+	+	+
Seadme hetke tarbimise kuvamine	+	+	+	?	?	+	+	+
Seadme nime muutmine	+	+	+	?	?	+	?	+
Seadme tarbimisgraafiku kuvamine	+	+	-	?	?	+	-	+
Seadmete gruppidesse koondamine	+	-	-	?	-	-	-	+
Seadme lülitamine	+	+	+	+	+	+	+	+
Seadmete gruppi lülitamine	+	-	-	?	-	-	-	+

Võimaldab (+), ei võimalda (-), teave puudub (?)

## 2.2.2 Platvormide kuvatav teave

Platvormi kontseptsiooni loomisel tuleb meeles pidada, et tavatarbija elektrialased teadmised võivad olla piiratud, seega ei ole tarvis liigset infot kasutajale kuvada. Küll aga leiab autor, et oluline on kasutajale kuvada iga seadme tarbimisajalugu ja ka käesoleva ja järgneva päeva elektri börsihinda kergesti mõistetaval kujul. Kasutajaliides peab kuvama seadmele kehtiva lülitusgraafiku ja võimaldama seda lihtsalt modifitseerida. Plaanis ei ole platvormi kasutamisest tekitatud säästu kuvamine kasutajale, sest platvorm ei suuda tagada andmete õigsust, aga platvorm peaks kuvama seadet läbinud energia maksumuse. Olemasolevate lahenduste kuvatava teabe võrdlus loodava platvormiga on välja toodud tabelis (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Platvormide poolt kuvatava teabe võrdlus [16], [18], [20], [21], [22], [23], [24]

Kuvatav teave	Shelly	Qilowatt	Celeon	Futugrid	Themo	Gruff	Vool	Loodav platvorm
Elektri börsihind	-	+	+	?	?	+	-	+
Seadme olek	+	+	+	+	+	+	+	+
Seadmete grupi oleku kuvamine	+	-	-	?	-	-	-	+
Tarbimisajaloo vaatamine(kWh)	+	+	+	?	?	-	-	+
Tarbimisajaloo vaatamine(€)	-	+	+	?	?	-	+	+
Platvormi poolt tekitatud säästu kuvamine	-	-	-	-	-	-	+	-
Lülitusgraafiku muutmine	+	-	+	?	-	+	?	+

Võimaldab (+), ei võimalda (-), teave puudub (?)

## 2.2.3 Platvormi poolt pakutav funktsionaalsus

Platvorm peaks võimaldama kasutajal kergesti lisada nutipistiku, aga tark termostaadi ja soojuspumpade juhtimine ei ole autori arvates prioriteet. Seadmeid peaks olema võimalik nii manuaalselt kui ka automaatselt juhtida, et võimaldada võimalikult mitmete seadmete juhtimine ja võimaldada sobilik lahendus kasutajale. Soovi korral peaks olema kasutajal võimalik siduda juhitud seade temperatuuri-, niiskus- või valgusanduriga, et teostada juhtimist kasutajale võimalikult palju mugavust pakkudes. Platvormi peaks olema võimalik kasutada nii arvutis kui ka nutitelefonis, et pakkuda kasutajale sobivaim kasutamiskiivi. Juhtimisel tuleks kindlasti arvestada kahetariifse võrgutuasuga, sest see moodustab suure osa elektriarvest. Olemasolevate lahenduste poolt pakutava funktsionaalsuse võrdlus loodava platvormiga on välja toodud tabelis (Tabel 2.3).

Tabel 2.3. Platvormide poolt pakutava funktsionaalsuse võrdlus [16], [18], [20], [21], [22], [23], [24]

<b>Funktsionaalsus</b>	<b>Shelly</b>	<b>Qilowatt</b>	<b>Celeon</b>	<b>Futugrid</b>	<b>Themo</b>	<b>Gruff</b>	<b>Vool</b>	<b>Loodav platvorm</b>
Nutipistiku lisamine ja juhtimine	+	+	+	+	-	+	-	+
Tark termostaadi lisamine ja juhtimine	-	-	-	-	+	-	-	-
Soojuspumba lisamine ja juhtimine	-	+	+	-	-	-	-	-
Manuaalne seadme lülitusgraafiku koostamine	+	-	+	?	-	+	-	+
Automaatne seadme lülitusgraafiku koostamine	-	+	+	?	+	-	+	+
Juhtimine nutitelefoni abil	+	-	+	+	+	+	+	+
Juhtimine arvuti abil	+	+	-	-	-	-	+	+
Võrgutasu arvestamine	-	-	+	-	?	-	+	+

Võimaldab (+), ei võimalda (-), teave puudub (?)

## 2.2.4 Platvormi poolt mittepakutav funktsionaalsus

Autori arvates ei ole vaja võimaldada kasutajale juhtimist läbi taimeri, sest see lisaks rakendusse liiga palju visuaalset müra ja taimeri poolt lahendatavad olukorrad on võimalik saavutada ka lülitusgraafiku muutmise abil. Juhitavate seadmete automaatne vigade tuvastus ja muu diagnostika ei ole käesoleva töö raames prioriteet. Samuti ei pea autor töö raames vajalikuks tasakaalustamisteenuse pakkumist, sest muidu läheb töö mastaap liiga suureks, aga autor leiab, et see oleks vajalik lisada peale seatud eesmärkide täitmist. Olemasolevate lahenduste poolt mittepakutava funktsionaalsuse võrdlus loodava platvormiga on välja toodud tabelis (Tabel 2.4).

Tabel 2.4. Platvormide poolt mittepakutava funktsionaalsuse võrdlus [16], [18], [20], [21], [22], [23], [24]

<b>Mittepakutav funktsionaalsus</b>	<b>Shelly</b>	<b>Qilowatt</b>	<b>Celeon</b>	<b>Futugrid</b>	<b>Themo</b>	<b>Gruff</b>	<b>Vool</b>	<b>Loodav platvorm</b>
Seadme taimer	+	-	+	?	?	-	-	-
Võrgu tasakaalustamise võimalus	-	+	-	-	-	-	-	-
Teavitus, kui juhitav seade vajab hooldust	-	-	-	+	-	-	-	-
HomeAssistant nutikoduga ühendamine	-	+	-	-	-	-	-	-

Võimaldab (+), ei võimalda (-), teave puudub (?)

## 2.2.5 Platvormi juhitavad seadmed

Platvorm peab võimaldama juhtida tootja Shelly seadmeid nii manuaalselt kui ka automaatselt, et pakkuda kasutajale erinevaid lahendusi vastavalt tema vajadustele. Shelly seadmed on uuritud pistikutest kõige avatuma platvormiga ja sobiva hinnaga, mistõttu keskendub prototüüplahendus nende juhtimisele. Samuti pakub Shelly laia tootevalikut, seega on võimalik leida igale juhitavale seadmele sobiv. Autor arvab, et käesoleva töö raames piisab ühe tootja pistikutest ja Gruffi, Futugridi ja Themo seadmete lisamine ei ole platvormi praeguses arenguetapis vajalikud. Platvormiga oli plaanis ka tootja Sonoff seadmeid liita, aga selleks on vaja tootjaga koostööleping sõlmida. Olemasolevate lahenduste poolt juhitavate seadmete võrdlus loodava platvormiga on välja toodud tabelis (Tabel 2.5).

Tabel 2.5. Platvormide poolt juhitavate seadmete võrdlus [16], [18], [20], [21], [22], [23], [24]

Juhitavad seadmed	Shelly	Qilowatt	Celeon	Futugrid	Themo	Gruff	Vool	Loodav platvorm
Shelly nutipistikud	+	+	-	-	-	-	-	+
Sonoff nutipistikud	-	+	-	-	-	-	-	?
Gruff technology nutipistikud	-	-	-	-	-	+	-	-
Futugrid nutipistikud	-	-	-	+	-	-	-	-
Themo tark termostaadi	-	-	-	-	+	-	-	-
Celeon Tark õhk-õhksoojuspumba kaugjuhtimiseade	-	-	+	-	-	-	-	-

Võimaldab (+), ei võimalda (-), teave puudub (?)



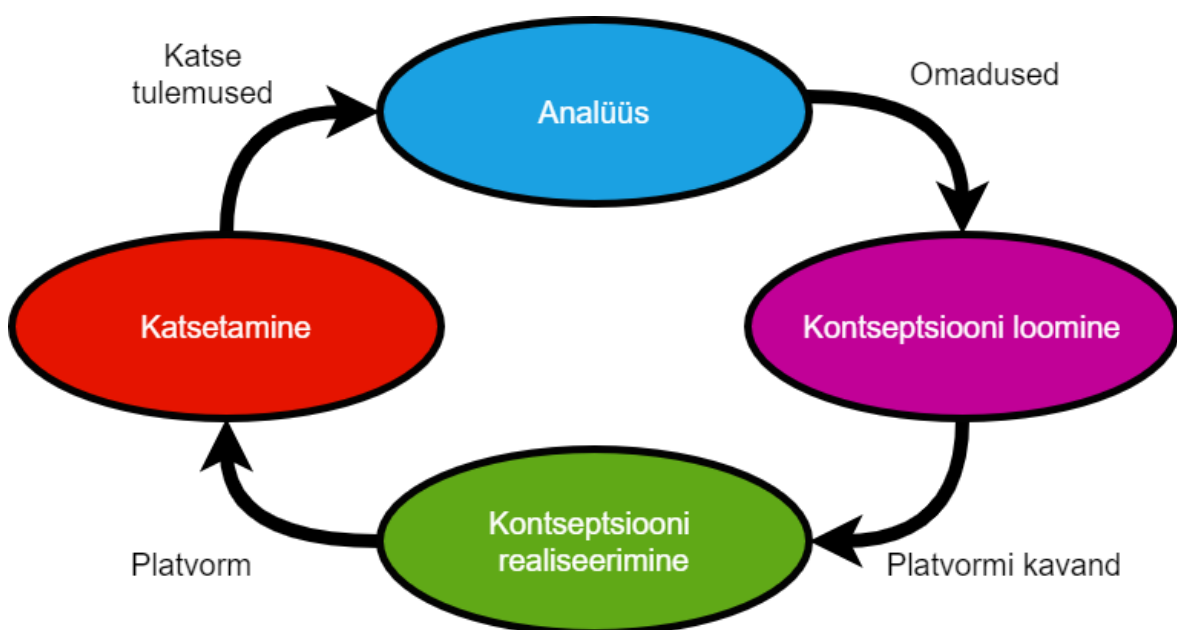
### 3. PLATVORMI KONTSEPTSIOONI LOOMINE

Loodava platvormi kontseptsiooni loomist kirjeldab autor järgmistes peatükkides. Kontseptsiooni väljatöötamisel on kriitiline tagada platvormile eelmises peatükis valitud omadused. Peatükis kirjeldatakse algset nägemust platvormi ülesehituse ja disaini kohta.

#### 3.1 Platvormi arendamise kirjeldus

Lõputöö raames antakse platvormile tehnoloogilise valmiduse tase (TVT) seitse, see tähendab et välja arendatakse prototüüplahendus mida on töökeskkonnas katsetatud [25]. Tarkvara arendus algab sammude järjekorra paika panemisest. Arendamist alustatakse analüüsiga, mille väljundiks on süsteemi nõuded. Nõuete alusel luuakse plaan süsteemi väljaarendamiseks. Plaani alusel toimub tegelik süsteemi arendus. Väljaarendatud süsteemi katsetatakse. Katsetulemused analüüsitakse, et süsteemi edasi arendada [26].

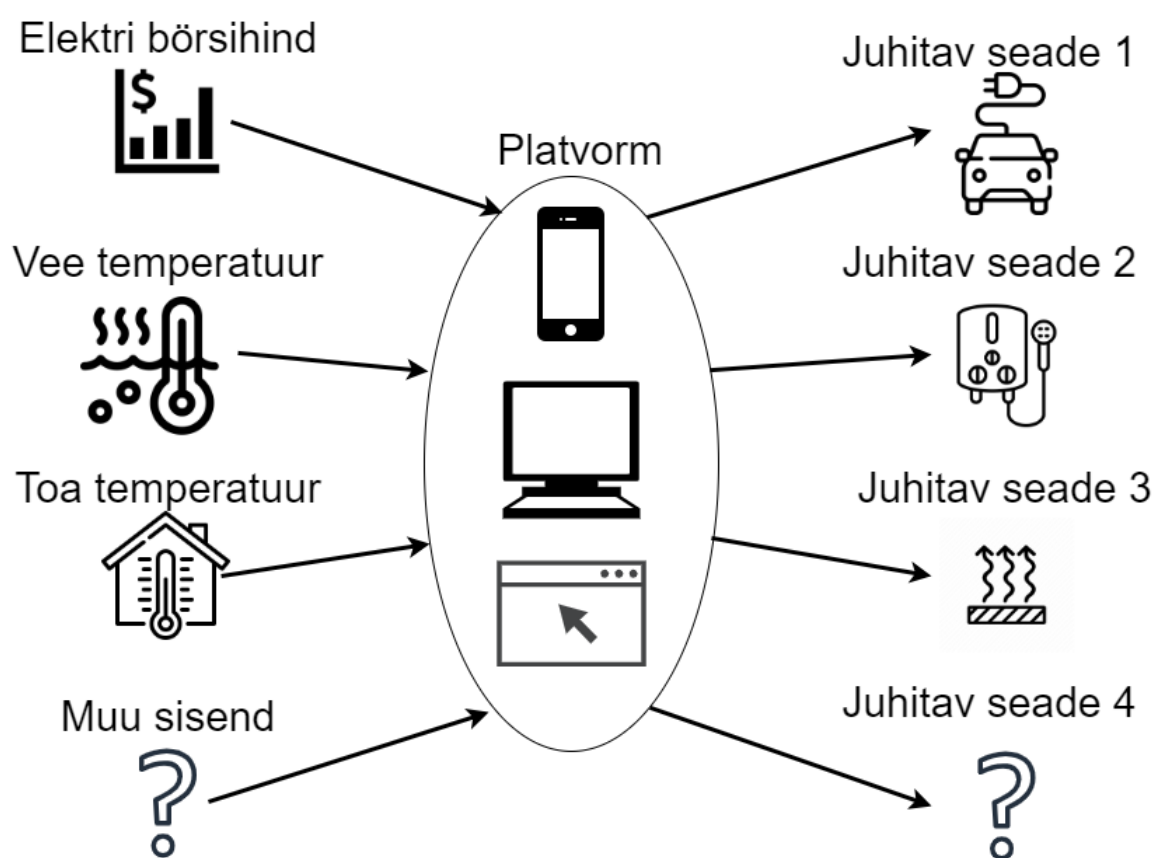
Platvormi loomist alustatakse turu vajaduste kaardistamisega, selle jaoks uuritakse turul olemasolevaid platvorme ja potentsiaalsete kasutajate ootusi platvormil. Saadud platvormi omaduste alusel luuakse paremat kasutamise mugavust ja rohkem funktsionaalsust pakkuvat platvormi kontseptsioon. Kontseptsiooni alusel arendatakse välja platvormi esimene versioon. Esimese versiooni katsetamise järel saadakse sisend platvormi edasiarendamiseks. Platvormi väljatöötamist kirjeldab alltoodud joonis (Joonis 3.1).



Joonis 3.1 Platvormi väljatöötamine

## 3.2 Platvormi ülesehitus

Platvormi ülesehituse eesmärk on saada erinevad sisendeid ja nende alusel juhtida kodumajapidamisseadmeid. Juhtimisel on võimalik lähtuda elektri hinnast, ilmastikuoludest, toa temperatuurist ning platvorm võimaldab lisada ka uusi sisendeid juhtimise algoritmidesse. Platvorm on kasutatav nii nutitelefoni, arvuti kui ka veebilehel. Juhtimine on võimalik nii manuaalselt kui ka automaatselt, vastavalt kasutaja eelistusele. Platvorm võtab vastu sisendid ja juhib nende alusel nutipistikuid, millele on ühendatud erinevad kodumajapidamisseadmed. Alltoodud joonisel (Joonis 3.1) on kujutatud loodava platvormi kontseptsiooni.

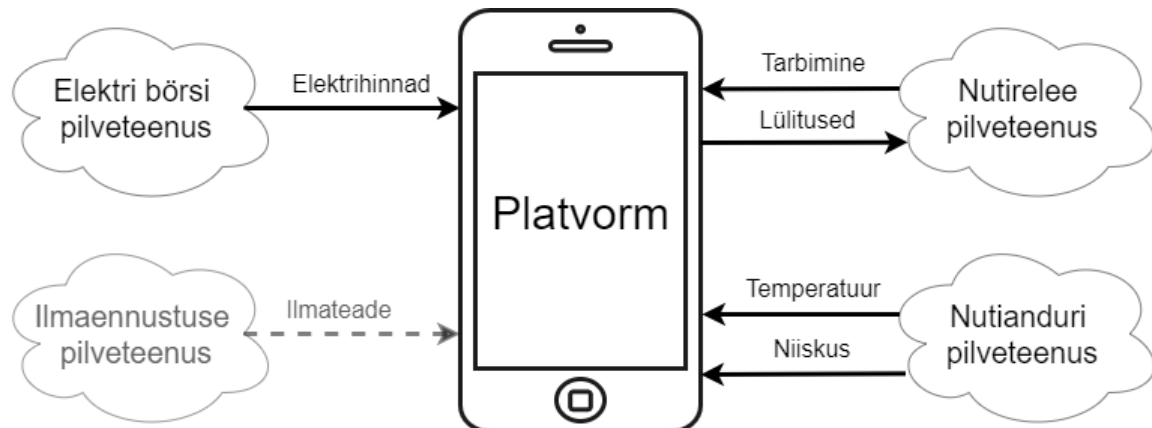


Joonis 3.2 Platvormi kontseptsioon

## 3.3 Platvormi ühilduvus pilveteenustega

Platvormi poolt pakutava funktsionaalsuse võimaldamiseks suhtleb see mitmete erinevate *application programming interface*-ide (API). Nutireleede juhtimise ja juhitavate seadmete tarbimise statistika kuvamiseks suhtleb platvorm nutirelee pilveteenustega. Platvorm edastab soovitud lülitused seadmele vastavas pilve ja pärib sealt andmeid seadme tarbimise töörežiimi ja muu kohta. Kasutatavateks nutireleede

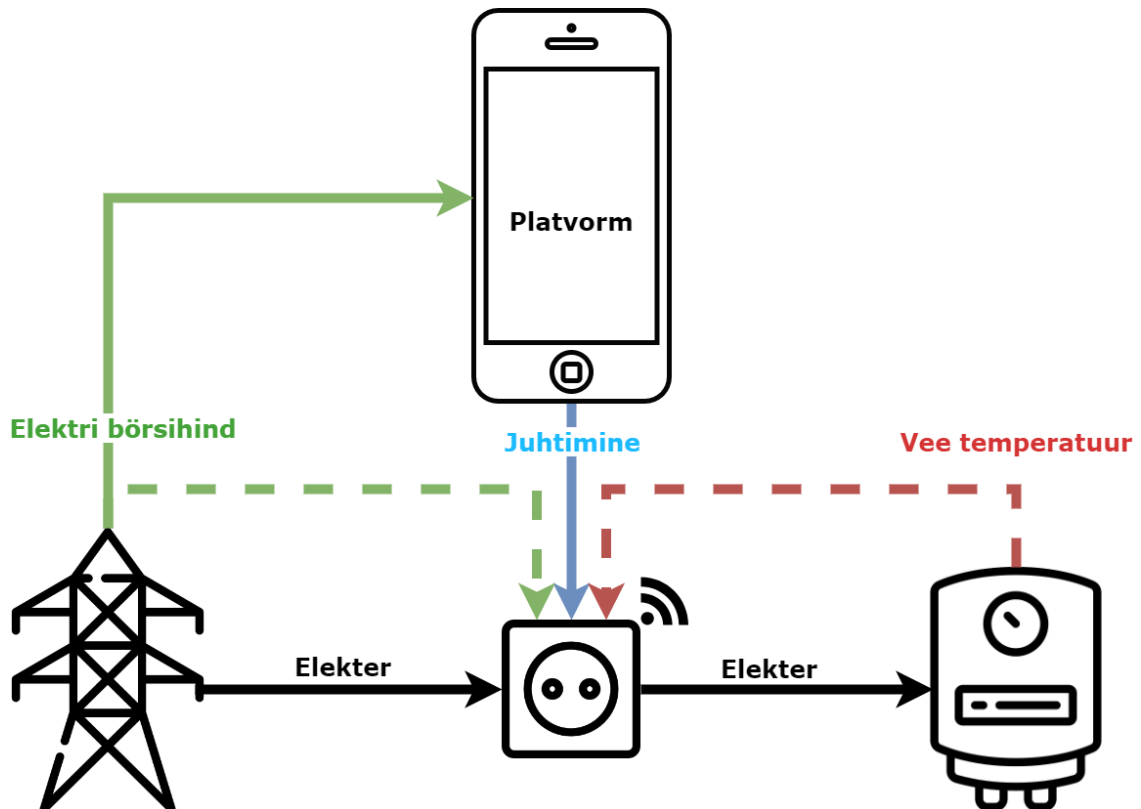
pilveteenuseks on Shelly Cloud ja eWeLink. Shelly Cloud API abil suhtleb platvorm ka anduritega, et saada infot temperatuuri ja niiskuse taseme kohta. Elektri hinna andmed soovitud päeva kohta saadakse Elektribörsi pilveteenusest. Eesti piirkonnas kehtiva Nord Pool elektri börsihinna pärib platvorm Eling Live andmebaasist. Edasiarenduse korral on plaanis ilmastikuolude alast teavet pärida Yr.no API-st, et veelgi suuremat säästu kasutajale tekitada. Platvormile sisendite lisamine on võimalik, kui on selleks vajadus. Suhtlus erinevate pilveteenustega toimub läbi HTTP päringute. Alltoodud joonisel (Joonis 3.2) on kirjeldatud platvormi suhtlust pilveteenustega.



Joonis 3.3 Platvormi andmeside ülesehitus

### 3.4 Juhtimise kontseptsioon

Antud töö raames käsitletakse juhtimist käsitsijuhtimise vaates, aga platvormiga on liidestatud ka automaat juhtimise algoritmid. Näiteks soojaveeboileri manuaalseks juhtimiseks valib kasutaja soojaveeboileri kütmise kestuse, mille järel platvorm soovib kõige odavama hinnaga tunnid. Kasutajale antakse võimalus graafikut redigeerida ja seejärel kinnitada. Peale kinnitamist edastatakse soovitud lülitused nutipistikule. Kasutaja saab soovi korral rakendada ka keerulisemaid juhtimisalgoritme, mis lähtuvad rohkematest sisenditest ja mille talitus on automaatne. Näiteks soojaveeboileri juhtimisel arvestatakse lisaks börsihinnale ka sooja vee temperatuuri. Soojaveeboileri juhtimist (Joonis 3.4) on kirjeldatud alltoodud joonisel.



Joonis 3.4 Soojaveeboileri juhtimine läbi platvormi

## 3.5 Kasutajaliidese disaini alustalad

Kasutajaliides on üks kõige olulisemaid aspekte mobiilirakenduse puhul, sest läbi selle toimub suhtlus inimese ja masina vahel. Hea kasutajaliides muudab äpi kasutamise lihtsaks ja praktiliseks, mis tagavad äpile edu ja kasutajate lojaalsuse[27].

### 3.5.1 Kasutajaliidese elemendid ja navigatsioon

Kasutajaliidese disain peab olema praktiline, mitte dekoratiivne. Elemendid, millel ei ole praktilist eesmärki, ei peaks seal olema. Liigsed elemendid ekraanil segavad kasutajal vajalike elementide ülesleidmist. Kasutajale vajalike elementide leidmiseks on vaja kasutaja vajadusi mõista ja seeläbi saab ennustada, mida kasutaja soovib järgmisena teha. Iga ekraani kasutajaliides on seal põhjusega ja igal ekraanil on selgelt eristatavad tähtsamad ja vähemtähtsad funktsioonid. *Human Machine Interface* (HMI) loomisel tuleb minimeerida samme, mida kasutaja peab läbima, et soovitud tulemus saada. Mobiilirakendustes rakendatakse kolme kliki reeglit, see tähendab, et igast aknast on kolme nupu vajutuse abil võimalik navigeerida iga funktsionaalsuse ja soovitud teabe juurde. Ka pakkuda kasutajale visuaalseid vihjeid mis aitaksid mõista, kuidas soovitud

leht üles leida. Kasutajale ei tohi tunduda, nagu teda sunnitaks kindlaid tegevusi tegema või otsuseid langetama [28].

### **3.5.2 Kasutajaliidese teabe kuvamine**

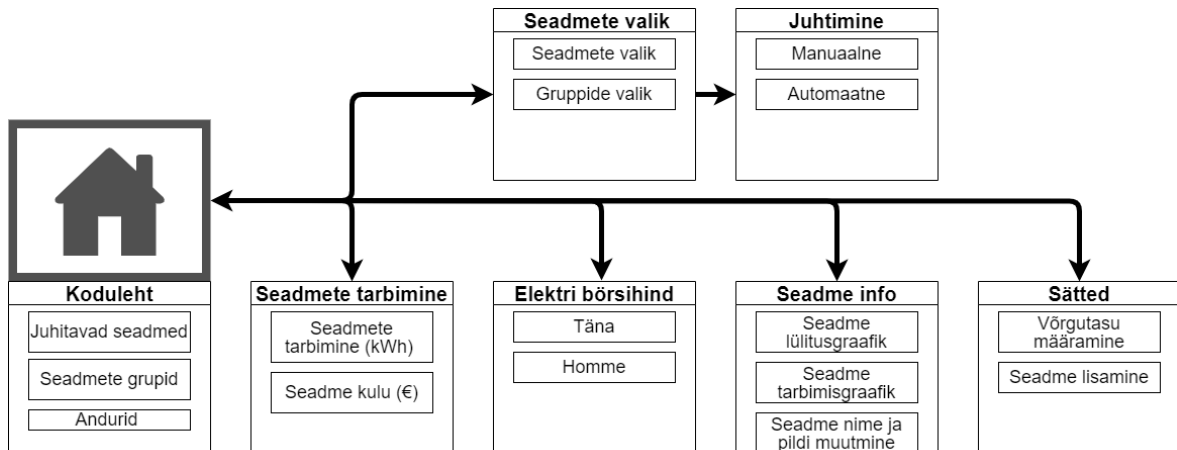
Kasutajaliidest planeerides tuleb jääda järjepidevaks, mitte ainult platvormi, aga ka valdkonna vaates. Disainides tuleb lähtuda kasutajale harjumuspäraseks saanud metoodikast. Kasutajatel on erinevad taustad, seega peab sobima loodav disain erinevate kultuuride ja nende tavadega. Kasutajaliides annab vajalikkude tagasisidet nii tekkinud vigadest kui ka edukalt lõpetatud toimingutest. Kasutaja tehtud vigu on lihtne parandada ja kõike on võimalik uuesti teha. Kasutajaliides ei nõua korduvalt sama teabe sisestamist [28].

### **3.5.3 Kasutajaliidese värvid**

Värv on oluliselt teine aspekt, tähtsam on vaid funktsionaalsus. Inimese ja arvuti vahelises suhtluses aitab värv kasutajal tõlgendada rakenduse sisu ja hõlbustab vajalike elementide leidmist. Värvipaleti valimisel tuleb arvestada mitmete teguritega, sealhulgas brändivärvid ja sihtgrupi värvi assotsiatsioonid. Lihtne värvipalett ei koorma liigselt silmi ja muudab lehe sisu kergemini arusaadavaks, aga liiga mitme värvi kasutamine rikub kujunduse ära. HMI-is ei kuvata elementi isoleeritult, vaid kõrvuti teiste elementidega, erinevaid värve kasutades on võimalik kasutaja tähelepanu suunata. Levinud viga on madal kontrast teksti ja selle tausta vahel, see segab kasutajal teksti lugemist ja on eriti problemaatiline nägemispuuetega kasutajatele. Lisaks lihtsamale lugemisele aitab kontrast suunata kasutaja tähelepanu soovitud elementidele [29].

## **3.6 Kasutajaliidese lehed ja nende paigutus**

Platvormi navigatsioon peaks jälgima kolme kliki reeglit, et anda võimalikult hea kasutajakogemus. Igal lehel on oma eesmärk ja iga lehe leidmine peaks olema võimalikult lihtne. Lehtede vaheline liikumine vastab tegevuste järjekorrale ja igal hetkel on võimalik naasta kodulehele. Järgnevates alampeatükkides seletab autor lahti lehekülgede üldise metoodika. Lehtede paigutust üksteise suhtes kirjeldab alltoodud joonis (Joonis 3.5).



Joonis 3.5 Platvormi lehed ja nende paigutus

### 3.6.1 Koduleht

Sarnaselt Shelly platvormile peaks ka loodav platvorm avades esimesena kuvama kasutajale tema valduses olevad seadmed ja neid läbiva võimsuse, see annab kasutajale ülevaate kodumajapidamise elektrilisest olukorrast. Koduleht lubab kasutajal valida lülitatava seadme, seadmete grupi ja anduri vaadete vahel. Andurite vaates peaks rakendus kuvama avalehel seadme mõõdise ja grupivaates peaks kuvama grupi seadmete summaarse seadmeid läbiva võimsuse ning grupi kuuluvate andurite mõõdised. Kodulehelt peab olema lihtne edasi liikuda seadme lisamise lehele, sest esmakordsel rakenduse avamisel on see kasutajal esimene asi mida kasutaja teha soovib.

### 3.6.2 Teabelehed

Inimene, kes kasutab platvormi, on tõenäoliselt huvitatud ka elektri börsihinna vaatamisest, et sellest lähtuvalt planeerida nutireleede poolt mittejuhitavat tarbimist. Kasutajale parema kogemuse pakkumiseks peaks aken kergesti leitav olema. Platvorm peaks kuvama seadmete tarbimisajaloo nii kulutatud energia kui ka rahalises vaates. Kasutajal peaks olema võimalik valida millist tüüpi diagrammiga tarbimine talle kuvatakse ja millise ajaperioodi lõikes. Platvorm peaks kuvama ka iga seadme individuaalse tarbimisajaloo ja lülitusgraafiku, et anda parem ülevaade kasutajale kodumajapidamises toimuvast ja seeläbi seda optimeerida.

### 3.6.3 Sätete leht

Võimalikult lihtne peaks olema ka rakenduva võrgutasu määramine, et kasutaja teaks selle funktsionaalsuse olemasolust. Võrgutasu moodustab suure osa elektriarvest ja

seega tuleks juhtimisel sellega arvestada. Kasutajale tuleb anda võimalus valida ühe- või kahetariifse võrgutasu vahel, et börsihinna kuvamisel nähtav hind kirjeldaks tegelikult makstavat tasu ja lülituste planeerimisel pakkuda kasutajale võimalikult suurt säästu.

#### **3.6.4 Seadmete juhtimise lehed**

Kodulehelt võimaldab platvorm liikuda otse lülitusgraafikut koostama, sest see on platvormi põhifunktsionaalsus. Seadmeid peaks olema võimalik juhtida individuaalselt, et võimaldada kasutajale nii maksimaalset paindlikkust, kui ka gruppide kaupa võimaldada kiirem seadmete juhtimine. Peale sobiva hulga seadmete valimist saab kasutaja valida kas automaatse või manuaalse juhtimise vahel, et leida sobiv lahendus iga kodumajapidamisseadme juhtimiseks.

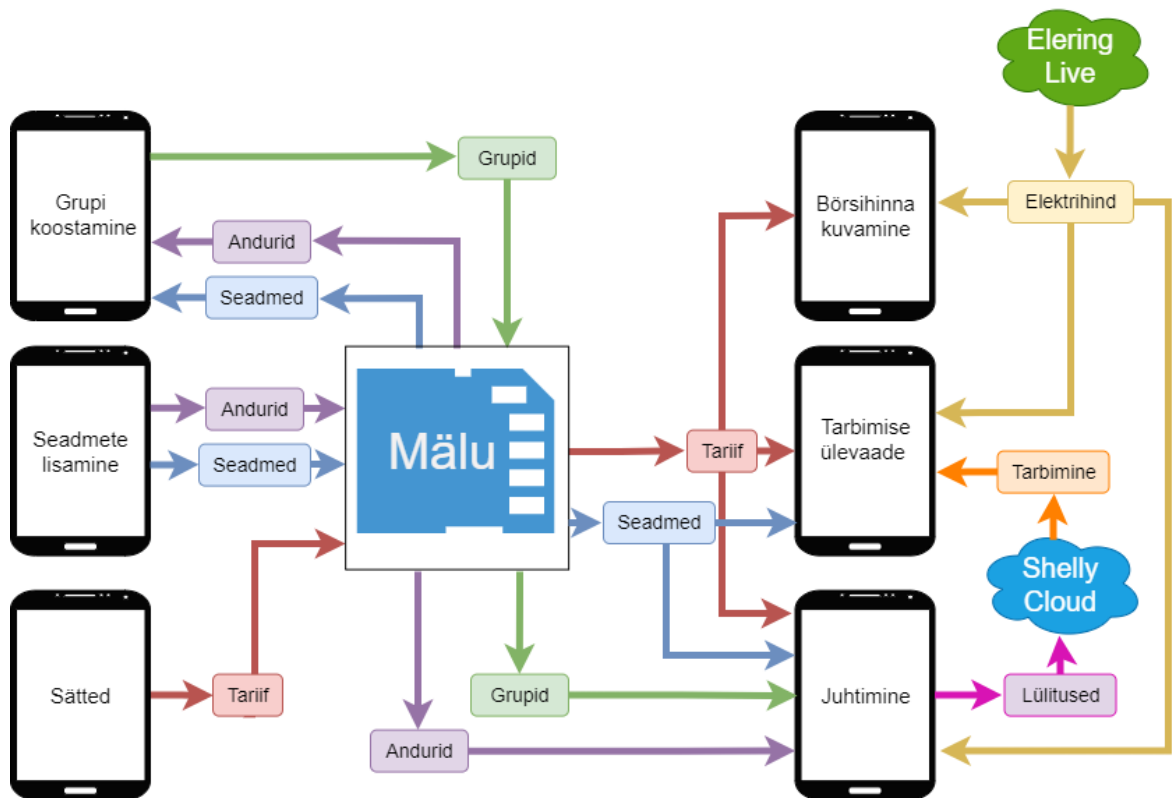
## **4. VÄLJATÖÖTATUD PLATVORMI ISELOOMUSTUS**

Järgnevas peatükis annab autor ülevaate eelmise peatükis deklareeritud platvormi kontseptsiooni realiseerimisest. Loodud platvorm loodi kasutades Flutter raamistiku ja funktsionaalsus kirjeldati Dart keele kaudu, sest seeläbi on võimalik ühe koodibaasi abil arendada välja platvorm, mida on võimalik kasutada Androidis, veebis ja töölaua rakendusena. Samuti võimaldab Flutter kasutada laia valikut kohandatavaid kasutajaliidese komponente. Dart keele abil on võimalik tagada efektiivne seadme ressursside kasutamine. Platvormi kasutamise kiirendamise eesmärgil laetakse ära kõik lehed, kuhu kasutaja potentsiaalselt edasi soovib liikuda. Ülevaade loodud platvormist antakse läbi põhifunktsionaalsust pakkuvate lehtede kirjelduste [30], [31].

### **4.1 Andmete liikumine platvormil**

Platvorm koosneb mitmest lehest, mille vahel liiguvad andmed. Igal rakenduse käivitamisel laetakse seadme mälust alla eelmistel kasutamistel väärtustatud andmed (joonis 4.1). Kõige olulisemad neist on kasutaja poolt lisatud seadmed ja andurid, sest läbi nende juhitakse kodumajapidamisseadmeid. Seadmete ja andurite info saadakse platvormi Shelly Cloud pilveteenusega sisselogimise abil. Elektri börsihind on oluline sisend mitmete platvormi poolt pakutavate funktsionaalsuste jaoks ja elektri hinna alased andmed päritakse Elering Live API keskkonnast. Võimalikult suurt säästu tekitava juhtimise eesmärgil arvestab platvorm ka võrguteenustasuga ja seda sisestatakse seadete lehel. Juhtimise hõlbustamiseks on võimalik siduda lülitatavad seadmed anduritega ja seda on võimalik teha grupi koostamise lehe alt. Koostatud lülitused saadetakse Shelly Cloud pilveteenusesse, kust on neid võimalik ka hiljem pärida lülitusgraafiku kuvamise eesmärgil. Tarbimise kuvamiseks nii summaarselt, kui ka individuaalseadmete vaates, päritakse tarbimisperiodi andmed Shelly Cloud pilveteenusest ja börsihinnad Elering Live keskkonnast. Ilmastiku alast teavet ei kasutatud juhtimise algoritmides ja seega ei lisatud seda platvormile.

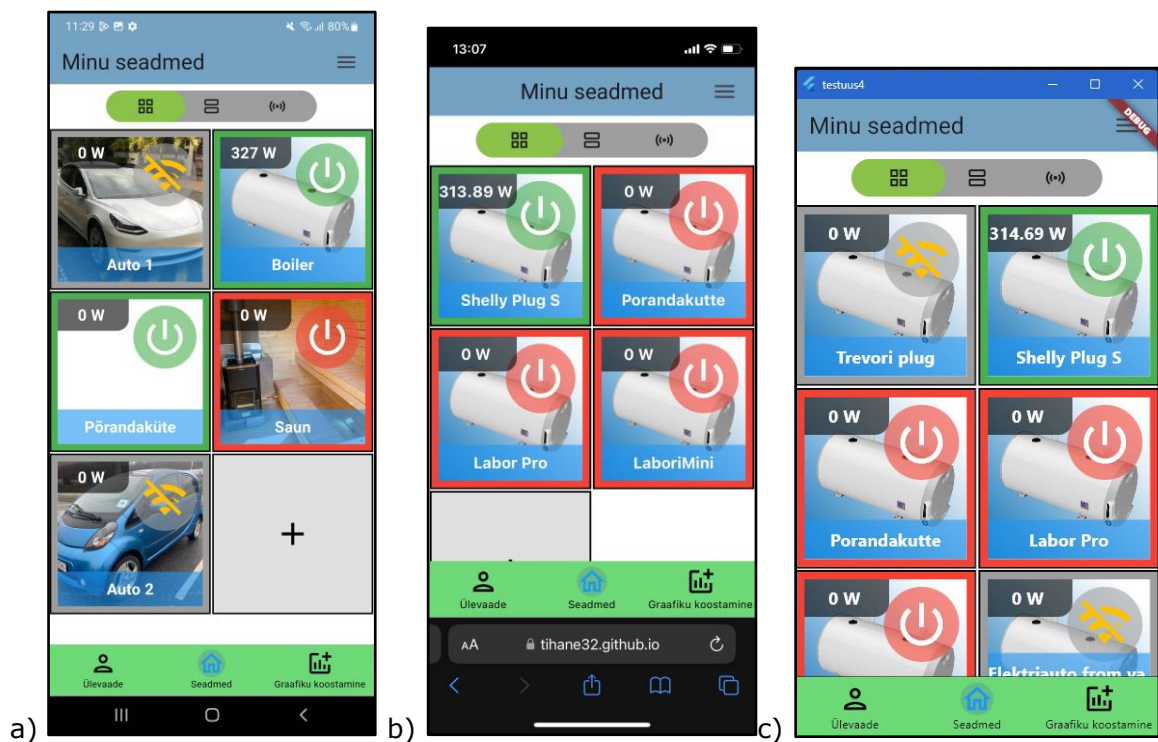




Joonis 4.1 Andmete liikumine platvormil

## 4.2 Platvormi kasutamine

Platvormi võimalikult mugavaks kasutamiseks on võimalik platvormi kasutada nii mobiilirakenduse, veebilehe kui ka arvutiprogrammina. Nutitefonis platvormi kasutamiseks on vaja telefonis operatsioonisüsteemi Android 6 või uuemat, sest muidu ei ole võimalik elektrihinna päringuid teostada, kuna platvormil puuduvad oma serverid. IOS operatsioonisüsteemi versiooni ei ole loodud, sest selle versiooni kasutamiseks tuleks see AppStore-i üles laadida ja see nõuaks hetkel liiga palju ajalisi ja finantsilisi ressursse. Veebi teel ligipääsemiseks loodi GitHub-is majutatud veebisait, sest autoril ei ole vaba avalikku *Internet Protocol* (IP) aadressi ega oma ta ka serveri majutusressurssi. Lauarvutis kasutamiseks saab kasutada töölauaversiooni mis toimib Windows operatsioonisüsteemi peal. Platvormi kasutamine on piiratud, aga platvormi edasiarendamise korral kuulub see redigeerimisele. Platvorm mobiilirakendusena (Joonis 4.2 a), veebilehena (Joonis 4.2 b) ja arvutiprogrammina (Joonis 4.2 c) on kujutatud alltoodud joonisel.



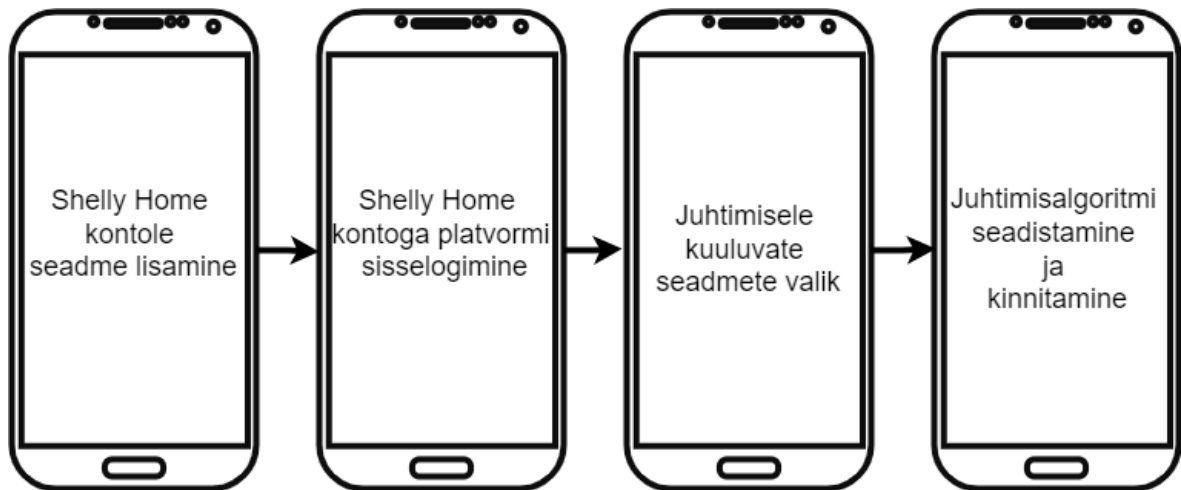
Joonis 4.2 Platvormi kasutajaliides a) mobiilirakendusena, b) veebilehena ja c) töölauarakendusena

## 4.3 Seadmete juhtimine

Järgnevates alapeatükkides kirjeldab autor seadmete lisamist platvormil ja lisatud seadmete juhtimist. Ülevaadet lehtedest antakse läbi skripte seletavate voodiagrammide ja platvormi kuvatõmmiste.

### 4.3.1 Platvormi põhifunktsionaalsuse kasutamine

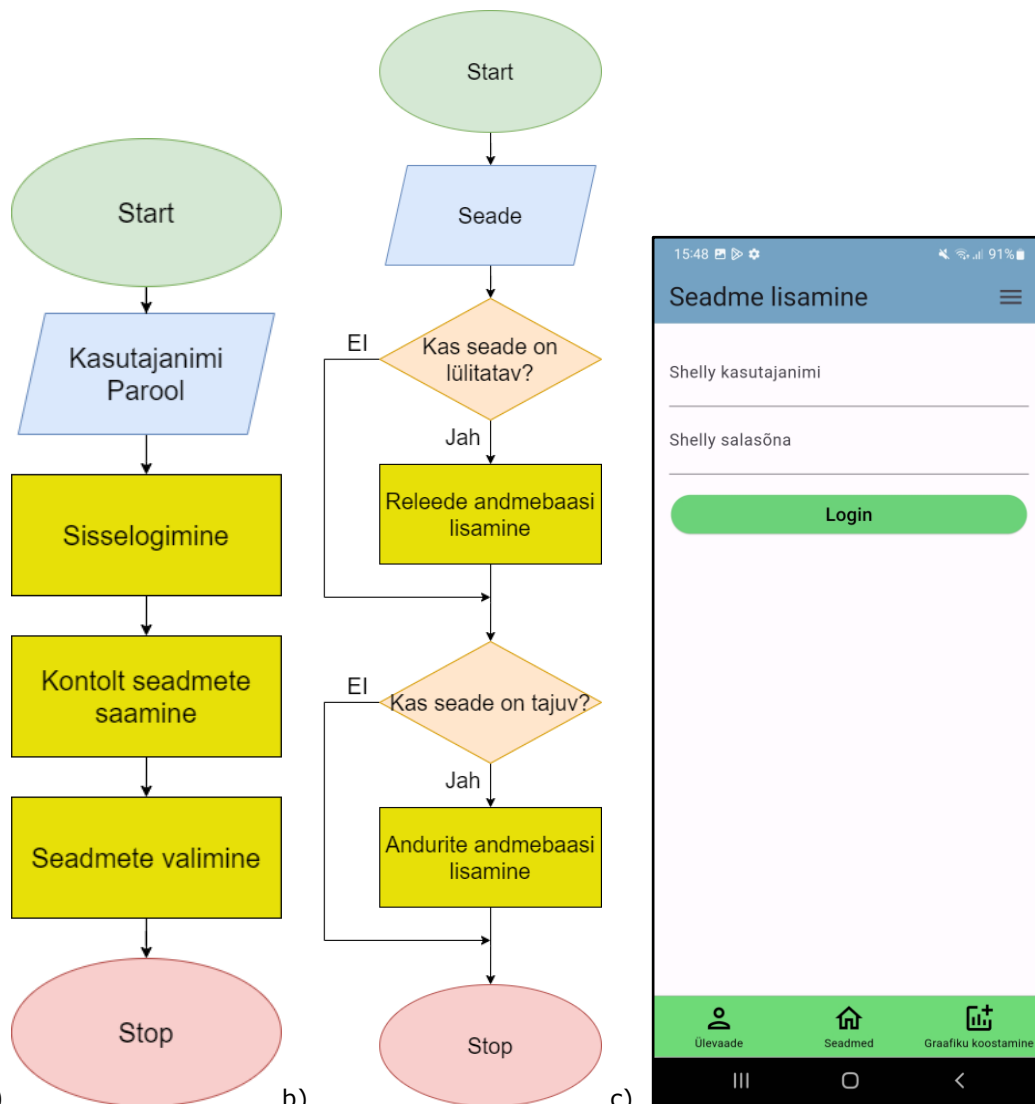
Platvormi kasutamiseks on vaja hankida Shelly seade ja luua konto Shelly Home keskkonnas. Shelly seade tuleb lisada enda Shelly Home kontole ja ühendada seade oma kodu kohtvõrku [17]. Käivitades platvormi on kasutajal võimalik logida sisse oma Shelly Home kontole ja seeläbi lisada platvormile kontoga seotud seadmed. Juhtimise teostamiseks tuleb liikuda graafiku koostamise lehele ja sealt valida juhtimisele kuuluvad seadmed. Kasutajal on võimalik valida automaatse ja manuaalse juhtimise vahel. Manuaalse juhtimise korral valib kasutaja tänase või homse päeva ja soovitud alusparameetrid. Kasutaja kinnitab pärast valikulist redigeerimist valitud päeva graafiku ja iga järgneva päeva graafik tuleb iseseisvalt uuest koostada. Automaatse juhtimise korral valib kasutaja juhtimise algoritmi ja sätestab juhtimise lähteparameetrid, peale juhtimise seadistamist toimuvad lülituste peale saatmised automaatselt. Esimese juhtimise teostamine platvormil on kirjeldatud alltoodud joonisel (Joonis 4.3).



Joonis 4.3 Esimese lülituse peale saatmine platvormil

### 4.3.2 Shelly seadme lisamine

Shelly seadmete lisamiseks tuleb kasutajal platvormi sisestada oma Shelly Cloud kasutaja informatsioon, seejärel pärib platvorm Shelly Cloud-ist kõik kasutajaga liidestatud seadmed. Päringust saadud seadmed kuvatakse kasutajale, et kasutajal oleks võimalik nende hulgast soovitud välja valida. Peale valitud seadmete kinnitamist käivitatakse skript seadmete platvormi mällu salvestamiseks. Platvorm käsitleb Shelly seadmeid erinevalt, vastavalt sellele, kas seadmed on lülitatavad, keskkonda tajuvad või mõlemad. Lülitatavad seadmed lisatakse releede andmebaasi ja seeläbi on võimalik neid platvormi abil juhtida. Tajuvad seadmed salvestatakse andurite andmebaasi ja neid on võimalik kasutada juhtimise sisendina. Kasutaja saab lisada seadmeid „Login“ lehel ja iga seadme „Sätete“ lehe alt on võimalik iga seade eemaldada platvormilt. Platvorm võimaldab lisada seadmeid ka mitmelt Shelly kontolt, aga selleks tuleb igasesse kontosse eraldi sisse logida. Shelly platvormiga liidestamise programmikoodi ülesehitust (Joonis 4.4 a) ja sisselogimist platvormil (Joonis 4.4 b) ning programmikoodi seadmete salvestamiseks (Joonis 4.4 c) kirjeldab alljärgnev joonis.



Joonis 4.4 Shelly seadme lisamise a) sisselogimise voodiagramm b) seadmete mällu salvestamise voodiagramm c) kasutajaliideses

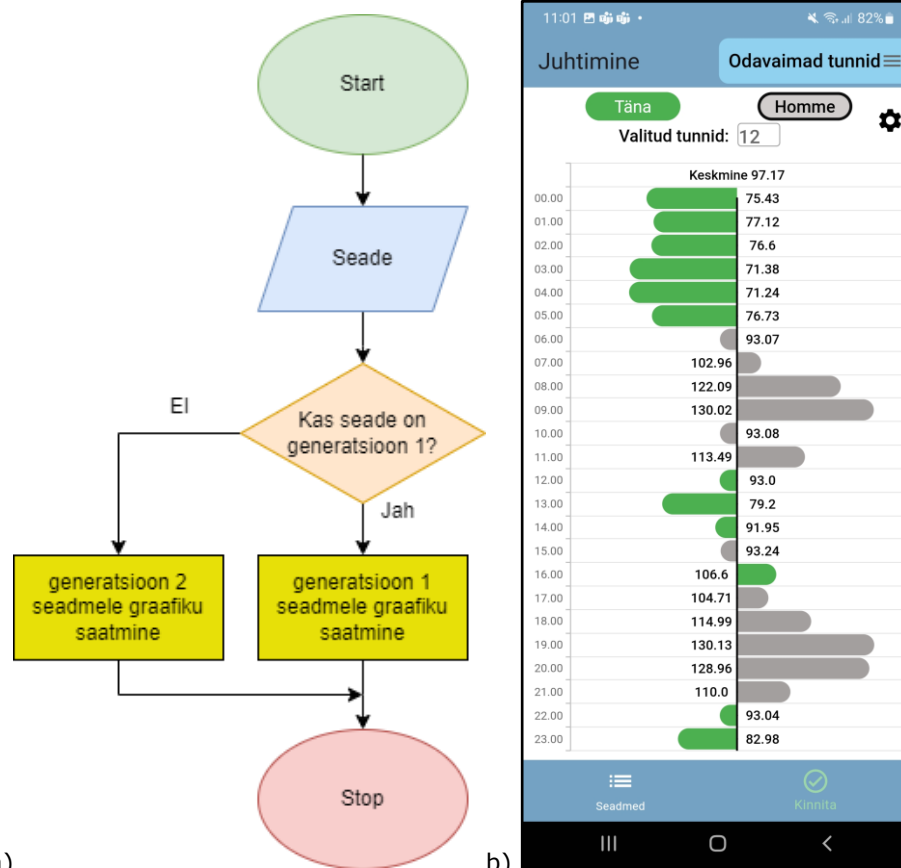
### 4.3.3 Shelly seadme lülitamine

Seadmete lülitamine on võimalik avalehel nii seadmete individuaalses, kui ka gruppide alamvaates. Peale lülitamise nupu vajutamist ei lase platvorm nuppu kolm sekundit kasutada, sest lülituse seadmele saatmine võtab aega. Gruppide lülitamise korral peab kasutaja ootama iga gruppi kuuluva seadme kohta ühe sekundi, et tagada seadmete oleku õige kuvamine. Võrguühenduseta seadmeid ei lase platvorm lülitada ja seetõttu, kui vähemalt ühel seadmel grupist puudub võrguühendus, ei ole võimalik gruppi juhtida.

### 4.3.4 Shelly nutipistikule graafiku peale saatmine

Seadmete lülitamine graafiku alusel on platvormil võimalik kas ükshaaval või mitme seadme kaupa. Manuaalse juhtimise korral, peale sobiva lülitusgraafiku kinnitamist

saadab platvorm lülitused Shelly pilveteenusesse. Manuaalse juhtimise korral soovib platvorm odavaimaid tunde kas hinnapiiri või soovitud tundide arvu järgi. Võimalik on ka kopeerida graafik teiselt seadmelt, millel on lülitusgraafik olemas. Automaatse juhtimise korral rakenduvad automaatsed juhtimisalgoritmid, mille puhul lülitused teostatakse automaatselt ilma kasutaja sekkumiseta. Shelly seadmed jagunevad kaheks generatsiooniks, mille juhtimine erineb üksteisest. Esimese generatsiooni seadmetele saadame korraga kõik ööpäeva jooksul toimuvad lülitused, teise generatsiooni seadmetele saadetakse graafik peale üksikute lülituste haaval [32]. Skript käivitatakse, kui kasutaja on lülitusgraafiku kinnitanud. Juhtimise peale saatmise programmikoodi ülesehitust (Joonis 4.5 a) ja tundide valimist juhtimise eesmärgil kirjeldab alljärgnev joonis (Joonis 4.5 b).



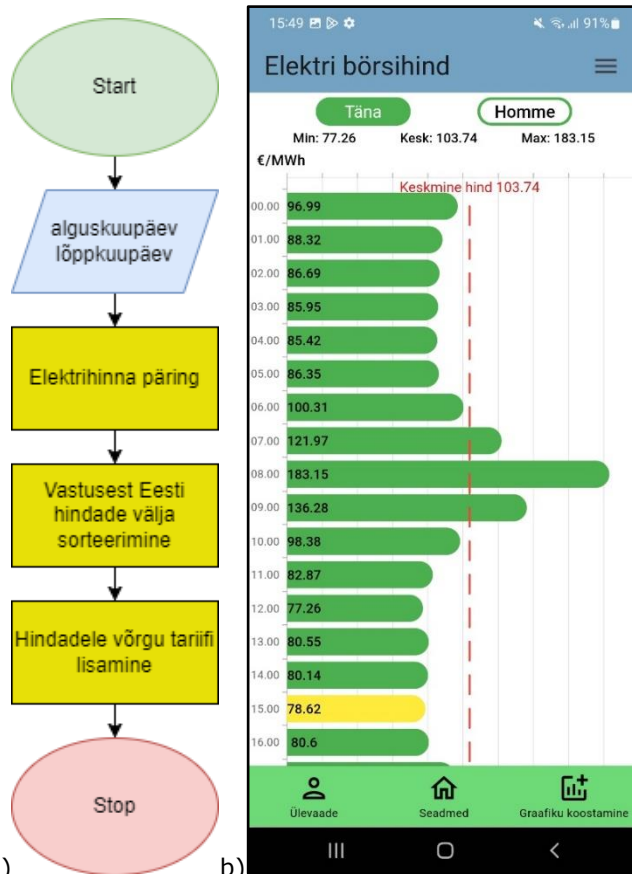
Joonis 4.5 Graafiku a) peale saatmise voodiagramm b) kasutajaliideses

## 4.4 Kasutajale teabe kuvamine

Kasutajale teabe kuvamist ja kuvatava teabe saamist kirjeldatakse järgnevates alampeatükkides. Ülevaadet lehtedest antakse läbi skripte seletavate voodiagrammide ja platvormi kuvatõmmiste.

#### 4.4.1 Börsihinna pärimine Eleringi API-st

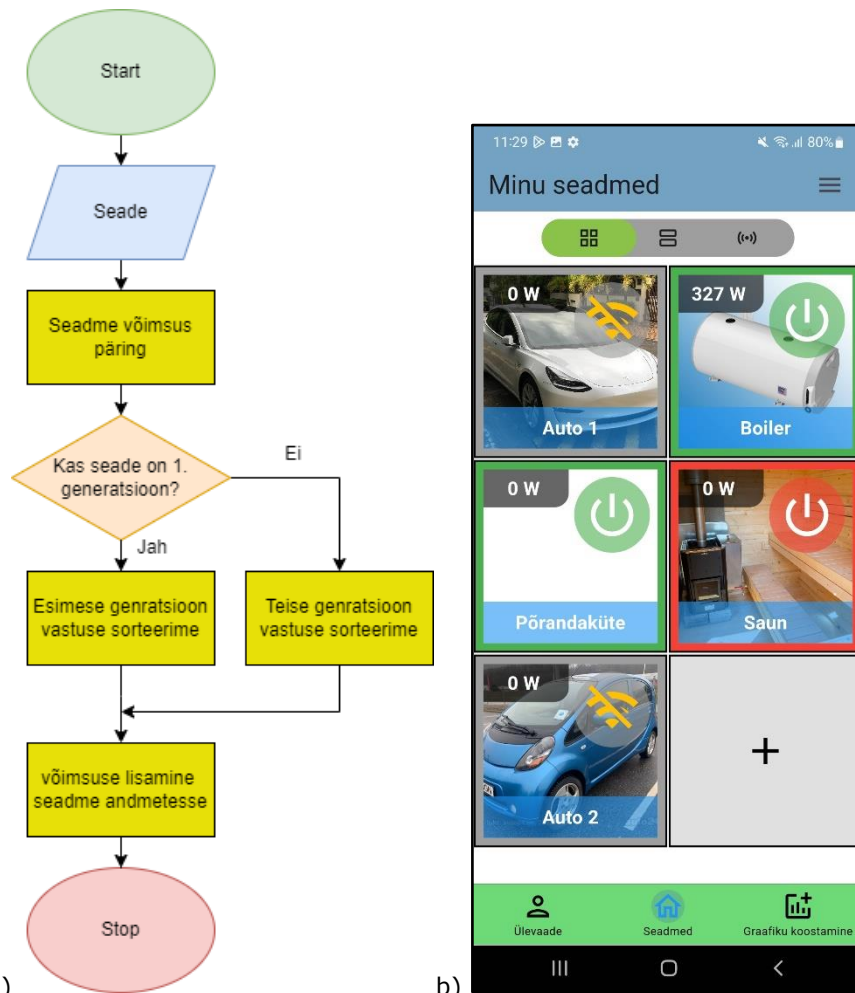
Lülituste koostamisel lähtuti Nord Pool-i börsihinnast Eesti piirkonnas. Platvorm saab elektriinnaalase teabe Elering Live API-i kaudu. Elering Live kuvab andmeid Eesti elektri- ja gaasisüsteemi kohta. Andmeid kuvatakse reaalajas, samas võimaldab lehekülg ligipääsu ka ajaloolistele andmetele. Eelmainitud andmeid on võimalik vaadata otse veebilehel või API abil alla laadida [33]. Platvormi poolt kasutatav skript on kirjutatud Dart keeles ja käivitatakse igal börsihinna kuvamisel. Järgmise päeva börsihinna kuvamist võimaldab rakendus alles peale kella kolme päeval, sest alles siis on Nord Pool avaldanud homse päeva hinnad. Skript sorteerib saadud vastusest välja Eesti piirkonnas rakenduvad hinnad ja lisab neile kasutaja poolt sisestatud elektritariifid. Programm tagastab saadud hinnad seda välja kutsunud funktsiooni universaalsel kujul, et andmeid oleks võimalik mitmes eri funktsioonis kasutada. Programmikoodi ülesehitust (Joonis 4.6 a) ja elektriinna kuvamist platvormil (Joonis 4.6 b) kirjeldavad alljärgnevad joonised.



Joonis 4.6 Börsihinna a) päringu voodiagramm b) kuvamine kasutajaliideses

#### 4.4.2 Shelly seadmelt läbiva võimsuse pärimine

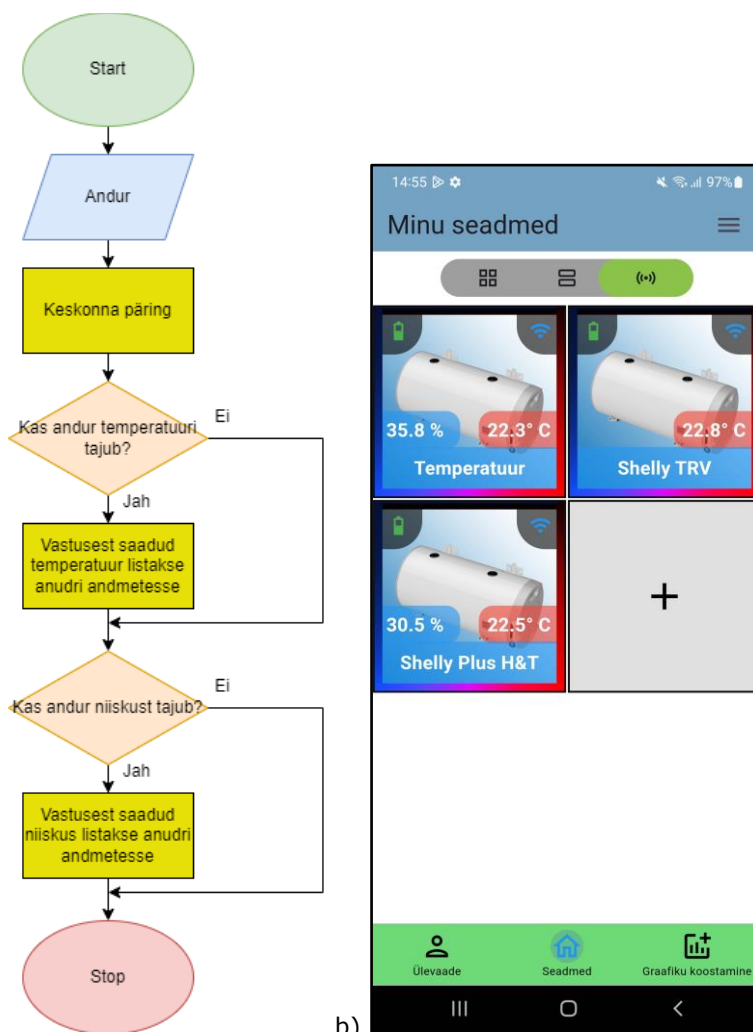
Shelly seadet läbi Shelly Cloud pilveteenuse pärides saab infot seadet läbiva voolu, pinge, seadme sisetemperatuuri, seadet läbiva võimsuse jne kohta [17]. Kasutajale kuvatakse vaid releed läbiv võimsus, sest ülejäänud info ei ole kasutajale oluline. Päringu vastus on esimese ja teise generatsiooni releedel erinev ja seega on vaja võimsuse väljasorteerimisel sellega arvestada. Kuvatav võimsus kuvatakse kasutajale avalehel iga seadme kohta ja gruppi koondatud seadmete kohta summaarselt. Roheline raam tähistab sisselülitatud seadet, punane raam tähistab väljalülitatud seadet ja hall raam tähistab võrguühenduseta seadet. Hetke võimsust on võimalik kasutada ka erinevate automaatjuhtimise algoritmide sisendina. Skript käivitatakse iga kolme sekundi järel iga kasutaja poolt platvormiga liidestatud seadme kohta. Programmikoodi ülesehitust (Joonis 4.7 a) ja seadmete ja neid läbiva võimsuse kuvamist platvormil kirjeldab alljärgnev joonis (Joonis 4.7 b).



Joonis 4.7 Seadmete võimsuse päringu a) voodiagramm b) kuvamine kasutajaliideses

### 4.4.3 Shelly andurilt keskkonnatingimuste pärimine

Shelly pakub mitmeid lahendusi ruumi temperatuuri ja niiskuse jälgimiseks. Shelly andurid uuendavad Shelly Cloud pilveteenuses oma temperatuuri andmeid, kui temperatuur on muutunud vähemalt üle poole kraadi või niiskus üle viie protsendi, see tõttu ei ole vajadust seadmeid iga minuti tagant pärida [34]. Platvorm pärib Shelly Cloud pilveteenusest andmeid temperatuuri ja niiskustaseme kohta ja kuvab selle avaekraanil andurite aknas. Teavet tubade keskkonnatingimuste kohta on võimalik kasutada ka erinevates juhtimisalgoritmides. Seadme ruudu üleval paremas nurgas kuvatakse anduri võrgu ühenduse staatus ja vasakul patarei olek. Allääres on kuvatud seadme nimi ja sellest ülevalpool sinisel taustal niiskuse tase ja punasel taustal keskkonna temperatuur. Andurite väljaantav teave on erinev, seega ei kuvata kõigil ruutudel kõiki eelmainitud parameetreid. Skript käivitatakse iga kümne minuti järel iga kasutaja poolt platvormiga liidestatud anduri kohta. Programmikoodi ülesehitust (Joonis 4.8 a) ja andurite keskkonna mõõdiste kuvamist (Joonis 4.8 b) kirjeldab alljärgnev joonis.

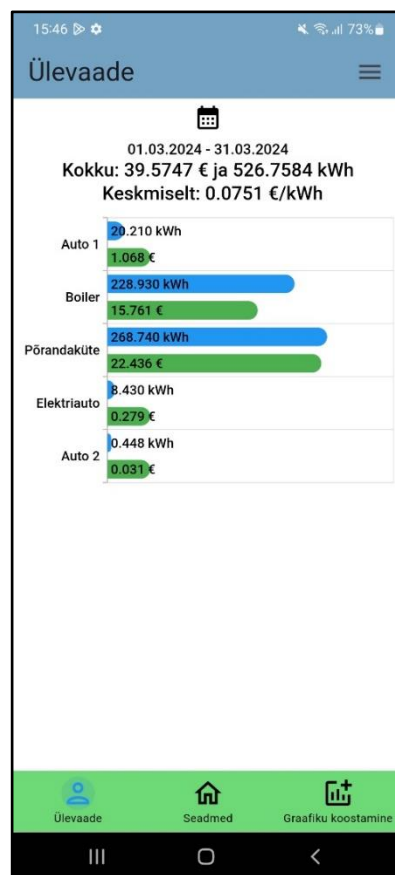
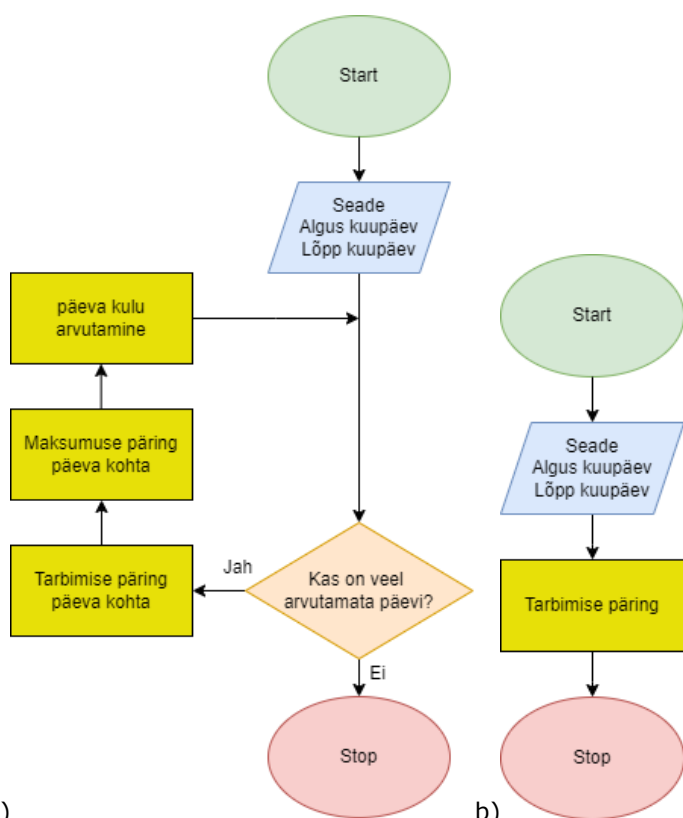


Joonis 4.8 Keskonna päringu a) voodiagramm b) näitude kuvamine kasutajaliideses



#### 4.4.4 Shelly seadme tarbimisajalugu

Ülevaade seadmete energiatarbimisest ja sellest tekkinud rahalisest kulust on kasutajal võimalik saada kuni aasta tagasi. Tarbitud energia on võimalik pärida seadme kohta ühe päringuna, aga maksumuse arvutamiseks päritakse iga perioodi jääva päeva tarbimine eraldi, sest vaid nii saadakse tarbimine tunni täpsusega. Maksumuse arvutamine on aeglane, sest iga päeva kohta tuleb teha eraldi päring. Platvormi edasiarendusel tuleks info selle kohta salvestada serverisse, et minimeerida päringuid. Elektri hind antud tunnil saadakse Elering Live keskkonnast. Skriptid käivitatakse algaadimisel käesoleva kuu kohta ja lehele minnes pikema perioodi valimisel. Seadmete tarbimist on võimalik võrdlemise eesmärgil vaadata summaarselt või seadme individuaalvaates, täpsema ülevaate saamise eesmärgil. Tarbimisajalugu kuvatakse seadme infolehel ka päevade kaupa. Suurema osa elektriarvest moodustavad elektrienergia tasu (45%) ja võrguteenustasu (26%) [35]. Platvorm arvestab vaid elektrienergia tasu ja võrgutariifiga, seega on tegu indikatiivse väärtusega. Maksumuse päringu programmikoodi ülesehitust (Joonis 4.9 a), tarbimise päringu ülesehitust (Joonis 4.9 b) ja summaarset seadmete tarbimist (Joonis 4.9 c) kujutab alljärgnev joonis.



a) Joonis 4.9 Tarbimise ülevaate a) maksumuse päringu voodiagramm b) tarbimise päringu voodiagramm c) kuvamine kasutajaliideses

## 5. PLATVORMI ANALÜÜS

Järgnevates peatükkides analüüsib autor loodud platvormi sobivust tarbimise juhtimiseks ja edasiarenduse puhul planeeritavaid muudatusi.

### 5.1 Platvormi katsetamine

Hindamaks platvormi sobivust tarbimise juhtimiseks, viidi läbi katse, mille käigus paluti osalejatel täita 4 põhiülesannet platvormil ja seejärel anda tagasisidet kasutajamugavuse ja platvormi ülesehituse kohta. Katsetati ülikoolis, aine „Automaatjuhtimine ja programmeeritavad juhtseadmed“ praktikumis osalenud üliõpilaste peal. Tagasiside saamine toimus „Google Forms“ keskkonnas. Valim koosnes tulevastest ja uuendusmeelsetest koduomanikest. Katse läbiviimiseks kasutasid osalejad platvormi veebiversiooni, et kiirendada katse läbiviimist osalejatele ja saada võimalikult suur katsetajate arv valimisse. Katsetamise ajal paluti osalejatel kasutada platvormi mobiiliseadme brauseris ja täita küsimustik arvutis. Küsitlusele saadi ligi läbi veebilingi ja küsitluses sai läbi *quick-response* (QR) koodi avada platvormi telefoni brauseris.

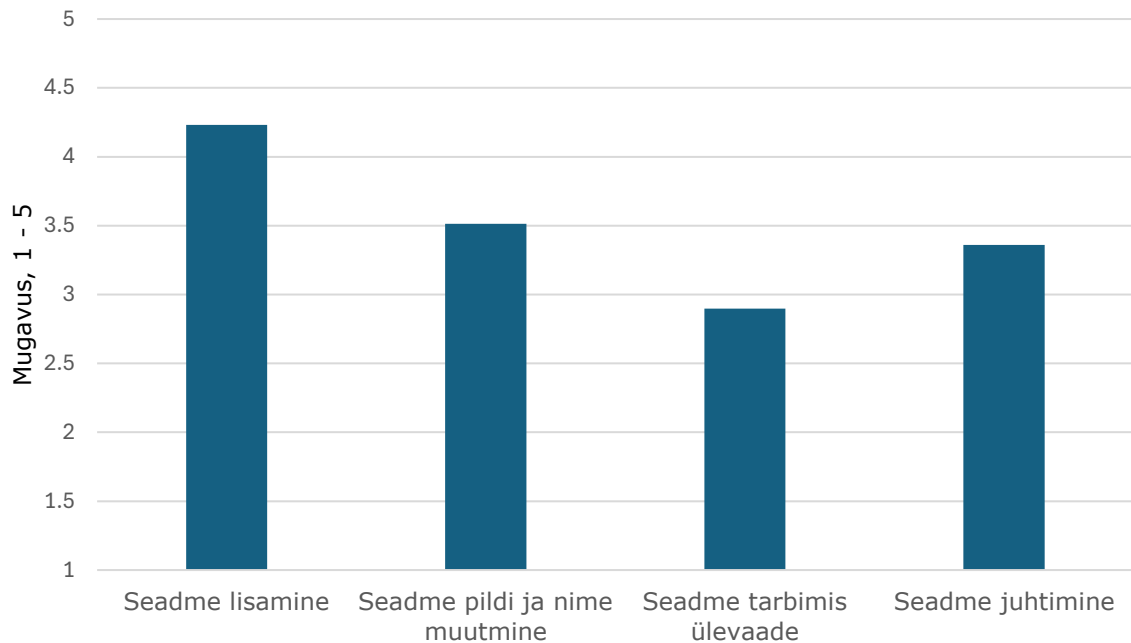
Katses osalejate kaardistamiseks küsiti vastanute vanust ja sugu. Ülesannete täitmiseks pidid kasutajad esmalt lisama platvormile Shelly seadme. Lisatud seadmel oli seejärel vaja muuta nimi ja pilt platvormil. Peale seadme redigeerimist paluti kasutajal proovida tarbimisstatistika vaatamist. Osalejal paluti leida platvormilt üles seadme tarbimine käesoleva aasta märtsi kohta rahalises vaates. Viimase ülesande raames paluti kasutajal välja valida seade ja 8 kõige odavam tundi, millal antud seade peab olema sisse lülitatud. Peale seadme ja tundide valimist saatis kasutaja peale lülitusgraafiku. Peale iga ülesande läbimist sisestas osaleja tagasiside kulunud aja ja platvormi mugavuse kohta antud ülesande puhul. Katse küsimustiku ülesehitus (Lisa 1) on välja toodud lisades.

### 5.2 Platvormi katsetamise tulemused

Peale iga ülesande läbimist andsid kasutajad tagasisidet ülesande läbiviimise mugavuse kohta. Hinnang anti skaalal, kus 1 on „keeruline“ ja „5“ on mugav. Platvormi tagasiside mugavuse (Joonis 5.1) ja kulunud aja (Joonis 5.4) vaates on kirjeldatud alltoodud joonistel.

### 5.2.1 Platvormile seadmete lisamise hinnang

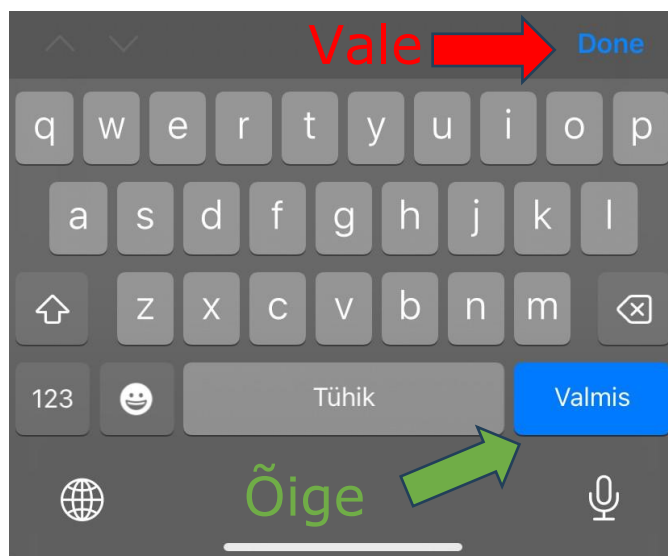
Kõige mugavamaks pidasid katses osalejad seadmete lisamist (Joonis 5.1). Keskmine hinnang ülesande mugavusele oli 4,2 ja keskmiselt kulutati sellele aega pool minutit. Suuniseid ümbertegemiseks ei antud.



Joonis 5.1 Kasutajate hinnang platvormi mugavusele

### 5.2.2 Platvormil seadme nime ja pildi muutmise hinnang

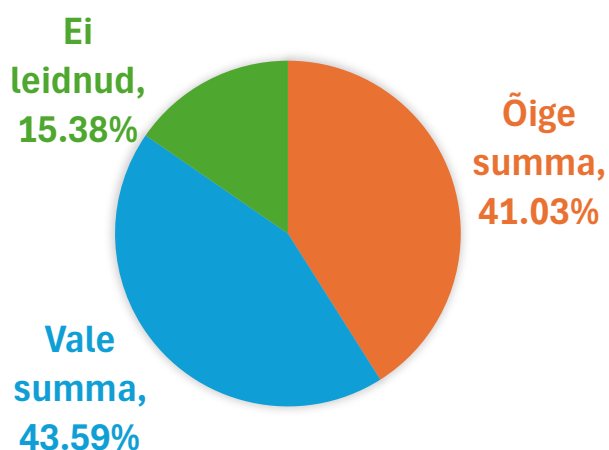
Seadme nime ja pildi muutmise hinnanguks 3,5 ja kasutajatel kulus selleks aega pool minutit. Katses osalejad soovisid seadme redigeerimiseks eraldi nuppu, et oleks mugavam vastav aken platvormil üles leida. Katse käigus selgus, et veebiversiooni kasutades tekib klaviatuurile kaks kinnitamise nuppu (Joonis 5.2) ja kasutajad ei tea millist vajutada ning seeläbi ei õnnestu neil seadme nime muuta. Probleemi lahendamiseks tuleks veebiversiooni optimeerida.



Joonis 5.2 Pildi redigeerimise probleem

### 5.2.3 Platvormil tarbimise statistika vaatamise hinnang

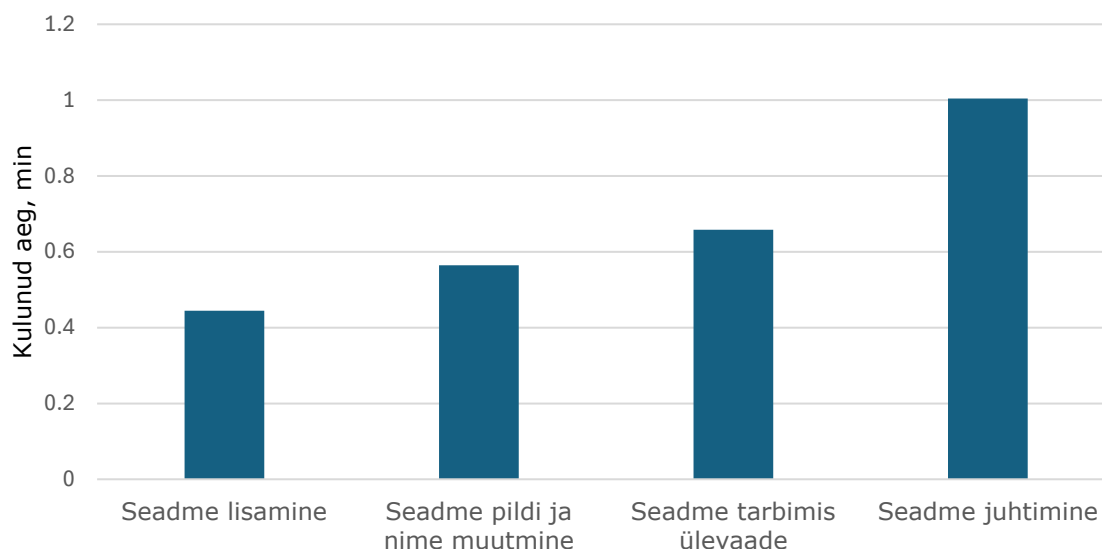
Enim probleeme tekkis kasutajatel tarbimise ülevaate kasutamisel ja seetõttu on funktsionaalsusele antud keskmine hinne 2,9 ja aega kulus selleks ligikaudu 40 sekundit. Õige tarbimise (Joonis 5.3) leidsid üles vaid 40 % vastanutest, nagu on kujutatud alltoodud joonisel. Probleemiks oli see, et kasutajad leidsid üles tarbimise ülevaate seadme kohta, mitte konto kohta ja sellel lehel ei ole võimalik määrata vaadeldavat perioodi. Samuti konto ülevaate lehel ei leidnud kasutajad üles vahemiku määramise nuppu.



Joonis 5.3 Seadme tarbimise ülesande vastused

## 5.2.4 Platvormi abil seadmete juhtimise hinnang

Kõige rohkem aega kulus kasutajatel seadme juhtimise läbiviimiseks (Joonis 5.4). Juhtimise läbiviimiseks kulus keskmiselt 1 minut ja keskmiseks hinnanguks anti 3,4. Probleemiks oli peamiselt see, et platvormi veebiversiooni kasutades ei olnud võimalik kasutajatel soovitud sisselülitatud tundide arvu kinnitada mistõttu tuli tundide valimine manuaalselt teha.



Joonis 5.4 Ülesannete läbimiseks kulunud aeg

## 5.2.5 Katsetuse tagasiside

Katses osales 39 inimest ja katse läbiviimise kohast tingitult oli vastanute hulgas enim 21 aastaseid meessoost isikuid. Vastajatest 64 % kasutaksid sellist platvormi tulevikus oma elektritarbimise juhtimiseks. Platvormi mittesoovivatest kasutajatest tõid põhjuseks mitteintuiitse lehtede vahelise liikumise ja raskesti leitavad lehed. Platvormi poolt pakutava funktsionaalsusega jäädi rahule, aga sooviti paremat kasutamismugavust. Osalejad tõid välja, et on vaja muuta tundide kuvamist platvormil ja kujundust üldiselt. Seadmete kohapealt sooviti, et hinnapõhine juhtimine oleks kodumajapidamisseadmete sisse ehitatud.

## 5.3 Platvormi edasiarendus

Platvormi on võimalik veel täiendada, et pakkuda veelgi rohkem funktsionaalsust ja paremat kasutajakogemust. Soovitud muudatused tulenevad saadud tagasisidest ja autori enda visioonist loodud platvormile.

Planeeritud on järgmised muudatused:

- **Kasutajaliidest intuiitivsemaks muuta** – Lihtsustada soovitud lehe leidmist platvormil. Platvormi kasutamise paremaks mõistmiseks on plaanis lisada rohkem vihjeid erinevate lehtedele ligipääsemiskohtadele. Seadme paremaks redigeerimiseks luuakse avalehel eraldi nupp selle aknasse liikumiseks. Seadmete juhtimine võttis kõige rohkem aega, seega tuleks vähendada samme selle läbiviimiseks.
- **Lihtsamal kujul teabe kuvamine** - Paremaks teabe kuvamiseks on vaja lubada kasutajatel muuta andmete esitamiskiisi. Tarbimise ülevaatel on tulevikus võimalik muuta ka infot kuvava graafiku liiki, et oleks võimalik seadmeid ja juhtimise kasumlikkust paremini võrrelda.
- **Optimeerida kulu arvestus** - Maksumuse ülevaate kiiremaks laadimiseks salvestatakse tulevikus juba arvutatud päevade maksumus seadme mälli. Maksumuse arvutamisel arvestatakse tulevikus ka taastuenergia tasu ja elektriaktsiisi, sest seeläbi annaks kuvatav suurus täpsema ülevaate. Paljudel katses osalejatel oli raskusi õige perioodi vaatamisega, seega on vaja seda muuta. Kasutajate hinnangul kõige ebamugavam oli tarbimise ülevaate vaatamine, seetõttu muudetakse see kergemini leitavaks.
- **Võimaldada rohkemate seadmete juhtimist** - Kasutajatele rohkemate seadmete juhtimise võimaluse pakkumiseks on edasiarendamise korral plaanis võimaldada ka tootja Sonoff ja teiste nutireleede juhtimine ja võimaldada ka eri tootjate andurite kasutamine. Samuti võimaldatakse tulevikus nutikate kodumajapidamisseadmete juhtimine.
- **Võimaldada rohkemates keskkondades kasutamine** - Optimeeritakse platvormi veebilehe vahendusel kasutamist, et iga seadme pealt kasutades oleks sama funktsionaalsus ja mugavus tagatud. Platvormi edasiarendamisel võimaldatakse platvormi äpi kujul ka IOS operatsioonisüsteemiga seadmete peal kasutada. Hetkel on platvorm optimeeritud nutitelefoni peal kasutamiseks, tulevikus muudab platvorm oma kujundust vastavalt kasutatavale seadmele.

Peale soovitud muudatuste sisseviimist viiakse läbi veel katsetusi. Tulevikus on plaanis osalejate ülesannete läbimise ajal nupuvajutused ja nendeks kulunud aeg automaatselt salvestada, sest seeläbi saab parema ülevaate lisaparanduste vajadusest.

## KOKKUVÕTE

Antud lõputöö eesmärgiks oli uurida olemasolevaid elektritarbimise juhtimislahendusi, et arendada välja kasutajasõbralik tarkvaraplatvorm kodumajapidamisseadmetele. Alguses käsitleti kasutajate valmidust tarbimise juhtimiseks ja analüüsi kõrgeid elektrihindasid, et kaardistada tarbimise juhtimise vajalikkus. Paremat kasutamismugavust ja laiemat funktsionaalsust pakkuva platvormi loomise eesmärgil uuriti ka hetkel turul olemasolevaid lahendusi ja ka potentsiaalsete kasutajate ootusi loodavale platvormile. Analüüsi tulemusena loodi kontseptsioon tarbimise juhtimise platvormi prototüüplahenduse väljatöötamiseks. Platvormi ülesehituse eesmärk on saada erinevad sisendeid ja nende alusel juhtida läbi nutipistikute kodumajapidamisseadmeid. Enne väljatöötamist analüüsi ka kasutajaliidese disaini põhimõtteid, et jääda järjepidevaks kasutajale harjumuspäraseks saanud kasutajaliidese ülesehitusega.

Platvormi realiseerimist alustati platvormi kontseptsiooni kirjeldamisega, et luua kavand mille alusel platvorm välja arendada. Esmalt pandi paika lehtede vaheline navigatsioon, jälgides kolme klõpsu reeglit ja eeldatavat tegevuste järjekorda. Järgmiseks pandi paika platvormi sisene andmete liikumine ja andmete saamine pilveteenustest. Seejärel arendati kavandi alusel platvorm välja kasutades selleks Dart keelt ja Flutter raamistiku. Platvormi kasutamise lahti seletamiseks kirjeldati platvormil lülituse läbiviimist sammhaaval. Platvorm arendati välja peamiselt nutitefonis kasutamiseks, aga võimalik on platvormi kasutada nii veebi- kui ka töölauaversioonina. Platvorm juhib seadmeid läbi Shelly Cloud pilveteenus, sest see on piisavalt avatud platvorm ja seadmed on sobiva hinnaga.

Platvormi sobivuse hindamiseks tarbimise juhtimise jaoks viidi läbi katsetus, mille käigus osalejad viisid platvormi abil läbi erinevaid toiminguid. Iga ülesande lõpetamise järgel andsid osalejad tagasisidet mugavuse kohta skaalal üks kuni viis. Platvormi hindamiseks oli oluline saada tagasisidet ka kulunud aja kohta. Enim aega, ligikaudu üks minut, kulus osalejatel seadmete juhtimiseks, sest selleks oli vaja kõige rohkem vaheetappe läbida. Kõige ebamugavamaks, keskmise hinnanguga 2,9, peeti tarbimise ülevaate kasutamist, sest osadel kasutajatel ei õnnestunud sisestada vaadeldavat perioodi. Samuti andsid osalejad soovitusi platvormi parandamiseks ja edasiarendamiseks. Osalejad soovisid, et platvormi abil oleks võimalik veel nutikaid kodumajapidamisseadmeid ja teiste tootjate nutipistikuid juhtida. Katseanalüüsi tulemuste ja autori enda arvamuse alusel pandi paika platvormi edasiarendamise eesmärgid.

Enamus katsetuses osalejatest, ligikaudu 64%, kasutaksid sellist platvormi tulevikus oma koduse elektritarbimise juhtimiseks, seega loodud platvorm täidab püstitatud eesmärke. Katsetuse alusel võib väita, et pakutav funktsionaalsus on piisav, aga osalejate hinnangul vajab täiendamist platvormi kasutamise mugavus. Põhiprobleem oli vajalike lehtede platvormilt ülesleidmine. Katsetuse käigus selgusid mõned veebiverisooni kasutamise eripärad, millega on vaja tulevikus arvestada. Samuti on plaanis anda kasutajatele rohkem vihjeid lehtede ülesleidmise jaoks. Vastajate soovitude alusel on plaanis platvormi tulevikus täiendada. Tulevikus on võimalik platvormi kasutada äppina lisaks Android seadmetele ka IOS operatsiooni süsteemi kasutavate seadmete peal.

Autori arvates lõputöö käigus loodud tarbimise juhtimise platvormi prototüüplahendus saavutas kõik püstitatud eesmärgid ja platvormi on võimalik kasutada igapäevaseks tarbimise juhtimiseks. Enne platvormi laialdasemat käikulaskmist on vaja teha mõned muudatused.



## SUMMARY

The aim of this thesis was to explore existing electricity consumption management solutions to develop a user-friendly software platform for household appliances. At first the author researched user readiness for the demand-side management and recent high electricity prices to assess the need for such a platform. To create a platform that offers better usability and more functionality, existing demand-side management platforms were examined alongside user expectations for such a platform. As a result of the recherche, blueprint for development of prototype demand-side management platform was created. Before developing the platform, user interface design principles were analysed to maintain consistency with familiar interface structures.

The realization of the platform began with describing the concept for the platform. First the author planned the navigation between the different pages of the platform, considering three-click rule and the sequence of activities. Next, the internal data flows and data retrieval from external cloud services were set. Subsequently the platform was develop using Dart programming language and Flutter framework. Platform usage was explained by managing devices with the platform as an example. The platform was built to be used on smartphones, but it can also be used on desktop or web version. The platform controls devices through the Shelly Cloud cloud service, leveraging its openness and its devices affordability.

To evaluate the suitability of the platform for demand-side management, a test was conducted where participants performed various tasks using the platform. After completing each task participants gave feedback about user experience on a scale from one to five. Feedback on time spent was also provided to evaluate the platform. The most time-consuming task, approximately one minute, was controlling devices because it required the most intermediate steps. According to users the most comfortable was consumption overview with an average rating of 2,9, as some users were unable to enter the desired period. Participants also provides suggestions to improve the platform. They expressed desire for the platform to be able to control smart home appliances and smart sockets from other manufactures.

Based on the results of test and the authors opinion the goals for further development of the platform were established. The majority of the participants, approximately 64%, would use such a platform in the future to manage their household electricity consumption, it indicates that the platform fulfils set objectives. According to the test the offered functionality is sufficient, but the user experience needs to be improved. The main issues were related to finding the required page from the platform. During the

test, some peculiarities of using the web version were identified, which need to be considered in the future. In the future the user is provided with more hints for finding different pages. Based on suggestions, the platform will be further developed in the future. In the future, the platform will be available not only for Android devices but also for devices using the IOS operating system.

In authors opinion the prototype solution is sufficient for demand-side management as it achieves set objectives and can be used for daily consumption management. Before a broader launch of the platform, some further development is necessary.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] European Commission, „The European Green Deal - European Commission”. Vaadatud: 22. aprill 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- [2] Rosin Argo, *Energiahaldus elektri tarkvõrkudes*. 2019.
- [3] Eurostat, „Electricity and heat statistics - Statistics Explained”. Vaadatud: 28. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_and\\_heat\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_and_heat_statistics)
- [4] Statista, „Europe: electricity demand per capita 2022 | Statista”. Vaadatud: 28. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.statista.com/statistics/1262471/per-capita-electricity-consumption-europe/>
- [5] K. Halsnæs, L. Bay, P. S. Kaspersen, M. Drews, ja M. A. D. Larsen, „Climate Services for Renewable Energy in the Nordic Electricity Market”, *Climate 2021, Vol. 9, Page 46*, kd 9, nr 3, lk 46, märts 2021, doi: 10.3390/CLI9030046.
- [6] M. Manas, S. Sharma, K. S. Reddy, ja A. Srivastava, „A critical review on techno-economic analysis of hybrid renewable energy resources-based microgrids”, *Journal of Engineering and Applied Science*, kd 70, nr 1, lk 1–38, dets 2023, doi: 10.1186/S44147-023-00290-W/FIGURES/4.
- [7] European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators, „ACER’s Final Assessment of the EU Wholesale Electricity Market Design”, 2022.
- [8] Fluwood Mike, „Surging 2021 European Gas Prices – Why and How? - Oxford Institute for Energy Studies”, 2022. Vaadatud: 2. aprill 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.oxfordenergy.org/publications/surging-2021-european-gas-prices-why-and-how/>
- [9] European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators, „ACER’s Preliminary Assessment of Europe’s high energy prices and the current wholesale electricity market design”, 2021.
- [10] M. Metsik, „Prosuumerite paindlikkuse ja selle rakendamise võimaluste uurimine”, juuni 2023.
- [11] S. Õispuu, „Kodumajapidamise energiatarbimise juhtimise kontseptsiooni väljatöötamine”. 7. juuni 2023.
- [12] A. Rosin, S. Link, M. Lehtla, J. Martins, I. Drovtar, ja I. Roasto, „Performance and feasibility analysis of electricity price based control models for thermal

- storages in households", *Sustain Cities Soc*, kd 32, lk 366–374, juuli 2017, doi: 10.1016/j.scs.2017.04.008.
- [13] A. Rosin, A. Auvaart, ja D. Lebedev, „Analysis of operation times and electrical storage dimensioning for energy consumption shifting and balancing in residential areas", *Elektronika ir Elektrotehnika*, nr 4, lk 15–20, 2012, doi: 10.5755/J01.EEE.120.4.1444.
- [14] Rosin Argo, Imre Drovtar, Link Siim, Hõimoja Hardi, Mölder Heigo, ja Möller Taavi, *Tarbimise juhtimine : suurtarbijate koormusgraafikute salvestamine ning analüüs tarbimise juhtimise rakendamise võimaluste tuvastamiseks [Eleringi toimetised ; 3/2014 (8)] | DIGAR*. 2014. Vaadatud: 8. märts 2024.  
[Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:213136>
- [15] Shelly, „Company Info - Shelly Cloud Info". Vaadatud: 8. märts 2024.  
[Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://info.shelly.cloud/company-info/#who-we-are>
- [16] Shelly, „Easy Smart Home Automation". Vaadatud: 8. märts 2024.  
[Võrgumaterjal]. Saadaval:  
[https://www.shelly.com/en?\\_gl=1\\*1ey3k8k\\*\\_up\\*MQ..&gclid=CjwKCAiAzJ0tBhALEiwAtwj8tpBDvOvHZpJJmDa5YLP\\_UJEqhvWxJLd8c0jEgaw9INd8nv1hkzccJBoCmRcQAvD\\_BwE](https://www.shelly.com/en?_gl=1*1ey3k8k*_up*MQ..&gclid=CjwKCAiAzJ0tBhALEiwAtwj8tpBDvOvHZpJJmDa5YLP_UJEqhvWxJLd8c0jEgaw9INd8nv1hkzccJBoCmRcQAvD_BwE)
- [17] Shelly, „Shelly Home". Vaadatud: 8. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval:  
<https://home.shelly.cloud/#/dashboard>
- [18] Qilowatt, „Pealeht - qilowatt it!" Vaadatud: 8. märts 2024. [Võrgumaterjal].  
Saadaval: <https://qilowatt.eu/>
- [19] Qilowatt, „Fusebox - qilowatt it!" Vaadatud: 8. märts 2024. [Võrgumaterjal].  
Saadaval: <https://qilowatt.eu/fusebox/>
- [20] Celeon, „Celeon - Elektribörsi arvestav elektriseadmete juhtimine". Vaadatud: 8. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://celeon.eu/>
- [21] Futugrid, „Tehnoloogia – Futugrid". Vaadatud: 8. märts 2024. [Võrgumaterjal].  
Saadaval: <https://futugrid.com/tehnoloogia/>
- [22] Themo, „Themo tark termostaat". Vaadatud: 8. märts 2024. [Võrgumaterjal].  
Saadaval: <https://shop.themo.io/et-ee>
- [23] Gruff, „Gruff Technology nutipistik - Gruff Technology". Vaadatud: 8. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://grufftechnology.ee/>
- [24] Vool, „VOOLu e-pood: targad ja nägusad elektriautolaadijad ja tarvikud".  
Vaadatud: 8. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval:  
<https://www.vool.com/et/pood/>

- [25] Eesti Teadusagentuur, „Tehnoloogilise-valmiduse-tasemed“, 2020. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.etag.ee/wp-content/uploads/2019/01/Tehnoloogilise-valmiduse-tasemed.pdf>
- [26] Riajur Rahman, „What is Software Development Life Cycle (SDLC) Complete Guideline“. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.linkedin.com/pulse/what-software-development-life-cycle-sdlc-complete-guideline-rahman>
- [27] S. Gao, Y. Wang, ja H. Liu, „UiAnalyzer: Evaluating whether the UI of apps is at the risk of violating the design conventions in terms of function layout“, *Expert Syst Appl*, kd 239, lk 122408, apr 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.122408.
- [28] Fleck Renee, „10 Fundamental UI Design Principles You Need to Know | Dribbble“. Vaadatud: 8. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://dribbble.com/resources/ui-design-principles>
- [29] Babich Nick, „The Underestimated Power Of Color In Mobile App Design — Smashing Magazine“. Vaadatud: 8. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.smashingmagazine.com/2017/01/underestimated-power-color-mobile-app-design/>
- [30] Dart, „Dart overview | Dart“. Vaadatud: 17. aprill 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://dart.dev/overview>
- [31] Shelly, „Flutter - Build apps for any screen“. Vaadatud: 17. aprill 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://flutter.dev/>
- [32] Shelly, „Welcome to Shelly Technical Documentation | Shelly Technical Documentation“. Vaadatud: 20. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://shelly-api-docs.shelly.cloud/>
- [33] Elering, „Elering Live“. Vaadatud: 8. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://dashboard.elering.ee/et>
- [34] Shelly, „Welcome to Shelly Knowledge Base!“ Vaadatud: 20. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://kb.shelly.cloud/knowledge-base/?l=en>
- [35] Elektrilevi, „Elektrilevi - Elektrilevi“. Vaadatud: 17. aprill 2024. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://elektrilevi.ee/et/kasulik-info/millest-koosneb-elektriarve>

# LISAD

## Lisa 1 Katse ülesehitus

### DSM platvormi katsetus

#### Eessõna:

Bakalaureuse lõputöö raames loodud Elektritarbimise juhtimise platvormi prototüüp lahendus. Hindamiseks platvormi sobivust juhtimiseks palub autor proovida teil täita mõned ülesanded platvormil. Peale ülesannete täitmist palub autor täita tagasiside küsimustiku.

#### Meelespea:

- Jätta meelde kui palju aega iga ülesande jaoks kulub.
- Võimaluse korral kasutada platvormi telefoni brauseris.
- Peale katse läbimist sulgege veebi aken.

Mis on teie sugu?

Mis on teie vanus täisaastates?

Käivitage platvorm

Aadress: <https://tihane32.github.io/>

Lisage Shelly seade platvormile.

Shelly kasutajanimi: **dsm.katsetus@gmail.com**

Shelly parool: **Testime123**

Kui kaua kulus seadme lisamiseks aega?

Kui mugav oli seadme lisamine?

Muutke "Radiaator" nime kandva seadme nimi ja pilt platvormil.

Kui kaua kulus aega seadme pildi muutmiseks?

Kui mugav oli seadme pildi ja nime muutmise?

Minge avalehele.

Leidke ülesse seadme "Radiaator" tarbimine märtsi kuus

Kui palju kulus raha "Radiatori" kasutamiseks, märtsi kuu jooksul?

Kui kaua kulus aega tarbimise statistika vaatamiseks?

Kui mugav on tarbimise statistika vaatamine ?

Koostage seadme lülitusgraafik. Valige välja seade ja 8 odavaimat tundi, millal seade peaks töötama, ning kinnitage valik.

Kui kaua kulus aega graafiku koostamisele?

Kui mugav oli juhtimise läbiviimine?

Kas kasutaksid sellist platvormi kodus oma elektritarbimise juhtimiseks?
Kui vastasite eelmisele küsimusele "Ei", siis palun põhjendage oma valikut.
Mida muudaksid platvormi juures?
Täna vastamast!