



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

DIGITAALSE ELEKTRIAARVESTI REAALAJAS LUGEMISE JA MONITOOIMISE MUDEL

MODEL OF DIGITAL ENERGY METERING WITH REAL TIME READING AND MONITORING

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Kerstin Timmermann

Üliõpilaskood: 165006AAAB

Juhendaja: Kristjan Pütsep, lektor

Tallinn 2020

(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.

"....." 201,.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Kerstin Timmermann

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Digitaalse elektriarvesti reaajas lugemise ja monitoorimise mudel

Kuupäev: 21.12.2020

36 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Lektor Kristjan Pütsep

Töö konsultant (konsultandid): Energiamaajanduse ekspert Hannes Agabus

Sisu kirjeldus:

Töö eesmärgiks oli analüüsida digitaalsete elektriarvestite kauglugemise mudeleid. Töös on kirjeldatud Tallinna Tehnikaülikooli oma kauglugemise mudelit ning ühtlasi ka projekteeritud lahendus, mis oleks tänapäeval kasutuses olevast mudelist täpsema lugemiga. Uue lahenduse projekteerimise aluseks on võetud Tallinna Tehnikaülikooli paigaldatud elektriarvestid. Töös võrreldakse erinevaid andmesideprotokolle ning standardeid, mis annab teadmise, milline lahendus oleks väikseima majandusliku kuluga ning annaks monitoorimisel reaajas usaldusväärseima tulemuse.

Märksõnad: digitaalne, elektriarvesti, kauglugemine, andmesideprotokoll, standard, monitoorimine, reaalaeg

ABSTRACT

Author: Kerstin Timmermann

Type of the work: Bachelor

Title: Model of digital energy metering with real time reading and monitoring

Date: 21.12.2020

36 pages

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Lecturer Kristjan Pütsep

Consultant(s): Energy Economics Expert Hannes Agabus

Abstract:

The aim of this thesis was to analyse remote digital energy meters' remote reading model. The thesis describes Tallinn University of Technology's own remote readable model and also gives the design of a model that would be more accurate than the model that is currently in use. The new solution design is based on the electricity meters used in Tallinn University of Technology. The thesis contains comparisons of different data communication protocols and standards, which gives the knowledge of which design would be the most cost-effective and would show the most reliable results of the monitoring process in real time.

Keywords: digital, energy meter, remote reading, data communication protocol, standard, monitoring, real time

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Digitaalse elektriarvesti reaajas lugemise ja monitoorimise mudel.
Lõputöö teema inglise keeles:	Model of Digital Energy Metering with Real Time Reading & Monitoring
Üliõpilane:	Kerstin Timmermann, 165006AAAB
Eriala:	Elektrotehnika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Kristjan Pütsep
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	01.07.2021
Lõputöö esitamise tähtaeg:	21.12.2020

Üliõpilane

Juhendaja

Õppekava juht

1. Teema põhjendus

Lõputöö eesmärk on välja selgitada kõige efektiivsem elektriarvestite näidu lugemise viis, mille lugemise viga on võimalikult väike, sest hilisem näitude korrigeerimine on kulukas tegevus. Elektrinäitude lugemine võimaldab analüüsida elektrivõrgu käitumist ja optimeerida tarbimist.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on leida optimaalne lahendus elektriarvesti näidu lugemiseks.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Millised on elektriarvesti näitude lugemise võimalikud viisid?
2. Milliseid protokolle kasutatakse näitude lugemiseks?
3. Milline näitude lugemise viis on kõige täpsem?

4. Lähteandmed

1. Taltechi elektriarvestite nimekiri
2. CampulseLite valmislahendus

5. Uurimismeetodid

Lõputöö metoodikana kasutan järgmiseid meetodeid:

1. Kirjanduse analüüs
2. Seadmete analüüs
3. Tööprotsessi kirjeldamine ja võrdlemine

6. Graafiline osa

1. Üldine andmeside skeem
2. Võrdlustabelid
3. Seadmete tabelid
4. Plokkskeemid

7. Töö struktuur

AUTORIDEKLARATSIOON

SISUKORD

EESSÕNA

JOONISTE LOETELU

TABELITE LOETELU

SISSEJUHATUS

1. Ülevaade olukorrast
2. ÜLESANDE PÜSTITUS
 - 2.1 Vajadused
 - 2.2 Nõudmised
 3. CampulseLite
 - 3.1 Konseptsioon
 - 3.2 Tulemuste analüüs
4. PROJEKTEERIMINE
 - 4.1 Elektriarvestid
 - 4.1.1 Ülesande püstitus
 - 4.1.2 Arvestite võrdlemine
 - 4.1.3 Elektriarvestite täpsus
 - 4.1.4 Elektriavrestite vahekokkuvõte
 - 4.2 Andmeside protokollid
 - 4.2.1 Ülesande püstitus
 - 4.2.2 Andmeside protokollide võrdlemine

4.2.3 Andmeside protokollide vahekokkuvõte

4.3 Protsessi kirjeldus

4.3.1 Ülesande püstitus

4.3.2 Tööprotsessi kirjeldamine

4.2.5 Protsessi kirjeldamise vahekokkuvõte

5. Tasuvusarvutus

Kokkuvõte

Summary

Kasutatud kirjandus

8. Kasutatud kirjanduse allikad

1. Andmeside protokollide kirjeldused
2. www.landysgyr.com
3. Electrical Measurements and Measuring Instruments By U.A. Bakshi, A.V. Bakshi 2008
4. Smart Metering Technology and Services: Inspirations for Energy Utilities edited by Moustafa Eissa 2016
5. Smart meter communication standards in Europe – a comparison Author links open overlay panel [SabineErlinghagen^a](#) [BillLichtensteiger^b](#) [JochenMarkard^a](#) [Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 43](#), March 2015, Pages 1249-1262

9. Lõputöö konsultandid

1. Kristjan Pütsep - Juhendamine
2. Hannes Agabus – Elektrinäitude lugemise kasulikkus

10. Töö etapid ja ajakava

- Lõputöö ülesanne esitatud (11.06.2020)
- Kirjaliku lõputöö valmimine peatükkidena:
 - 1 (20.10.2020)
 - 2-3 (03.11.2020)
 - 4 (27.11.2020)
 - 5 (30.11.2020)
- Kirjaliku lõputöö esimene variant saadetud juhendajale läbi vaatamiseks (01.12.2020)
- Kirjaliku lõputöö lõplik variant saadetud juhendajale läbi vaatamiseks (11.12.2020)
- Lõputöö (kõidetud ja elektroonne versioon) esitatud (21.12.2020 kell 15.00)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	3
ABSTRACT	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	5
EESSÕNA	9
Lühendite ja tähiste loetelu	10
SISSEJUHATUS	11
1 ÜLEVAADE OLUKORRAST	12
2 ÜLESANDE PÜSTITUS	13
2.1 Vajadused	14
2.2 Nõudmised	14
3 CAMPULSE LITE	16
4 PROJEKTEERIMINE	18
4.1 Elektriarvestid	18
4.1.1 Ülesande püstitus	19
4.1.2 Arvestite võrdlemine	19
4.1.3 Elektriarvestite täpsus	22
4.2 Andmesideprotokollid ja -standardid	22
4.2.1 Ülesande püstitus	24
4.2.2 Andmesideprotokollide ja -standardite võrdlemine	24
4.2.3 Andmesideprotokollide ja -standardite vahekokkuvõte	26
4.2.4 Tööprotsessi kirjeldamine	27
4.2.5 Tööprotsessi kirjeldamise kokkuvõte	29
5 TASUVUSARVUTUS	31
KOKKUVÕTE	32
SUMMARY	33
KASUTATUD KIRJANDUS	34

EESSÕNA

Lõputöö teemani jõudsin kontakteerudes professor Anton Rassõlkiniga seondultalTechi inseneriteaduskonna veebilehel leitavate välja pakutud lõputööde teemadega. Arutluse käigus pakuti variant teha lõputöö kaugloetavate elektriarvestite projektist, mida ülikoolis arendatakse. Töö on seotud Tallinna Tehnikaülikoolis kasutatavate elektriarvestitega, mis edastavad näite reaalajas, ning optimaalseima lahenduse valimisega.

Soovin tänada lõputöö juhendajat lektor Kristjan Pütsepi, kes tutvustas põhjalikult Tallinna Tehnikaülikooli kauglugemise mudelit, ja kaasjuhendajat elektrimajanduse ekspert Hannes Agabusi. Ühtlasi soovin tänada ka Kustas Aru, Margus Sirelit ja Vallo Eriksoni Elektrilevi OÜ-st elektriarvestitega seonduvate materjalidega varustamise eest.

Lühendite ja tähiste loetelu

€	euro
bps	bitti sekundis (bits per second)
EIA	Electronics Industry Alliance
GSM	globaalne mobiilsidesüsteem (Global System for Mobile)
GPRS	pakettandmesideteenus (General Packet Radio Service)
IEC	Rahvusvahelione Elektrotehnika Komisjon (International Electrotechnical Commission)
IEEE	Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut (the Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IoT	asjade internet (Internet of Things)
M-bus	Meter-Bus
MEK	Mektory
MID	mõõtevahendiste direktiiv (Measuring Instrument Directive)
mm	millimeeter (millimeter)
MQTT	sõnumite järjekorras transportimise telemeetria (Message Queuing Telemetry Transport)
NRG	energeetikamaja (energy educational building)
OSI	avatud süsteemide sidumise arhitektuur (Open Systems Interconnection)
PoE	toide läbi Etherneti (Power over Ethernet)
RTU	kaugterminaliüksus (Remote Terminal Unit)
RJ12	standardne pistikühendus 12 (Registered Jack 12)
RS-485	soovituslik standard-485 (Recommended Standard-485)
TalTech	Tallinna Tehnikaülikool
TCP/IP	internetiprotokollistik (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)
TIA	Telecommunications Industry Association
UMTS	universaalne mobiilsidesüsteem (Universal Mobile Telecommunications System)
W	vatt (watt)
Wh	vatt-tund (watt hour)

SISSEJUHATUS

Kui avastati, kuidas elektrit saab toota suurtes kogustes, järgnes sellele ka elektri müük. Selleks aga oli vaja mõelda, kuidas saaks uut toodet nimega elektrienergia müüa ning määrata selle eest tasu. [1]

Enne tänapäevaste elektriarvestite leiutamist oli mitmeid arvesteid, mis erinesid tänapäevase elektriarvesti tööpõhimõttest. Esimeseks neist oli elektrolüütiline arvesti, mille tööpõhimõtteks oli elektrivoolu läbimine elektrolüüti, nagu vasksulfaat. Elektrolüüdis oli elektroodina kasutatud vasest plaati. Plaat kaaluti enne elektrolüüti asetamist, makseperioodi lõpus kaaluti plaat uuesti ning saadud kaaluvahest moodustus kasutatud elektri kogus. Kasutust on ajaloos veel leidnud pendel-, mootor- ja induktsioonarvesti. Induktsioonarvestid on tänapäeval endiselt kasutusel, aga nende kasutus väheneb, kuna arvestid ja eriti nende laagrid on tundlikud vibratsioonile ja löökidele. [1]

Elektrienergia kasutus on tänapäeval aga veelgi laialdasem ning elektrita ei toimu tootmist ega toimi ka kodune majapidamine viisil, kuidas ühiskond on sellega harjunud. Endiselt edastatakse arveid elektri kasutamise eest ning tehnoloogia arenedes on ka elektrienergia mõõtmine võrreldes varasemate mõõtmise viisidega muutunud oluliselt täpsemaks. Näitude vaatamine elektriarvestilt on üsna tülikas ning võib ka olla aeganõudev, seetõttu on palju lihtsam saada ülevaade elektrinäitudest kasutades selleks rakendust.

Kauglugemise mudeli näidisenäite on antud töös kasutatud Tallinna Tehnikaülikooli linnakus erinevatesse õppehoonetesse paigaldatud elektriarvestid ja nende sideühendusviisid.

Elektriarvesteid on erinevaid tüüpe ning neid kasutatakse ka erinevatel eesmärkidel – tarbimise või tootmise mõõtmiseks. Antud töös vaatleme peamiselt tarbimist, kuigi mõni vaatluse all olevast elektriarvestist on ka võimeline reaktiivenergiat mõõtma ning ka rakendus Campulse Lite on võimeline tootmise andmeid näitama. Uurimise all on kolm erinevat elektriarvestit – kaks neist on tootjalt Landis+Gyr ning kolmas elektriarvesti on tootjalt Alogdue. Eelnevalt olid energeetikamajas esindatud ka Iskra ja ACE3000, mida on põgusalt ka antud töös mainitud võrdluse eesmärgil. Kuna kõikide elektriarvestite päevaseid ja öiseid näite on võimalik distantsilt läbi rakenduse vaadata, siis on ka vajalik teada, kuidas liigub elektrinäite rakenduses. Tuleb teada, millised andmesideühenduse viisid on elektriarvestitel, milliseid standardeid ja protokolle on võimalik kasutada.

1 ÜLEVAADE OLUKORRAST

Kaasajal tahetakse kõike muuta maksimaalselt automaatseks. Läbi automatiseerimise saadakse hoida kokku kuludelt, mis puudutab tööjõudu. Automatiseerimisega kaasnevad samuti kulud, kuid need on pigem suuremad ühekordsed väljaminekud ja hiljem tuleb arvestada ka veel mõningaste hoolduskuludega. Lisaks, automatiseeritud lahendustega saab tööjõud kasutada aega mõne tegevuse peale, mida ei ole momendil võimalik automatiseerida või millega kaasneks märgatavalt suurem kulu, kui kasutatakse tehnoloogiat ja süsteeme inimeste asemel selleks, et tööülesannet täita. Mõnikord saab ka tegevuse keerukus takistuseks, miks ei saa tehnoloogilisi lahendusi kasutada.

Elektrinäitude edastamine rakendusse on aga üsna lihtne tegevus, mida automatiseerida, kuid optimaalseima lahenduse väljamõtlemine ning teostamine võib olla piiratud. Mõni lahendus ei pruugi sobida seetõttu, et ei ole välja pakkuda piisavalt turvalist lahendust, mida ka elektrivõrgu teenuste pakkuja aktsepteeriks. Samuti tasub võrrelda kulude osas, kui võimekas süsteem on vaja kokku panna. Võimaldada võib ju väga kiiret edastust väga suure edastusmahuga, kuid see ei pruugigi olla vajalik.

Ühtlasi on võimalik rakendusest tihemini jälgida, kas näitude edastamine toimub, kas on vaja kuidagi reageerida, kui juhuslikult ahelas on toimunud midagi sellist, mis vajab tähelepanu. Elektrinäitude vaatamine igakuiselt elektriarvestilt vaid elektrimüüjale edastamiseks ei anna ka väga head alust selleks, et elektrinäite saaks analüüsida. Selle jaoks, et saaks koostada analüüsi, on vaja palju andmeid. Mainides taas inimresursi kasutamist, siis ei oleks mõistlik anda töötajale ülesandeks päevas mitmeid kordi võtta teekond ette, et vaadata mitmete arvestite näitusid, mis võivad paikneda teineteisest väga pikkade vahemaade taga. Elektriarvestid on tavaolukorras paigaldatud kappidesse, mis võivad olla samuti raskesti ligipääsetavad. See lisaks inimresursile taas ajakulu.

Automatiseerimine on ka oma mugavuse mõttes väga oluline samm. Kuna väga suur hulk inimesi töötabki arvutitega ning internetiühendus on muutunud väga tavaliseks arvutite juures, siis on ka mugav kasutada rakendusi selleks, et monitoorida hetkeseisu elektrinäitude osalt. Inimene ei pea seejuures tegema muud, kui brauseri avama ja sisestama õige veebilehe ning vajadusel omama rakendusele ligipääsuks kontot. Samuti võimaldab rakendusest ligipääs näitudele laiemat kasutuse võimalust. Kõik, kellel on konto, saavad teha seiretööd.

2 ÜLESANDE PÜSTITUS

Ülesandeks on selgitada välja kõige täpsemini mõõtev elektriarvesti ning elektriarvesti spetsifikatsioonid arvesse võttes kõige optimaalsem lahendus loomaks näitude kaugloetavuse ühendus serverini ning serverist edasi rakendusse, kust on võimalik näite vaadata. Kõige selle juures tuleb ka arvestada, et kaugloetavuse tehniline lahendus ei tekitaks majanduslikult väga suuri kulusid.

Elektriarvesti spetsifikatsioonidest lähtutakse, et teada saada, millised on võimalused arvesti kasutamiseks ja elektrinäitude kauglugemiseks. Elektriarvestitel on spetsifikatsioonides ära toodud, millised on ühendusviisid elektrivõrku ühendamiseks, milline on elektriarvesti täpsusklass, kas elektriarvestit on võimalik ühendada konverterite ja kaablitega võrgulüüsini või on vaja täiendavalt kasutada mikrokontrollerit, millega impulsi lugemist saab edasi saata läbi mitmete sammude võrgulüüsini. Spetsifikatsioonidest on leitav ka, kas elektriarvesti mõõdab ainult aktiivenergiat või on ka võimalus mõõta reaktiivenergiat ning näivenergiat. Elektriarvesti spetsifikatsioonidest saab teada, kui võimekas on elektriarvesti ning kas see võiks ka vajadustele vastata.

Elektriarvestid toetavad erinevaid standardeid ning protokolle. Standard on tehniline dokument, mis määrab ära reeglid või definitsiooni ning on konsensusel alusel koostatud korratav tegevus[2]. Standardid on loodud selleks, et kõik osapooled, kes antud standardit soovivad kasutada, saaksid kvaliteetse ning turvalise toote[2]. Standardiseerimine annab võimaluse sobitada mitmeid erinevaid seadmeid omavahel, seejuures tõstmata toodete hinda sellega, et tuleks standardeid erinevate konverteritega hakata sobitama. Seega, elektriarvestitel kasutatavad standardid tagavad kvaliteedi, turvalisuse ning selle, et ka kulud oleksid kasutajate vaatest mõistlikud.

Protokoll on standardi definitsioonile sarnane, kuid on elektroonika maailmas kitsendatud olema standardite kogum, mis allub samuti reeglitele, kuid täpsemalt elektroonika seadmete omavahelise suhtluse osas. Protokoll paneb paika reeglid, millist tüüpi andmeid saab edastada, milliseid käsklusi on kasutatud andmete edastamiseks ja vastuvõtmiseks ning kuidas andmete edastamise õnnestumine on kindlaks tehtud. [3]

2.1 Vajadused

Vajadus on kauglugemiseks olemas eelmainitud inimressursi efektiivsema kasutuse pärast. Elektrinäite võiksid inimesed käia vaatamas elektriarvestilt, kuid see ei ole otstarbekas. Seega, on olemas vajadus süsteemiks, mis lubab näitude vaatamist rakendusest.

Arvestada tuleb alati sellega, kui suur on hoonestus. Omades lokaalset kauglugemissüsteemi, mis on piiratud elektrivõrgu teenusepakkuja poolt, kuid on antud siiski mõningast vabadust, siis on oluline otsides sobivat lahendust teada, kui kaugel asuvad elektriarvestid teineteisest. Valides lahenduse standardiga, mis võimaldab mitmete arvestite ühendamist keskseadmega, mis omakorda võimaldab näitude edastamise võrgulüüsi, siis on mõistlik asetada keskseade võimalikult elektriarvestite suhtes keskele, et lihtsustada kaablite vedamist ning ühtlasi hoida kokku ka kaablite materjalikulult, kuid mõningal määral ka inimressursikuludelt. Kui kasutada Tallinna Tehnikaülikooli kauglugemise süsteemi näitena, siis ei oleks mõistlik paigaldada keskseadet Mektorysse ning NRG-st (energeetikamajast) vedada kaablit üsna kaugele. Vajadus ei ole ainult näitudele lihtne ligipääs, vaid ka täpsus. Kasutades inimressursi näitude ülesmärkimiseks, on alati võimalik, et tehakse vigu. Suurimad vead aga tulenevad sellest, et impulssväljundi kasutamine on ebatäpne, sest andmepaketi kokkupanemisel ei salvestata impulsse. Impulssväljundi asemel on vajadus kasutada andmesideprotokolle. Täpsuse erinevused võivad tulla ka elektriarvestist tulenevalt.

Elektriarvestitel on erinevad täpsusklassid, selle info leiab elektriarvesti manuaalist üles. Lisaks, mõjutab täpsust ka see, kas elektriarvestitel kasutatakse impulsside lugemist või mõnda muud lahendust näitude edastamiseks. Ei saa ka mainimata jätta, et ometi, kuigi mikrokontrolleri võib õigesti programmeerida, siis võib saada mikrokontrollerist kauglugemise ahelas lüli, mis võib lakata töötamast. Tõenäosus on väike, sest mikrokontrollereid peetakse töökindlateks, aga ei saa ka jätta seda võimalust tähelepanuta. Mida vähem vajame erinevaid seadmeid selleks, et info jõuaks rakenduseni Campulse Lite, seda odavam ja töökindlam on lahendus.

2.2 Nõudmised

Kaugloetava elektriarvesti lahendusele vajalikud nõuded:

- elektriarvesti näitude täpsus
- turvalisus (andmete manipuleerimise võimaluse piiramine)

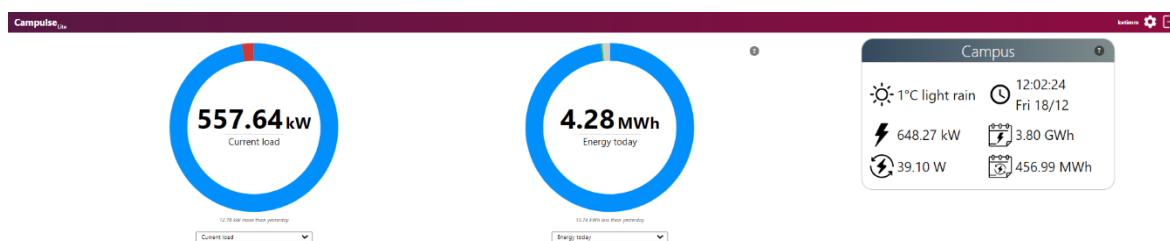
- minimaalne kulu (elektriarvesti kaugus ruuterist/võrgulüüdist ning väike seadmete arv)
- elektriarvestite võimekus (sobivaimate protokollide ja standardite leidmine)
- töökindlus (vältida impulsslugemi vigu kasutades teist lähenemist kauglugemisele)

3 CAMPULSE LITE

Campulse Lite on rakendus veebiaadressil <https://campuselite.taltech.ee>, millest saab ülevaate koormusest vattides (W) ja elektrienergiast vatt-tundides (Wh), mida kasutatakse Tallinna Tehnikaülikooli ülikoolilinnakus. Campulse Lite rakendusse sisenemiseks on vaja kontot, seega on vajalikud nii kasutajanimi kui ka parool. Praegusel hetkel on rakenduses eristatuna nähtavad MEK (Mektory – Innovatsiooni- ja Ettevõtlus keskus), NRG (energeetikamaja) ning õppehooned U5, U6 ja A5A. Campus vaade annab kogu summaarse tarbimise.

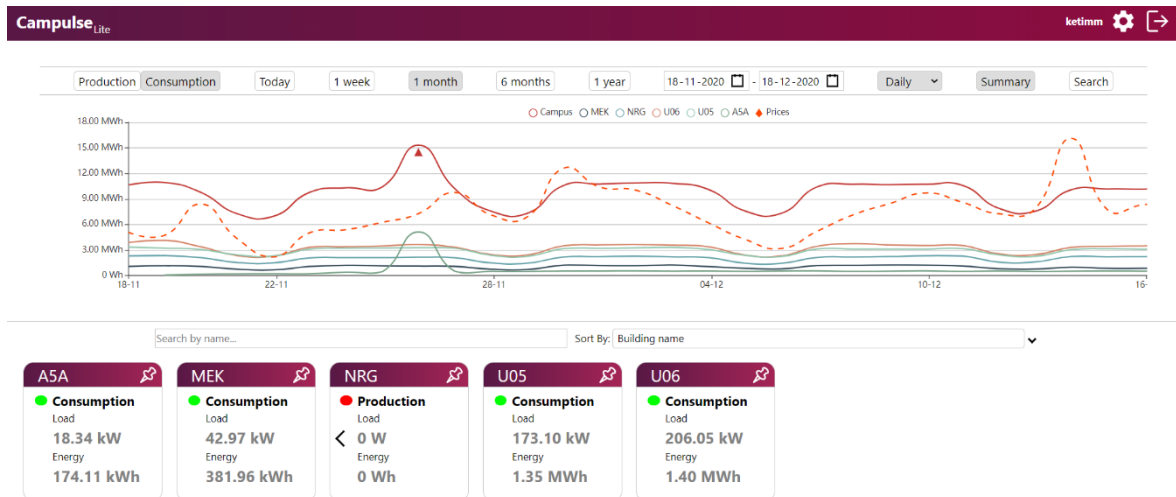
Tallinna Tehnikaülikoolis loodud rakendus, mille vaade on nähtaval joonistel 3.1 ja 3.2, näitab elektrienergiat ja koormust ning hindasid vastavalt valitud ajavahemikule ning muud üldinformatsiooni.

Rakendus analüüsib pidevalt eelneva päeva kasutust võrreldes tänasega - see info on kuvatud rõngasdiagrammidena joonisel 3.1. Samuti on nähtav joonisel 3.1 paremal paiknevast lisainfot sisaldavast kastist, milline on hetkel ilm, kuupäev ja kellaeg. Lisaks saab vaadata ka suurimat selle nädala koormust ja summeeritud elektrienergia kasutust ning tootmist sellel aastal.



Joonis 3.1 Campulse Lite rõngasdiagramm ja üldinfo vaade

Joonisel 3.2 kuvataval graafikul on võimalik vaadata tarbitavat elektrienergiat ja koormust ning hindasid, aga ka elektrienergia tootmist energeetikamajas. Ajavahemikke saab seadistada arvestades vajadust – võimalik on juba eelseadistatult vaadelda tänast, ühe nädala, ühe kuu, poole aasta ja ka ühe aasta andmeid. Kui on tarvidus vaadelda mõne muu ajavahemiku tulemusi, on ka selleks loodud võimalus. Vastavalt vajadusele saab vaadelda kõiki kauglugemist puudutavaid õppehooneid korraga *Campus* vaates või ka valida, milliste hoonete energia kasutust soovitakse näha tehes just vajadusele vastavalt need õppehooned rakenduses aktiivseks.



Joonis 3.2 Campulse Lite energiatarbimise ja koormuse ajaline vaade

Kuigi näidud on Campulse Lite rakendusest nähtavad, ei tähenda see veel, et nähtavad näidud oleksid täpsed. Hetkel, kui andmepaketti saadetakse, ei salvestu impulsid saadetavasse andmepaketti ning need jäävad arvestusest välja. See aga põhjustab näitudesse ebatäpsust ning tekkiv nihe suureneb ajaga.

4 PROJEKTEERIMINE

4.1 Elektriarvestid

Elektriarvesti on seade, millega saab mõõta elektrienergiat hoonetes või mõnes seadmes, mis kasutab elektrienergiat. Tänapäeval on meile tuttavateks elektriarvestiteks nii induktsioon- kui ka elektroonsed arvestid. Leidub endiselt mõlemaid, kuigi maailm on minemas enam ja enam elektroonsete lahenduste poole, uuemad elektriarvestid on digitaalsete näidikutega. Elektroonsed ehk staatilised arvestid põhinevad analoog-digitaalmuundurite ja mikroprotsessorite kasutamisel. Leidub ka arvesteid, mis kasutavad Halli andurit. Halli andur on seade, mis aktiveeritakse välise magnetvälja poolt [4].

„Induktsioonarvesti elektromagnetsüsteemil paiknevate mähiste poolt tekitatud magnetvood panevad pöörlema magnetsüsteemi õhupilus oleva alumiiniumketta. Mida suurem on koormus, seda kiiremini ketas pöörleb; pidurdusmoment hoiab pöörlemiskiiruse täpselt võrdelisena arvestit läbiva aktiivvõimsusega (voolu, pinge ja võimsusteguri korrutisega). Staatilises arvestis moodustatakse mõõdetavast pingest ja voolust impulsid, mille amplituud on võrdeline mõõdetava pinge hetkväärtusega ja pikkus mõõdetava voolu hetkväärtusega. Impulsside filtreerimisel saadakse võimsusega võrdeline alalispinge, mis pingesagedusmuunduri abil muudetakse võimsusega võrdeliseks pulss-sageduseks. Selle sagedusega juhitakse samm-mootori abil loendurseadet (numeraatorit), impulssväljundit ja arvesti esipaneelile toodud valgusdiod-märgutuld. Igale tarbitud kilovatt-tunnile vastab teatav vilkumiste (impulsside) arv. Mõned uuemad staatilised arvestid põhinevad Halli anduri kasutamisel. Mõõtesüsteemis tekitatakse mõõdetava võimsusega võrdeline magnetväli, millesse paigutatakse Halli andur. Anduris tekib pinge, mis viiakse pärast muundamist pulssidena energiakulutust registreerivale numeraatorile.” [5]

„Enamus staatilistest arvestitest on varustatud ka impulssväljundiga, mis võimaldab näiteks lisaseadme abil teostada arvestinäitude kauglugemist. Tavaliselt kasutatakse galvaaniliselt eraldatud potentsiaalivaba impulssväljundit, kuid võidakse kasutada ka S0 transistor impulssväljundit.” [5]

S0 transistor impulssväljund on lüliti, mis tajub sees ning väljas olekut [6]. See on mõeldud andme edastuseks suhteliselt väikesele kaugusele (mitte üle 10 m) [5].

4.1.1 Ülesande püstitus

Tallinna Tehnikaülikooli õppehoonetesse U3, U5, U6, energeetikamajja ning Mektorysse on paigaldatud erinevad elektriarvestid, erinevate kauglugemise võimalustega. Nendeks arvestiteks on:

- Landis+Gyr S650 SMA410CT
- Landis+Gyr E650 ZMD410CT
- Alogdue UEM1P5-D

Varasemalt olid energeetikamajja paigaldatud ka arvestid:

- Iskra MT300-D1A51-V12612
- ACE3000 260-C30D-R2-A

Üheks olulisimaks ülesandeks on leida elektriarvesti, mille näidud erinevad võimalikult vähe võrreldes tegelikust kasutatud elektrienergiast. Kindlust täpsuse osas annab ka see, kui tegemist on MID sertifitseeritud arvestiga. Teiseks oluliseks ülesandeks on andmete reaajas kättesaamine. Tuleb valida välja sidet puudutavad standardid ja protokollid, mis vastaksid vajadustele kõige paremini. Sobivaid lahendusi võib olla rohkem kui üks. Teades, mida võimaldab üks või teine standard ja protokoll, jõuame otsustamisele lähemale. Osadel elektriarvestitel võib olla võimalik osta juurde kommunikatsiooni jaoks eraldi sidemooduleid. Sidemoodulid võivad samuti omada erinevaid võimalusi andmete edastamise jaoks. Lisakulutustest oleks hea hoiduda, kuid arvestades, et sidemooduleid on turul mitmeid erinevaid, siis annab see palju võimalusi juurde, kuidas lahendada kaugloetavust. Protokollide osas on kindlasti ka hea otsustada mõne sellise protokolliga kasuks, mis on laialt levinud ning võimaldab seega sobitada võimalikult palju seadmeid, kui selleks on vajadust. Arvestada tuleb ka sellega, et elektrimüüja ei pruugi lubada turvalisuse kaalutlusel kõiki lahendusi lasta kasutada. Elektriarvesti võib toetada mõnda protokolliga, mis teeks ühenduse odavaks ning töökindlaks, kuid andmed võivad olla jällegi liialt lihtsasti manipuleeritavad.

4.1.2 Arvestite võrdlemine

Võrdlemise all on viis erinevat elektriarvestit, millest kolm on praeguselgi hetkel kasutusel. Kasutusel on kaks Landis+Gyr elektriarvestit, mille spetsifikatsioonid on leitavad tabelist 4.1 ja tabelist 4.2, ning Alogdue arvesti, mille spetsifikatsioonid on toodud tabelis 4.6. Varasemalt on olnud kasutusel veel arvestid ACE3000, mille spetsifikatsioonid on tabelis 4.7, ja Iskra, mille spetsifikatsioonid on tabelis 4.8. Iskra ja ACE3000 elektriarvestid on nüüdseks eemaldatud. Olulisimad erinevused arvestitel on täpsusklass ja näitude edastamiseks andmesideprotokollid.

Järgnevat tabelites (tabel 4.1 kuni tabel 4.3) on välja toodud Tallinna Tehnikaülikooli energeetikamajas, U3, U5, U6 ning Mektorys asuvate elektriavestite üldisemaid omadusi, mida analüüsitakse täpsemalt järgnevat alapeatükkides.

Tabel 4.1 Landis+Gyr S650 SMA410CT elektriavesti spetsifikatsioonid [7]

Pinge piirkond	Täpsusklass	Energialiik	Sideühendus	Väljundid
Madalpinge, keskpinge, kõrgepinge	Klass 1.0/1.0 MID B	Aktiivenergia, reaktiivenergia, näivenergia	Sidemoodul Landis+Gyr E65C CU-U52, RS-485	Impulssväljund

Tabel 4.2 Landis+Gyr E650 ZMD410CT elektriavesti spetsifikatsioonid [8]

Pinge piirkond	Täpsusklass	Energialiik	Sideühendus	Väljundid
Madalpinge, keskpinge, kõrgepinge	Klass 1.0/1.0 MID B	Aktiivenergia, reaktiivenergia, näivenergia	Sidemoodul Landis+Gyr E65C CU-P32 või CU-P42, RS-485	Impulssväljund

Tabel 4.3 Alogdue UEM1P5-D M elektriavesti spetsifikatsioonid [9]

Pinge piirkond	Täpsusklass	Energialiik	Sideühendus	Väljundid
Madalpinge	Klass 1.0/1.0 MID B	Aktiivenergia, reaktiivenergia	M-Bus	Impulssväljund

Varasemalt on olnud energeetikamajas ka ACE3000 260-C30T-R2-A (tabel 4.4) ja Iskra MT300-D1A51-V12G12 (tabel 4.5) elektriavestid. Antud juhul on jäetud need võrdluseks töösse sisse.

Tabel 4.4 ACE3000 260-C30D-R2-A elektriavesti spetsifikatsioonid [10]

Pinge piirkond	Täpsusklass	Energialiik	Side	Väljundid
Madalpinge	Klass 2	Aktiivenergia	RS-232	Impulssväljund

Tabel 4.5 Iskra MT300-D1A51-V12G12 elektriavesti spetsifikatsioonid [11]

Pinge piirkond	Täpsusklass	Energialiik	Side	Väljundid
Madalpinge	Klass 2	Aktiivenergia	-	Impulssväljund

Tallinna Tehnikaülikooli linnakus on kasutusel elektriarvestitel Landis+Gyr E650 ZMD410CT sidemoodulid E65C CU-P32 ja CU-P42 ning Landis+Gyr S650 SMA410CT puhul sidemoodul E65C CU-U52.

Landis+Gyr sidemoodul E65C CU-U52 tabelis 4.6 annab võimaluse kasutada GSM (Global System for Mobile)/UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) modemit ja RS-485 (Recommended Standard-485) standardit. RS-485 on EIA (Electronics Industry Alliance) and TIA (Telecommunications Industry Association) poolt kehtestatud hulkpunkt kommunikatsiooni standard [12]. RS-485 võimaldab ühendada mitu elektriarvestit ning CU-U52 sidemoodul käitub kui ülemseade.

Tabel 4.6 Landis+Gyr sidemooduli E65C CU-U52 side võimalused [13]

Mooduli mudel	CU-U52
Sidetüübid	GSM/UMTS
	RS-485

RS-485 on võimaldatud ka Landis+Gyr sidemoodulitel E65C CU-P32 tabelis 4.7 ja CU-P42 tabelis 4.8. Sidemoodulitel CU-P32 ja CU-P42 on ka GSM/GRPS (General Packet Radio Service) modemi võimalus.

Tabel 4.7 Landis+Gyr sidemoodulite E65C CU-P30, CU-P31 ja CU-P32 side võimalused [14]

Mooduli mudel	CU-P30	CU-P31	CU-P32
Sidetüübid	GSM/GPRS	GSM/GPRS	GSM/GPRS
		RS-232	
			RS-485

Tabel 4.8 Landis+Gyr sidemoodulite E65C CU-P40, CU-P41 ja CU-P42 side võimalused [15]

	CU-P40	CU-P41	CU-P42
Sidetüübid	GSM/GPRS	GSM/GPRS	GSM/GPRS
		RS-232	
			RS-485

Tabelisse märgitud, kuid Tallinna Tehnikaülikoolis kasutuses mitteolevatel sidemoodulitel (näiteks, Landis+Gyr E65C CU-P31 tabelis 4.3 ja CU-P41 tabelis 4.4), on ka veel RS-232 tugi, kuid tänapäeval on RS-485 eelistatum. Peatükis 4.2.2 on erinevused RS-232 ja RS-485 vahel täpsemalt välja toodud. Tabelitesse on lisatud ka mobiilside võimalus, kuid käesolevas töös analüüsimise alla GSM/GPRS/UMTS ei tule, kuigi Landis+Gyr sidemoodulid ka mobiilside lahendust toetavad. Mobiilside lahendused

on kasutusel Elektrilevi OÜ-l ja seetõttu on uurimise all antud töös muud andmesidevõimalused, mida elektriarvestid toetavad.

4.1.3 Elektriarvestite täpsus

Täpsus on olulisimaid omadusi elektriarvesti puhul, et mõõdetud elektrikogused vastaksid tegelikkusele. Täpsus antud juhul ongi mõõdetava ja tegelikkuses kulutatud elektrienergia protsentuaalne erinevus.

Elektriarvestite täpsusklassid 0,5, 1 ja 2 on määratletud IEC 62053-21:2020 standardiga [16]. Täpsusklass 0,5 tähendab, et mõõtmisel tekkiv viga ei tohi olla rohkem ega vähem kui 0,5% mõõdetavast elektrienergiakogusest. Täpsusklassil 1 on see mõõteviga 1% ning täpsusklassil 2 on 2%. Mõõtmisviga peab jääma lubatavatesse nii suure kui ka väga väikese koormuse puhul ehk ei tohi sõltuda koormuse suuruselt [5]. Standard määrab ka selle, et mõõta saab kuni 1000 V alalispinget. [16]. Tallinna Tehnikaülikooli paigaldatud elektriarvestite seas on kolm arvestit, millel on täpsusklassiks määratud 1. Nendeks arvestiteks on Landis+Gyr S650 SMA410CT, Landis+Gyr E650 ZMD410CT ja Alogdue UEM1P5-D. Eelnevalt oli kasutusel ka kaks arvestit (Iskra ja ACE3000), mille täpsusklassiks on määratud 2.

Arvestite jaoks on tehtud ka Euroopa direktiiv MID (Measuring Instruments Directive), mis annab arvestitele sertifikaadi, et olla kindel, et tõesti sellel arvestil on täpsusklass selline, nagu on arvesti juhendisse märgitud. MID klass A vastab IEC klassile 2, MID klass B IEC klassile 1 ning MID klass C IEC klassile 0,5 [17]. Landis+Gyr arvestid S650 SMA410CT ja E650 ZMD410CT on MID arvestid, seega vastavad klassile B [7, 8]. Alogdue UEM1P5-D on samuti MID järgi B täpsusklassi arvesti [9].

4.2 Andmesideprotokollid ja -standardid

Selleks, et andmeid saaks liigutada mööda füüsilist kaablit või signaalidega läbi õhu, on vaja mõista standardeid ning protokolle. Seadmed, mis võtavad vastu ning saadavad signaale, peavad suhtlusel alluma samadele protokollidele.

Standardid, milles sisalduvad protokollid, võimaldavad erinevaid ühendusviise. Üheks ühenduse võimaluseks on ülem/alam mudel. Ülem saab anda ühesuunalisi käsklusi alamale ning alamat juhtida. Alam ülemale omalt poolt ise genereeritud käsklusi anda ei saa, alam saab vaid ülemale vastata. Vastavalt andmesideprotokollile võib olla ülemate ja alamate arv erinev, mõni protokoll lubab mitut ülemat ning ka mitut alamat. Sarnane mudel on ka klient/server mudel, kus klient on kui ülem ning server kui alam.

Ühe alamaga ja punkt-punktühendusega on RS-232 standard [18]. Landis+Gyr arvestid vajavad selleks eraldi sidemoduleid, kuid võimalus ühenduseks on seeläbi olemas. Mitme alamaga hulkpunkt süsteem on RS-485, mida leidub samuti Landis+Gyr vaadeldavate elektriarvestite seast, kuid eraldi sidemoodulitel, mida saab nagu RS-232 puhul elektriarvestile täiendavalt lisada. RS-485 saab kasutada ka koos Modbus RTU-ga. Vaatluse all olevatest elektriarvestitest on see võimalus Landys+Gyr arvestitel.

Samuti ülem/alam mudelit toetav standard on M-Bus (Meter-Bus). See on spetsiaalne arvestite kauglugemiseks mõeldud Euroopa standard. Suhtlemine toimub kahesoonelise kaabliga, mis muudab antud standardi kasutamise kulutõhusaks [19]. M-Bus standardit toetab Alogdue UEM1P5-D M arvesti.

Modbus RS-485 standard koosneb RS-485 füüsilisest osast ja Modbus protokollist. Modbus protokoll võimaldab ülemal suhelda kõikide alamseadmetega üheaegselt või ka mõne kindla alamseadmega eraldi. Igal alamseadmepel on oma ID, millega alamseade saab signaali anda ülemale päringu vastuvõtmise teavitamiseks või siis teavitada ülemat, milline seade edastas vastuse. [20]

Seadmetega, millel on Ethernet, saab kasutada andmesideprotokollina ka Modbus TCP/IP-d. Modbus TCP/IP füüsiline kiht vastab standardile IEEE (the Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.3 [21]. IEEE 802.3 on standardite ja protokollide kogum, mis defineerib Etherneti ühendusega võrkusid[22]. IEEE on organisatsioon, mis koosneb professionaalsetest inseneridest, teadlastest ja teistest professionaalidest, kes elektroonika- ja elektrialal tegutsevad. [23]. Ühtlasi on tegemist maailma suurima tehnilisi ameteid koondava ühinguga [23]. Antud standard IEEE 802.3 on seega ka mitmete oma ala spetsialistide poolt saanud oma sobiva vormi. Modbus TCP/IP sobiks kasutamiseks võrgulüüsisist või ruuterist andmete edastamisega serverisse.

Andmete edastamiseks on vaja kasutada ka füüsilise kihina kaableid. Tänapäeval on valikus erinevaid kategooria kaableid ning ka fiiberoptiline kaabel. CAT5e ja CAT6 kaablid on standardiseeritud keerdparkaablid, mis koosnevad neljast keerutatud juhtmepaarist. Kaablipaaride keerud on olulised seetõttu, et sirgete kaablijuhtide puhul tekiks palju rohkem müra kaablis levivale signaalile. Kaablisooned ehk kaablijuhid on vasktraadist. [24]

CAT5e ja CAT6 kaabli signaali edastus toimub juhtmepaari tekitatud voluringi tõttu, fiiberoptilise kaabli kiud seevastu koosneb klaasist ning edastab signaali valgusena [25].

4.2.1 Ülesande püstitus

Elektrinäitude kaugloetavuse vaatest on kõige olulisem roll standarditel ja protokollidel. Standardid ja protokollid seavad ette piirangud ning loovad ka võimalused kaugloetavuseks. Kaugloetavus nõuab seda, et vajatakse andmesideks protokollid, millega saab andmeid edasi kanda. Protokolli on erinevate võimekustega ning selleks tuleb protokollide spetsifikatsioone võrrelda.

Kui protokoll lubab info edastamist lühikese vahemaaga, tuleb arvestada, et kasutada tuleb osa kommunikatsiooni protokollide puhul repiitereid, mis teevad lahenduse kallimaks. Andmete hulga mõttes ei ole õnneks elektrinäitude puhul tegemist väga suure andmemahuga, seega paneb see vähem piiranguid protokollide osas.

Näitude kohene võimalikult suur täpsus säästab aega ümberarvestamiste osas. Paraku impulsside lugem ei võimalda väga suurt täpsust, sest elektriarvestist andmepaketi saatmise hetkel ei salvestata impulsse. Kokku saaks ka kuludelt hoida, kui oleks võimalik jätta osa kaugloetavuse ühendussüsteemi detailidest, mida momendil Tallinna Tehnikaülikoolis kasutatakse, skeemist ära. Hetkel on kasutusel Arduino UNO mikrokontroller ning ka LoRaWAN-i moodul kasutatavas lahenduses. Mikrokontrollerid ei maksa küll palju, kuid väikene lisakulu sellest siiski tekib. Tunduvalt täpsem oleks võimalus ühendada elektriarvesti läbi konverterite ruuteriga, millest jõuaks signaal serverisse, kust saaks juba edasi rakendusest vaadelda ning vajadusel analüüsida näite, sest tarbimise näitude õigsus oleks suurem just varasemalt mainitud impulsi lugemise ebatäpsuse tõttu.

4.2.2 Andmesideprotokollide ja -standardite võrdlemine

RS-232 ja RS-485 on füüsilise andmesideleide standardid. Erinevuseks nende kahe standardi vahel on kiirus, andmete edastuse kaugus ning ka seadmete arv, mida saab omavahel suhtlema panna. Standardite RS-232 ja RS-485 spetsifikatsioonid on välja toodud tabelis 4.9.

Tabel 4.9 RS-232 ja RS-485 spetsifikatsioonid [18]

	RS-232	RS-485
Ühendus	Punkt-punktühendus	Hulkpunktühendus
Seadmete arv	1 saatja, 1 vastuvõtja	32 saatjat, 32 vastuvõtjat
Suhtlussüsteem	Täisdupleks	Täisdupleks (4 juhet), pooldupleks (2 juhet)
Maksimaalne distants	15 m	1200 m
Maksimaalne andmete edastamiskiirus	115.2 kbps (minimaalse distanti korral)	10 Mbps (10 meetri korral)

RS-232 on täisdupleks ning RS-485 nii täisdupleks kui ka pooldupleks. Täisdupleks võimaldab suhtlust mõlemas suunas ja samal ajal, pooldupleks seevastu aga võimaldab suhtlust korruga ainult ühes suunas ning samaaegset suhtlust ei toimu. [26]

Suhtlusel on erinevuseks ka seadmete arv. RS-232 saab suhtlema panna ainult ühe seadmega, RS-485 saatjate ja vastuvõtjate arv on 32. RS-232 on standardina ka kiiruse ja edastuskauguse osas vähemvõimekas kui RS-485. RS-232 puhul on maksimaalne andmete edastamise kiirus 115.2 kbps minimaalse distantsi puhul, RS-485 puhul on umbes 10 meetri kaugusele andmete edastamise kiiruseks 10 Mbps. RS-232 standardist kaugemale annab võimaluse andmeid edastada RS-485 – 1200 meetrit peetakse maksimaalseks kauguseks. RS-232 küündib aga andmete edastamisega ainult 15 meetri kaugusele. [18]

Kasutades spetsiaalset konverterit, Modbus protokollit ning fiiberoptilist kaablit, võib aga saada vahemaaks 4000 m[27].

Kaheks protokolliks, mida andmeedastusel rakenduskihi tasemel võrreldakse antud töös, on M-Bus ja Modbus RTU protokoll, mille spetsifikatsioonid on välja toodud tabelis 4.10. Modbus RTU (Remote Terminal Unit) kiirus ning lubatav distants sõltub kasutatavast kaablist ning kiirus jääb vahemikku 1200-115200 bps [28]. M-Bus standard lubab aga kasutada varjestatud telefonikaablit või vaskkaablit, millega peaks saama maksimaalselt ühenduse 350 meetri kaugusele. Kuna M-Bus lubatud kiiruseks on märgitud Alogdue manuaalis 300-9600 bps [11], siis on see võetud võrdluse aluseks. Kuna Modbus RTU kasutab RS-485 füüsilise kihina, siis tuleb Modbus RTU puhul kaitsta kaugloetavuse süsteemi selle eest, et keegi füüsiliselt ligi ei pääseks ning oma seadet ei ühendaks teiste seadmetega kokku [29]. Seadme ühendamine võimaldab lisatud seadmel imiteerida olukorda ning anda ülemseadmele vale informatsiooni. M-Bus puhul on võimalik kasutada krüpteerimist transpordi- ja rakenduskihis [30]. Samuti tuleb füüsilist kihti ehk kaableid kaitsta ka M-Bus lahenduse puhul võimalike kuritegelike ohtude eest. Kihtide paiknemine on määratletud OSI (Open Systems Interconnection) mudeli alusel [31].

Tabel 4.10 Modbus RTU [28, 29] ja M-Bus spetsifikatsioonid [9, 30]

	Modbus RTU	M-Bus
Kiirus	1200-115200 bps	300-9600 bps
Turvalisus	Kaitseta. Pigem vajab füüsilise kihi ehk RS-485 kaitset.	Krüpteerimise kasutamine osades M-Bus mudeli kihtides
Ühendus	CAT5e, CAT6	Kahesooneline kaabel
Ülem/alam	1-247 alamat (elektriarvestit)	250 alamat (elektriarvestit)
Distants	Olenevalt kasutatavast ühendusest: RS-232 puhul 15 m, RS-485 puhul 1200 m	350 m (4 km on kogu kaablite pikkus võrgu topoloogias)

Kaablitest on võrdluse all CAT5e, CAT6 ja fiiberoptiline kaabel, mille spetsifikatsioonid on välja toodud tabelis 4.11. Võrreldes kaablite edastuskiirusi, siis selgub, et fiiberoptiline kaabel on edastuskiiruse poolest tunduvalt parema näitajaga. Kui CAT5e kiirus on 10/100 Mbps ning CAT6 juba kõrgem ehk 10 Gbps, siis fiiberoptilise kaabli edastuskiirus ulatub 200 Gbps-ini. Fiiberoptiline kaabel on ka andmeedastuse kauguse poolest tunduvalt parema näitajaga kui on CAT5e ja CAT6 kaabel. CAT5e kaabli maksimaalne edastuskaugus on 100 m ja varjestamata CAT6 puhul 55 m, fiiberoptiline kaabel aga võimaldab maksimaalselt edastada andmeid 80 km kaugusele. Fiiberoptiline kaabel peab vastu ka väga suurele koormusele ning on seega töökindlam. Fiiberoptiline kaabel ei allu ka elektromehaanilistele mõjutustele nagu seda teeb vaskkaabel [25]. Üheks suureks miinuseks fiiberoptilise kaabli puhul tuleb hind. Kaabel ise odavneb aasta-aastalt, kuid konverter, mis teeb optikast jadaliidese, on üsna kulukas [32].

Tabel 4.11 CAT5e, CAT6 [33] ja fiiberoptilise kaabli spetsifikatsioonid [34]

	CAT5e	CAT6	Fiiberoptiline kaabel
Kiirus	10 kuni 100 Mbps	Kuni 1 Gbps	10/100/1000 Mbps, 10/40/100/200 Gbps
Maksimaalne kaugus	Kuni 100 m	37-55 m või vähem	80 km

4.2.3 Andmesideprotokollide ja -standardite vahekokkuvõte

RS-232 ja RS-485 standardite võrdlusest selgus, et RS-485 ületab RS-232 standardi võimekuse. RS-485 puhul saab saata andmeid 80 korda kaugemale, kui võrrelda maksimaalseid edastuskaugusi. RS-485 maksimaalset kaugust kasutades andmeedastuse kiirus küll väheneb, kui kaabli lõpu osa arvestada, kuid RS-485 puhul on edastuskiirus tunduvalt kiirem lühikeste distantside puhul RS-232 omast. RS-485 võimaldab nii täisdupleks kui ka pooldupleks lahendust, RS-232 on täisdupleks. Täisdupleks võimaldab suuremaid edastuskiirusi, aga juhtudel, kus andmete edastuskiirused pole olulised, võib ka kasutada pooldupleksit, sest pooldupleks koormab võrku vähem [35]. Seega, dupleksi osas annab RS-485 rohkem võimalusi. RS-485 on parem ka selles osas, et seadmeid saab rohkem ühe peaseadme külge ühendada. RS-232 puhul on see ainult üks seade ning see teeb kogu süsteemi oluliselt kallimaks.

M-Bus on küll loodud just arvestite standardina, kuid andmete edastamise kiiruse poolest on RS-485 Modbus parem valik. Mõlemad omavad omadust kasutada klient-server ühendust, mis annab mõlemale protokollile vabaduse ühendada peaseadme ehk kliendi külge mitut erinevat seadet ehk serverit.

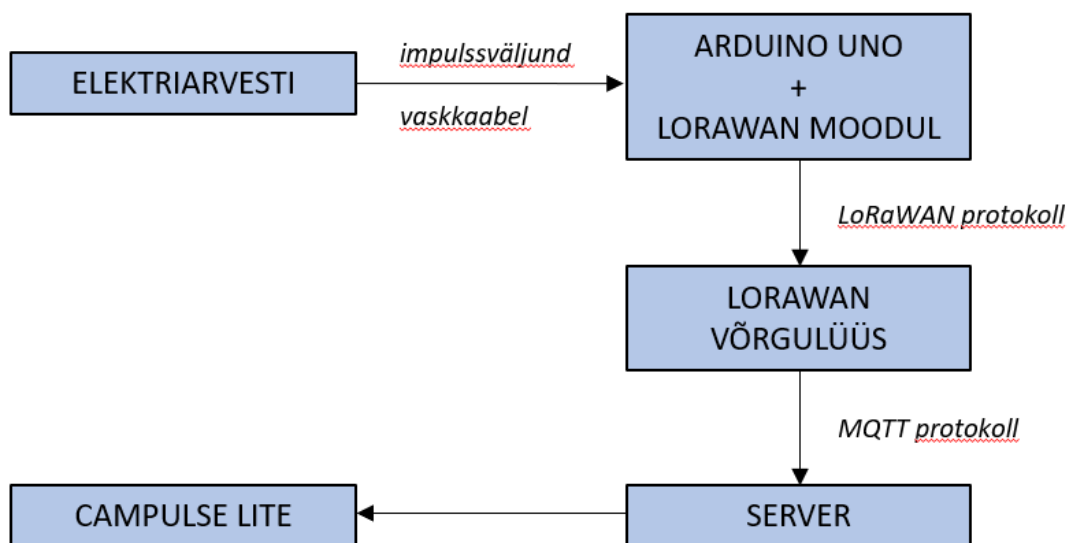
Kaablite osas oleneb valik sellest, kui suurte vahemaade taha soovitakse informatsiooni edastada. Kui tegemist on lühikese vahemaaga ning edastuskiirus ei ole väga oluline, kuid hind on oluline, siis sobib ka CAT5e kaabel. Pikemate vahemaade puhul, kus töökindlus ning müra puudumine on väga oluline, võib eelistada fiiberoptilist kaablit. Fiiberoptilise kaabli konverteerimine sobivaks andmeedastajaks võib kaasa tuua suuri kulusid ning seetõttu oleks mõistlikum kasutada CAT5e või CAT6 kaablit.

4.2.4 Tööprotsessi kirjeldamine

Joonisel 4.1 on kujutatud tänasel päeval Tallinna Tehnikaülikoolis kasutusel olevat kauglugemise süsteemi, mis tugineb impulsside lugemise saatmisel läbi mitmete sammude serverini, millest saab seejärel Campulse Lite rakendusest juba valmiskujul tarbimist vaadata. Impulsside lugemise saadetakse esmalt läbi vaskjuhtme Arduino mikrokontrollerisse. Kaugloetava elektriarvesti lahenduses on kasutatud Arduino UNO kontrollerit. Arduino on avatud lähtekoodiga platvormil baseeruv riistvara ja tarkvara, millele saab lihtsasti käsklusi edastada [36]. Arduinot saab programmeerida Arduino tarkvara IDE-t kasutades [36]. Arduino UNO-ga on ühendatud LoRaWAN-i moodul, mis annab antenniga signaali edasi võrgulüüsi. Mikrokontrollerile on lisatud LoraWAN-i moodul.

LoraWAN on globaalne standard. LoraWAN-i protokoll eelistatakse põhjusel, et antud võrgutüüpi saab kasutada pikkade vahemaade puhul. Maksimaalseks vahemaaks loetakse 15 km. LoraWAN-i positiivseks omaduseks on veel vähene energiavajadus. Info, mida edastada saab, ei saa olla küll väga keeruline, kuid elektrinäitude ehk väikse andmemahu edastamisega tuleb LoraWAN toime. [37]

Kui läbi LoraWAN-i mooduli on andmed edastatud LoraWAN-i võrgulüüsi, siis edasi saab juba andmeid edasi MQTT (MQ Telemetry Transport) protokolliga saata. MQTT on protokoll, mis on ideaalne juhaks, kui on vaja saata andmeid ühenduse minimaalset sagedusvahemikku arvestades ning kood on samuti lihtne ja väikese koormusega [38]. Serverisse edastatuna luuakse impulsside lugemist juba elektrinäitusid kujutav info, mida saab rakendusest Campulse Lite vaadata ning kasutada analüüsimiseks.

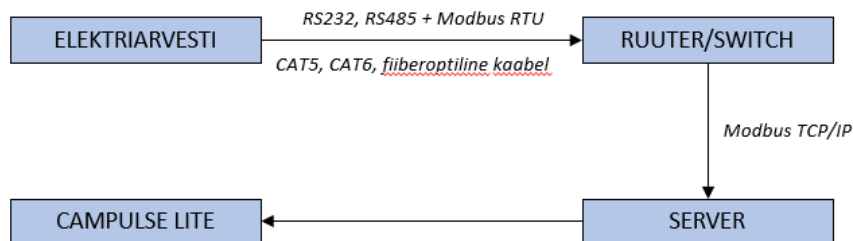


Joonis 4.1 Kaugloetavuse lahendus Tallinna Tehnikaülikoolis tänapäeval

Joonistel 4.2 ja 4.3 on kujutatud võimalikke kauglugemise lahendusi Tallinna Tehnikaülikoolis olevatele arvestitele. Kuna ülikooli linnakus on kasutusel nii M-Bus kui ka Modbus protokolle toetavad arvestid, siis tuleks arvestada, et mõlemad skeemid peavad olema rakendatavad samaaegselt, kuid on erinevatel skeemidel (joonis 4.2 ja 4.3) näidatud lihtsustamise mõttes. Joonistel 4.2 ja 4.3 on kuvatud vaid ühte elektriarvestit, kuid joonisele oleks võimalik elektriarvesteid lisada veelgi, kui on kasutusel füüsilise kihi standard, mis võimaldab ülem/alam või klient/server mudelit ehk siis vastavalt mudelile mitmeid alamaid või servereid. Elektriarvesti käitub alamseadmena antud skeemis. Mitu aadressi või serverit saab kasutada, on paika pandud protokollide spetsifikatsioonides.

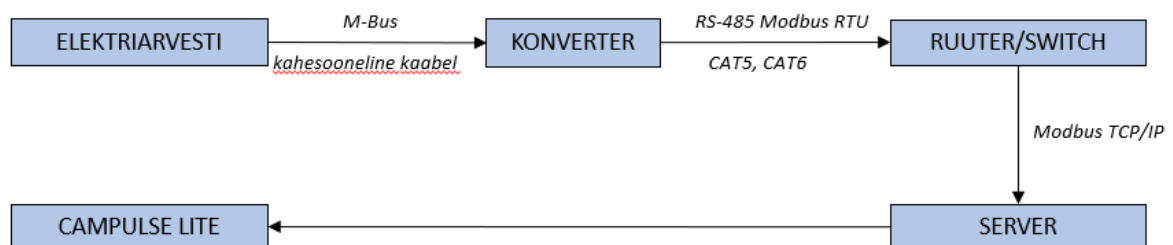
Joonisel 4.2 kasutatud lahenduse puhul edastatakse impulsside lugem andmepaketiga mööda CAT5e, CAT6 või fiiberoptilist kaablit ruuterisse. Antud töös käsitletud Landis+Gyr sidemoodulitel, mida tutvustati peatükis 4.1.2, on port RJ12 (Registered Jack 12) pistiku jaoks, millega saab kasutada CAT5e ja CAT6 kaablit. CAT5e ja CAT6 kaablitel on kaheksa soont, millest RJ12 pistikus saaks kasutada ära maksimaalselt kuus soont [39]. RS-485 juhtmestiku süsteem aga kasutab ära vaid kaks soont pooldupleks ja neli soont täisdupleks lahenduses. Fiiberoptilise kaabli kasutamise lahendus tuleks aga kallim, kuna vajab lisaks veel konverterit, millega oleks võimalik RJ12 pistik konverteerida fiiberoptilise kaabli jaoks sobivaks, ning seega eelistame reaalajas lugemise mudelis CAT5e või CAT6 kaablit. Kaablite ühendusest pelgalt ei piisa, et luua andmevahetus. Selleks, et andmeid saaks edasi kanda ühest seadmest teise, on vaja

kasutada protokolle, mis mõistaksid suhtlemisel sama infot. Joonis 4.2 puhul on kasutatud Modbus RTU protokoll. Ruuterist või *switch*-ist saab andmepaketi saata edasi Modbus TCP/IP protokoll kasutades serverini ning serveris juba andmed lahti pakkida ning kasutajaliidese Campulse Lite jaoks teha kasutatavaks.



Joonis 4.2 Kaugloetavuse võimalik lahendus RS-485 Modbus protokolliga TalTechis

Joonisel 4.3 kujutatud lahenduse puhul saadetakse andmepakett mööda kahesoonele kaablit kasutades M-Bus protokoll. M-Bus protokoll jaoks on enamasti vaja konverterit, millega oleks võimalik andmepakett edasi ruuterisse saata. Kuna M-Bus protokoll toetavat ruuterit on raske leida ning Modbus protokoll on üsna laialt kasutusel, siis saigi valitud konverter, mis muudab M-Bus protokoll Modbus RTU protokolliks. Joonisel 4.3 edasine lahendus on nagu joonisel 4.2 – andmepaketi võib Modbus TCP/IP protokolliga saata serverisse, kus toimub andmepaketi töötlemine.



Joonis 4.3 Kaugloetavuse võimalik lahendus M-Bus protokolliga Tallinna Tehnikaülikoolis

4.2.5 Tööprotsessi kirjeldamise kokkuvõte

Joonisel 4.1 kuvatav mudel on lahendatud kasutades mikrokontrollerit Arduino, mis on seadmena odav, kuid antud kauglugemise mudelis jääb endiselt probleemiks impulsside lugemise ebatäpsus. Väikese majandusliku kuluga süsteem aga ei õigusta antud juhul ebatäpsust. Sellepärast on vaja vaadata võimalust saata andmeid edasi andmesideprotokolle kasutades nagu seda on tehtud joonistel 4.2 ja 4.3. Joonisel 4.2 on kasutatud laialt levinud Modbus protokolle, mis teevad lihtsamaks ruuteri või võrgulüüsi valimise. Joonisel 4.3 on kasutatud aga ka M-Bus protokoll, mis ei pruugi sobida kõikide võrgulüüsidega ning seega vajab konvertereid või M-Bus protokoll toetavat võrgulüüsi. Kuna ülikoolis on arvestid, mis andmesideprotokollidena saavad

kasutada nii M-Bus kui Modbus protokolle, siis variantideks olekski kasutada võrgulüüsi, mis toetab mõlemat protokollit või konverterit M-Bus protokollist Modbus protokolliks.

5 TASUVUSARVUTUS

Jooniste 4.2 ja 4.3 skeemide põhjal saab ka ligikaudu arvutada, kui kulukad võiksid antud lahenduses olevad seadmed ja materjalid kokku olla. Joonisel 4.2 on kasutatud ainult kaableid ja pistikuid materjali kuluartiklitena. Kaablitest jäetakse välja tasuvusarvutuses fiiberoptiline kaabel, millest sai eelmises peatükis 4.2.5 mainitud kui lahendust, mis tekitab eraldi konverteerite vajaduse tagajärjel lisakulutust.

Tabelis 5.1 on välja toodud kulud, mis kaasnevad joonisel 4.2 kujutatud lahendust. CAT5e kaabel maksab 0,21 eurot meeter [40] ning CAT6 kaabel maksab 0,30 eurot meeter [41]. Kuna CAT5e kaabel on odavam ning ka võimaldab andmete saatmist kaugemale, siis on kasutatud just CAT5e kaablit tasuvusarvutuses. Kuludesse on arvestatud ka ruuter või *switch*.

Tabel 5.1 Modbus mudelist tulenevad kulud

Materjal	EUR 200.00
Töökulu (4 h)	EUR 140.00
Switch või ruuter	EUR 150.00
Summa	EUR 490.00

Joonis 4.3 lahenduse osas tuleb teha lisakulutust, et konverteerida M-Bus protokollist Modbus protokoll. Tabelis 5.2 on näidatud joonisel 4.3 projekteeritud mudeli kulud. Vajame telefonikaablit, mis M-Bus protokolliga kohaselt peaks olema kahesooneiline kaabel. M-Bus dokumentatsioon soovib kaabliks kasutada JYStY N 0.8 mm [42], mis on leitav veebipoest 100-meetrise rullina [43].

Tabel 5.2 M-Bus mudelist tulenevad kulud

Materjal	EUR 300.00
Töökulu (8 h)	EUR 280.00
M-Bus konverter	EUR 155.00
Summa	EUR 735.00

Lõplik kulu oleneb suuresti seadmete kogusest ning kaablite pikkustest. Materjali kulude alla on arvestatud ka kaablite kinnitused ja kaablitorud, kui peaks tekkima nende järele vajadus. Mõlema lahenduse kulu on arvutatud varuga. Samuti on mõlema arvutuse puhul tabelites 5.1 ja 5.2 arvestatud tööjõukuludega.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureuse töö eesmärgiks oli analüüsida elektriarvesteid, kirjeldada elektriarvestite spetsifikatsioone ning avada erinevate andmesideprotokollide ja standardite sobivust arvestades kaasajastamist ning kulutusi, mis automatiseerimisega kaasnevad, või mille arvelt oleks võimalik kokku hoida.

Elektrinäitude kauglugemist on võimalik teostada väga mitmeid erinevaid lahendusi kasutades. Oluline on teada, kui suurte kiirustega, kui kaugele ning mitut seadet soovitakse samal ajal ühte süsteemi ühendada. Kindlasti tuleb tähelepanu pöörata ka sellele, et iga lahendus on erineva majandusliku kuluga. Konkreetse mudeli kokkupanekul sõltub majanduslik kulu ka sellest, kui kaugele soovitakse elektriarvestit ruuterist või võrgulüüsisist paigaldada. Ühtlasi oleks soovituslik omada samade andmesideprotokollidega elektriarvesteid, millega saab vältida erinevate protokollide konverteerimist - sellega võib kaasneda märgatav lisakulu.

Esmalt tuli otsustada, millised võiksid olla nõuded elektriarvestile, mida võiks esile tõsta. Elektriarvesti peab mõõtma tarbimist võimalikult täpselt ja omama andmeside lahendusi, mis annavad väikeste lisakuludega usaldusväärse tulemi. Hetkel kasutusel olev impulsside lugemise süsteem tekitab lisatööd ja ümberarvutamist – impulsside lugem on ebatäpne. Ebatäpsus on aga omadus, mida iga süsteem peaks vältima. Tänapäeval kasutusel olev süsteem tekitab näituses nihet ning tulemus on ebausaldusväärne. Võimalusel tuleks kasutada andmesideprotokolle impulssväljundi asemel ning sellest tuleneks ka suurem täpsus ja kiirem andmete edastus.

Uue mudeli projekteerimise käigus tuli ületada erinevaid takistusi, mis eelkõige puudutasid protokollide sobitamist ja kaablite valikut. Probleeme tekitas esialgu ka elektriarvestite juhendite leidmine.

Antud töös projekteeritud uued mudelid on teoreetilised ning ei ole praktiliselt autori poolt katsetatud. Töö autorina soovitan kasutada RS-485 Modbus RTU mudelit või M-Bus mudelit, mis võimaldab kiiremini, täpsemate andmetega ning ühtlasi ka rohkem andmeid saata. Tulevikus, kui mudeli turvalisuse osas on elektrimüüja ning Tallinna Tehnikaülikool jõudnud kokkuleppele, siis võiks antud lahendust rakendada. Kindlasti on võimalik ka teha täiendavat uurimistööd, kas on turul soodsamaid lahendusi konverterite ja kaablite ning pistikute osas, kui seda antud töös näidati.

SUMMARY

The aim of this thesis was to analyse energy meters, to describe the specifications of the energy meters and to compare different data communication protocols and standards considering the modernization and the cost aspect, which comes along with the automation and which leads to saving from expenses.

It is possible to solve the remote reading of the energy meters in different ways. It is important to know how fast the connection must be, how long is the needed distance and how many devices are connected simultaneously in the same system. It is also important to take notice of the fact that every solution design has different costs. In designing of a certain model, the cost is affected by how far from the router or from the gateway is the energy meter. It is also recommended to use energy meters that have the same data communication protocols as it makes it easier to avoid extra costs from converting the protocols – the difference might be significant.

The first task was to acknowledge requirements for the energy meter that should be highlighted. The energy meter must measure the consumption as accurately as possible and have data communication possibilities that would give the best outcome with the smallest extra costs. The model that is being used at the moment is causing extra work and recalculations – the pulse output is inaccurate. The inaccuracy is something that every system should avoid. The system used currently causes readings to be shifted and the result is unreliable. If there is an opportunity to avoid using pulse output, data protocols should be used, because the accuracy is better and the data transmits faster.

During the design phase of the new model there were different problems that needed to be solved, which were mostly caused by the conversion of the different protocols and by selecting which cable to use. At first it was not the easiest task to find the correct manuals for the energy meters as well.

In this thesis the designed models are theoretical and have not been implemented by the author of this thesis. As the author of this thesis I would recommend to use RS-485 Modbus RTU or M-Bus model solution as it has faster data communication, gives more reliable results and is able to transfer higher data volumes. If the electricity provider and Tallinn University of Technology will reach to an agreement in the future, it would be possible to implement this solution design. Most certainly, it would need more research if there would be cheaper alternatives on the prices of the converters, cables and jacks.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Smart Energy International, „The history of the electricity meter“. 28 06 2006 [Võrgumaterjal]. <https://www.smart-energy.com/features-analysis/the-history-of-the-electricity-meter/> (6.12.2020)
- [2] CEN, „What is a Standard“. [Võrgumaterjal]. <https://www.cen.eu/work/endeu/whatisen/pages/default.aspx> (13.12.2020)
- [3] TechTerms, „Protocol“. 29 03 2019 [Võrgumaterjal]. <https://techterms.com/definition/protocol> (13.12.2020)
- [4] ElectronicsTutorials, „Hall Effect Sensor“. [Võrgumaterjal]. <https://www.electronicstutorials.ws/electromagnetism/hall-effect.html> (13.12.2020)
- [5] „Ainekursus Elektripaigaldised“ / Raivo Teemets, Õppematerjal, Tallinna Tehnikaülikooli elektriagamite ja jõuelektronika instituut, Tallinn, 2011. [Võrgumaterjal]. <http://egdk.ttu.ee/files/2011/Elektripaigaldised.pdf> (7.12.2020)
- [6] Saia Burgess Controls „Application instructions energy meter“. 08 2014 [Võrgumaterjal]. https://sbc-support.com/uploads/tx_srcproducts/Applicationnote_S0puls_output_EN_V1.1_01.pdf (13.12.2020)
- [7] Landis+Gyr, E650 Series 3 User Manual. 26 09 2012 [Võrgumaterjal]. https://www.prodemel.es/manuales/LANDIS_GYR_ZMD_INTERNACIONAL-manual_de_usuario.pdf (7.12.2020)
- [8] Electricity Meters IEC/MID, Industrial and Commercial, SMA400AT/CT, SFA400AT/CT, S650 Series 3 User Manual [Juhend PDF]
- [9] Alogdue Elettronica Srl, Alogdue Electronica UEC1P5 UEM1P5 user manual [Juhend paberil]
- [10] ACE3000, „ACE3000 Typ 260“. [Võrgumaterjal] <https://www.photovoltaikforum.com/core/attachment/57831-ace3000-typ260-benutzerhandbuch-pdf/> (7.12.2020)
- [11] Iskra, „MD300 and MT300 Technical Description“. 20 11 2000 [Võrgumaterjal]. <http://universalmeterservices.co.uk/images/300.pdf> (7.12.2020)
- [12] technopedia, „RS-485“. [Võrgumaterjal]. <https://www.techopedia.com/definition/3664/rs-485> (12.12.2020)
- [13] Landis+Gyr, „CU-U52 E65C Technische Daten“. 22 08 2014 [Võrgumaterjal]. <https://docplayer.org/17168659-E65c-cu-u52-kommunikationseinheiten-unterstuetzen-eine-gsm-umts-kommunikation-zwischen-e650-und-e850-zaehlern-und-dem-zaehlerfernauslesesystem.html> (9.12.2020)
- [14] Landis+Gyr, „CU-P30, P31, P32 Technical Data“. [Võrgumaterjal]. http://neparu.com/Landys+Gyr_files/cu_zxd/11_web_cu-p3x_tech_data_en.pdf (9.12.2020)
- [15] Landis+Gyr, „CU-P40, P41, P42 E65C User Manual“. 15 03 2012 [Võrgumaterjal]. https://www.prodemel.es/manuales/LANDIS_GYR_CU-P4X-manual-de-usuario.pdf (9.12.2020)
- [16] IEC Webstore, „IEC 62053-21:2020“ 17 06 2020 [Võrgumaterjal]. <https://webstore.iec.ch/publication/28660> (8.12.2020)
- [17] Schneider Electric, „What is the MID [Measuring Instruments Directive]?“. 07 07 2020 [Võrgumaterjal]. <https://www.se.com/ww/en/faqs/FA274619/> (13.12.2020)
- [18] IPC2U, „The main differences between RS-232, RS-422 and RS-485“. [Võrgumaterjal]. <https://ipc2u.com/articles/knowledge-base/the-main-differences-between-rs-232-rs-422-and-rs-485/> (7.12.2020)
- [19] M-Bus, „The Standard for Remote Reading of Smart Meters“. [Võrgumaterjal]. <https://m-bus.com/> (7.12.2020)
- [20] Olga Weis „Modbus vs RS485“. 28 11 2019 [Võrgumaterjal]. <https://www.virtual-serial-port.org/articles/modbus-vs-rs485/> (7.12.2020)

- [21] the Extension, „Introduction to Modbus Serial and Modbus TCP”. 2008 [Võrgumaterjal]. <https://www.ccontrols.com/pdf/Extv9n5.pdf> (7.12.2020)
- [22] tutorialspoint, „What is IEEE 802.3?”. [Võrgumaterjal]. <https://www.tutorialspoint.com/what-is-ieee-802-3> (7.12.2020)
- [23] IEEE, „IEEE – History of IEEE. [Võrgumaterjal]. <https://www.ieee.org/about/ieee-history.html> (12.12.2020)
- [24] A-Kaabel, „KEERDPAARKAABLIS”. [Võrgumaterjal]. <https://www.akaabel.ee/projekteerimine/keerdpaarkaablist/> (7.12.2020)
- [25] Irina Kuzina, „Valguskiirusega internetiühendus“. 07 03 2018 [Võrgumaterjal]. <https://digitark.ee/valguskiirusega-internetiuhendus/> (7.12.2020)
- [26] GeeksforGeeks, „Difference between Simplex, Half duplex and Full Duplex Transmission Modes”. 21 05 2020 [Võrgumaterjal]. <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-simplex-half-duplex-and-full-duplex-transmission-modes/> (7.12.2020)
- [27] OPT700, „Serial to Fiber Optics Converter OPT700”. [Võrgumaterjal]. <https://modbus.org/images/devices/SmarOpticsConverterSpec.pdf> (7.12.2020)
- [28] Control Solutions Minnesota, „Modbus 101 – Introduction to Modbus”. [Võrgumaterjal]. https://www.csimn.com/CSI_pages/Modbus101.html (7.12.2020)
- [29] SunSpec Alliance, „Security Recommendations”. 19 06 2013 [Võrgumaterjal]. <https://sunspec.org/wp-content/uploads/2015/06/SunSpec-Best-Practice-Guide-Security-Recommendations-A42025-1.1.pdf> (7.12.2020)
- [30] OMS, „Open Metering System Technical Report 02 Wired M-Bus”. 04 09 2019 [Võrgumaterjal]. https://oms-group.org/fileadmin/files/download4all/technical_reports/OMS-TR02_Wired_M-Bus_v2.0.2.pdf (7.12.2020)
- [31] Study Tonight, „The OSI Model – Features, Principles and Layers”. [Võrgumaterjal]. <https://www.studytonight.com/computer-networks/complete-osi-model> (10.12.2020)
- [32] CommFront, „RS232 / RS485 / RS422 / Serial to fiber optic converters”. [Võrgumaterjal]. <https://www.commfront.com/collections/rs232-rs485-rs422-serial-to-fiber-optic-converters> (10.12.2020)
- [33] Tarluz, „Complete Comparison Table of CAT5, CAT5e, CAT6, CAT6e, CAT7 and CAT Copper Cable”. [Võrgumaterjal]. <http://www.tarluz.com/copper-network/complete-comparison-table-of-cat5-cat5e-cat6-cat6a-cat7-and-cat8-copper-cable/> (7.12.2020)
- [34] Sheldon, „Fiber Optic Cable vs Twisted Pair Cable vs Coaxial Cable”. [Võrgumaterjal]. <https://community.fs.com/blog/the-difference-between-fiber-optic-cable-twisted-pair-and-cable.html> (7.12.2020)
- [35] Dinesh Thakur, „What is Duplex? Half-Duplex and Full-Duplex”. [Võrgumaterjal]. <https://ecomputernotes.com/computernetworkingnotes/switching/duplex> (7.12.2020)
- [36] Arduino, „What is Arduino?”. [Võrgumaterjal]. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (7.12.2020)
- [37] Actility, „LoRaWAN : global standard for Low Power Wide Area IoT networks”. [Võrgumaterjal]. <https://www.actility.com/what-is-lorawan/> (7.12.2020)
- [38] MQTT, „MQTT: The Standard for IoT Messaging”. [Võrgumaterjal]. <https://mqtt.org/> (7.12.2020)
- [39] DifferenceBetween.net, „Difference between RJ11 and RJ12”. [Võrgumaterjal]. <http://www.differencebetween.net/technology/difference-between-rj11-and-rj12/> (17.12.2020)
- [40] YEinternational, „Keerdpaarkaabel Cat5e UTP 4x2x0,46 ühekiuline 25AWG sisetingimustele 305m/kast”. [Võrgumaterjal]. <https://www.yeint.ee/elektroonika-1/kaablid-ja-tarvikud/arvutivorgu-kaablid-1/keerdpaarkaabel-cat5e-utp-4x2x046-uehekiuline-25awg-sisetingimustele-305mkast> (7.12.2020)

- [41] YEinternational, „Keerdpaarkaabel Cat6 UTP 4x2x0,5 ühekiuline 24AWG sisetingimustele 305m/kast”. [Võrgumaterjal]. <https://www.yeint.ee/elektroonika-1/kaablid-ja-tarvikud/arvutivorgu-kaablid-1/keerdpaarkaabel-cat6-utp-4x2x05-uhekiuline-24awg-sisetingimustele-305mkast> (7.12.2020)
- [42] Wired M-Bus Specification, „Physical Layer”. [Võrgumaterjal]. <https://m-bus.com/documentation-wired/04-physical-layer> (17.12.2020)
- [43] elektrotools, „Signal-/telecommunications cable 0.8 mm 4 JY(ST)Y 2x2x0.8 Ri.100” [Võrgumaterjal]. <http://en.elektrotools.de/Product/Signal/telecommunications-cable-0-8-mm-4-JY-ST-Y-2x2x0-8-Ri-100> (17.12.2020)