



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND

TTÜ Tartu kolledž

PUIESTEE 80A PEATREPIKOJA VALGUSTUSE  
AUTOMAATSE LÜLITAMISE KAVANDAMINE

PLANNING AUTOMATIC LIGHTING SYSTEM FOR PUIESTEE 80A MAIN  
STAIRCASE

RAKENDUSKÕRGHARIDUSEÕPPE LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Henri Lumiste

Üliõpilaskood: 154339NDFR

Juhendaja: Taavi Kase, insener

Tartu 2019

## 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 /

**TTÜ Tartu kolledž**

**LÕPUTÖÖ ÜLESANNE**

**Üliõpilane:** Henri Lumiste, 154339NDFR

**Õppekava, peeriala:** NDFR14/15 – Küberfüüsikaline süsteemitehnika

**Juhendaja(d):** Insener, Taavi Kase, 620 4807

**Lõputöö teema:**

Puiestee 80A peatrepikoja valgustuse automaatse lülitamise kavandamine

Planning automatic lighting system for Puiestee 80A main staircase

**Lõputöö põhieesmärgid:**

1. Luminifoor- ja LED-torude võrdlus ning ülevaade liikumisanduritest
2. Puiestee 80A hoone peatrepikoja liikumismustri leidmine
3. Juhtimisautomaatika kavandamine Puiestee 80A hoone peatrepikojale

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tutvumine kirjandusega	20.03
2.	Luminifoortourde välja vahetamine LED-torude vastu ja mõõtmiste läbi viimine	01.05
3.	Valgustuse automaatse lülitamise väljatöötamine ning saadud andmete analüüs	08.05

**Töö keel:** eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:**

27.05.2019

**Üliõpilane:** Henri Lumiste

.....

“.....”.....201....a

/allkiri/

**Juhendaja:** Taavi Kase

.....

“.....”.....201....a

/allkiri/

# SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	5
1. SISSEJUHATUS .....	6
2. LUMINOFOOR- ja LED-VALGUSTID .....	8
2.1 Luminofoorvalgustid .....	8
2.2 LED ja LED-valgustid .....	8
2.3 LED- ja luminofoortorude võrdlus .....	9
3. VALGUSTUSE AUTOMAATJUHTIMISSÜSTEEM .....	11
3.1 Kasutatavad andurid .....	11
3.1.1 Passiivsed infrapunaandurid (PIR).....	11
3.1.2 Ultraheliandurid .....	11
3.1.3 Akustilised andurid.....	12
3.1.4 Mikrolaineandurid.....	12
3.1.5 Videokaamerad .....	13
3.1.6 Kahe tehnoloogiaga andurid .....	13
3.1.7 Magnetkontakt ukseandurid .....	13
3.1.8 Kokkuvõtte erinevates anduritest .....	14
4. TREPIKOJA VALGUSNÕUDED.....	15
5. METOODIKA JA VALIMI KIRJELDUS .....	16
5.1 Trepikoja valgustorude vahetus ning valgustiheduse mõõtmine .....	16
5.2 Liikumise tuvastamine trepikojas.....	20
5.3 Juhtimisautomaatika teoreetiline lahendus .....	23
5.4 Elektrienergia kokkuhoid.....	25
6. KOKKUVÕTE.....	32
7. SUMMARY .....	34
8. KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	36
LISAD .....	38
Lisa 1 Luminofoor- ning LED-torude elektriskeemid .....	39
Lisa 2 Kasutatud luksmeeter .....	40
Lisa 3 Tunniplaani alusel tehtavad automaatsed lülitused .....	41

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

<b>ATS</b>	-automaatne tulekahjusignalisatsioon
<b>GaInN</b>	-gallium-indiumnitriid (ingl k <i>gallium indium nitride</i> )
<b>LED</b>	-valgusdiod (ingl k <i>Light-Emitting Diode</i> )
<b>Lx</b>	-valgustiheduse ühik, luks
<b>R<sub>a</sub></b>	-värviesituse üldindeks
<b>UGR</b>	-räigustegur (ingl k <i>Unified Glare Rating</i> )
<b>YAG:Ce</b>	-ütrium-alumiinium-granaatl (ingl k <i>yttrium-aluminium garnet</i> )

# 1. SISSEJUHATUS

Automatiseerimine on viimastel aastakümnetel olnud aktuaalne teema. Olgu tegu autode, hoonete, tootmise või inimeste argipäeva toimetuste automatiseerimisega, selle kõige eesmärgiks on vähendada või täielikult elimineerida inimeste roll nendest tegevustest. Kiire tehnoloogia areng on pakkunud palju uusi lahendusi, mis aitavad kaasa hooneautomaatika loomisele.

Käesoleva töö eesmärgiks on kavandada valgustuse automaatne lülitamine Puiestee 80A hoone peatrepikojas ning analüüsida sellega kaasnevaid tulemusi. Põhjuseid, miks antud teema valiti on mitmeid. Hetkel trepikojas olev lahendus eeldab seda, et hommikul A-hoone välisukse avav isik lülitab trepikoja valgustuse sisse ja õhtul lülitab viimane majast lahkuv isik valgustuse välja. Sellisel juhul võib aga juhtuda, et valgusteid ei lülitata hommikul sisse, mille tõttu pole trepikojas piisav valgustihedus. Inimesed, kes liiguvad pimedas trepikojas võivad seetõttu ennast vigastada või sattuda ebameeldivasse olukorda. Samuti võivad valgustid ka õhtul sisselülitatuks jääda, mis põhjustab mõttetut elektrivoolu tarbe.

Töö teoreetilises osas on välja toodud luminofoorvalgustite, LED-ide ja LED-valgustite omadusi. Uuritud on ka olemasolevaid võrdluseid LED- ja luminofoortorude vahel. Samuti leiab teoreetilisest osast informatsiooni valgustuse automaatjuhtimissüsteemi kohta ning tuuakse välja ülevaade mitmetest võimalikest anduritest, mida on võimalik kasutada valgustuse automaatjuhtimissüsteemis. Kogu töö vältel on järgitud sisetöökohtade valgustuse standardit kui ka Eesti Vabariigi poolt kehtestatud määrust „Töökohale esitatavad töötervishoiu ja tööohutuse nõuded“.

Võrreldes praeguse olukorraga annab igasugune valgustuse automaatne lülitamine trepikojas toimuvast liikumisest lähtuvalt kindlasti juba märgatavat kokkuhoidu. Kirjanduse andmetel tagab kokkuhoiu ka valgustites luminofoortorude vahetamine LED-torude vastu. Luminofoortorude sagedane sisse- ja väljalülitamine vähendab oluliselt nende eluiga ning valgustites olevad ballastid kipuvad üle kuumenema. Valgustuse lülitamise automatiseerimisel on üleminek LED torudele vältimatu.

Antud töö keskendub kavandamistöele, mille käigus viiakse läbi järgnevad tegevused:

- vahetatakse välja peatrepikojas olevad luminofoortorud LED-torude vastu;
- viiakse läbi võrdlus luminofoortorude ja LED-torude elektrienergia tarbe kohta;
- analüüsitakse olemasolevaid liikumist tuvastavaid andureid;

- valitakse välja antud trepikojale sobivad andurid;
- planeeritakse komponentide paigutuse asukohad;
- pakutakse välja juhtimisautomaatika teoreetiline lahendus;
- antakse hinnang oodatavale elektrienergia kokkuhoiule.

## **2. LUMINOFOOR- JA LED-VALGUSTID**

### **2.1 Luminofoorvalgustid**

Luminofoorvalgustid võeti kasutusele 1940. aastatel ja need kogusid koheselt populaarsust. 1970. aastaks olid luminofoorvalgusti torud ühed enimlevinumad kunstliku valguse allikad. Need on nüüdseks kasutusel ülemaailmselt, eriti tööstusliku ja kaubandusliku valgustusena. Luminofoorvalgustuse tõhusus, hea valgusviljakus, lai valguse värvivalik ja valgustite väga pikk eluiga on põhjusteks, miks sellised lambid on ideaalsed valgusallikad. [1] Luminofoorvalgustite eeldatav tööiga on 5 000 – 10 000 tundi [2]. Hinnanguliselt 80% maailma tehisvalgusest on luminofoorne [1]. Hoones Puiestee 80A on kasutusel peamiselt luminofoorvalgustid. Seda-sorti valgustid olid kasutusel ka Puiestee 80A peatrepikoja valgustamiseks. Luminofoorvalgustoru on madalrõhu-gaaslahenduselamp, mis kasutab elektrienergiat, et ergastada elavhõbeda auru. Ergastatud elavhõbeda aatomid kiirgavad ultraviolettkiirgust. Selle tulemusena tekib luminofoorvalgustorudes kaheastmeline indutseeritud kiirgus ehk luminesents, mis omakorda toodab nähtava valguse. [3] Ülejäänud energia, mis sisestatakse, hajutatakse soojuseks [1].

### **2.2 LED ja LED-valgustid**

Praegusel hetkel 80% kasutusel olevatest LED-idest on valged LED-id. Esimene valge LED ehk valgusdiode saabus müüki 1996. aasta lõpul. See valgusdiode baseerus GaInN sinisel LED pooljuhtkiibil ja YAG:Ce luminofooril, mis on väga tõhus luminofoor. Nimetatud luminofoor kiirgab sinise valgusega ergastamisel kollast valgust. [2]

Suure jõudlusega valgusdioidid on võimelised saavutama peaaegu 100% elektro-optilise muundamise ja see on põhjuseks, miks valgusdiode kasutatakse elektrienergia muundamisel valguseks. LED-ide eeldatav tööiga on 20 000 – 100 000 tundi, seda pideva kasutuse juures ja on seega väga töökindlad võrreldes teiste valgusallikatega. [2]

Torukujulises valgustustorus on valgusdioidid reastatud sirgjooneliselt. Toru soklis on kahe kontaktiga ühendus, mis ühildub standardsete luminofoorvalgusti lambihoidikutega. LED-



valgustorudel on suundvalgusallikad, mis kiirgavad valgust valgustikorpusel poolkaarekujuliselt, erinevalt luminofoorvalgustorudest, mis kiirgavad valgust ringsuunaliselt. LED-valgustite tootjad väidavad, et nende toodete fookusesse on seatud energia kokkuhoid, pikk eluiga, hoolduste vähendamine ja elavhõbeda mittekasutamine. Tootjad väidavad ka tihti, et LED valgustid on üldiselt võrdväärseid luminofoorvalgustitega. [4]

## 2.3 LED- ja luminofoortorude võrdlus

Üha rohkem on turule tulnud LED-tehnoloogial töötavaid valgustorusid. Sellistel valgustitel on head omadused nagu pikk eluiga, hämardatavus, peaaegu piiramatu lülitamiste arv, paindlik ehitus ehk LED-e on võimalik paigutada erineva kujuga lampidesse, kõrge valgusviljakus, kompaktsus ja väike elektrikadu. Teoorias, tänapäeval kasutusel olevad LED-idel baseeruvad valgustid, on traditsioonilistest luminofoorvalgustitest efektiivsemad ja parema valgustamise kvaliteediga. [5]

LED-valgustite eeldatav eluiga on kuni 10 korda pikem, kui luminofoorvalgustitel [2]. LED-valgustite peaaegu piiramatu sisse- ja väljalülitamine on ideaalne, kui eesmärgiks on automaatne valgustuse lülitamine.

Mitmed suurturustajad soovivad asendada luminofoortorud LED-valgustorudega, kuid nende väljavahetamine ei pruugi olla põhjendatud. Peamiselt keskendutakse ainult potentsiaalsele energia säästmisele ja LED-i pikemale elueale. Tihti ei võeta võrdlemisel arvesse valgustamise kvaliteeti. [5]

LED- ja luminofoorvalgustite võrdluseks on läbi viidud mitmeid uuringuid. Näiteks Belgias läbiviidud uuringus hinnati sirge LED-valgustoru ja luminofoorvalgustoru erinevusi. Uuringu meetodika kohaselt soetati 12 LED-valgustoru. Need LED-valgustorud olid asendusvalgustorud olemasolevatele standardsetele luminofoorvalgustorudele. Pärast valgustorude, nende mõeldud starterite vahetust ja LED-valgustorude stabiliseerumist, mõõdeti kõik olulised optilised ja elektrilised parameetrid. Belgias läbiviidud uuring tõi välja, et üks-ühene valgustite väljavahetamine ei andnud piisavalt head tulemust valgustuse kvaliteedis ja tööruumi pindade valgustatuses. Selleks, et saavutada LED-valgustorudega luminofoorvalgustorudega saadud valgustugevus, oleks tarvis

paigaldada lisa-LED-valgustorusid, mis aga vähendaks potentsiaalselt energiasäästlikust. Lisaks sellele, valgusti, mis oli asendatud LED-valgustoruga, andis oluliselt erineva valgustugevuse jaotuse, sest LED-valgustorud on suunatud valgusallikaga, mistõttu kiiratud valgus langeb poolkerakujuliselt. Uuring nendib, et tarbija, kellel on soov vahetada välja olemasolevad luminofoorvalgustorud, peab olema teadlik LED-asendusvalgustite omadustest ja nende mõjust valgustuse kvaliteedile ja pindade valgustatusele. [5]

### **3. VALGUSTUSE AUTOMAATJUHTIMISSÜSTEEM**

Valgustus on suur osa hoone energiatarbest. Valgustuse energiatarve moodustab USA kommertshoonetes ligi kolmandiku energiatarbest ja ligikaudu 20-40% suurte kontorihoonete energiatarbest Hiinas. Valgustuse automaatjuhtimissüsteemide ideeks on vähendada energiatarvet hoones ja pakkuda piisavalt valgustust hoones olevatele inimestele. [6]

Liikumise tuvastamisega on tegeletud juba pikka aega, kuid suurimaks väljakutseks on valida õiged seadmed või andurid, millega liikumise tuvastamist teostada. Kaamerate kasutamine annab täpseid tulemusi, kuid tekitab privaatsusega seotud probleeme ning seega on vaja leida alternatiivseid lahendusi. Teadlased on andnud endast parima, et pakkuda välja erinevaid meetodeid inimeste liikumise tuvastamiseks. [7]

#### **3.1 Kasutatavad andurid**

##### **3.1.1 Passiivsed infrapunaandurid (PIR)**

Püroelektrilised tajurid on üheks põhikomponendiks, mida kasutatakse passiivsetes infrapunaandurites. Sellised andurid reageerivad temperatuuri muutumisele anduri vaateväljas. Andur ei kiirga energiat, kuid mõõdab anduri keskkonnas olevatelt objektidelt eralduvat infrapunakiirgust. Seega on tegemist passiivse anduriga. Anduri paigutus ja tema optilise süsteemi ehitus määravad tuvastusala. Enamik passiivsed infrapunaandurid on võimelised märkama täispikkuses inimkeha liikumist vaateväljas kuni 12-meetrise raadiusega. Väiksemaid liigutusi nagu näiteks käega viipamine suudavad sellised andurid märgata kuni 4,5 meetri kauguselt. Kui liikuva isiku ja anduri vahele jääb näiteks metallpost või mõni muu takistus, siis liikumist ei tuvastata. [8]

##### **3.1.2 Ultraheliandurid**

Ultrahelitehnoloogial põhinevaid andureid võib samuti leida kommertsehitistes või -hoonetes. Erinevalt passiivsetele infrapunaanduritele on ultraheliandurid aktiivsed seadmed, sest need kiirgavad ultraheli helilaineid ning võtavad vastu tagasipeegelduvat heli. Helilainete lainepikkused muutuvad, kui need peegelduvad liikuvalt objektilt tagasi andurile. Sellist nähtust kirjeldab Doppleri

efekt. Anduris mõõdetakse tagasipeegeldunud laine lainepikkuse muutust. Ultrahelianduri põhilisteks komponentideks on ultraheli saatja ning ultraheli vastuvõtja. Liikumist tuvastatakse lainepikkuse muutumise järgi. Vastupidiselt passiivsetele infrapunaanduritele suudavad ultraheliandurid tuvastada liikumist ka siis, kui anduri ja objekti vahel on mingit sorti takistus, sest ultrahelilained on võimelised peegelduma ruumis olevate pindadelt. Tänu sellele saavad ultrahelilained levida üle kogu ruumi. Seetõttu on levinud arvamus, et ultraheliandurid on passiivsetest infrapunaanduritest efektiivsemad, kui ruumis on palju takistusi või kui ruum on ebakorrapärase kujuga. Ultraheliandurite nõrkuseks on aga nende liigne tundlikus, mille pärast on ultraheliandurid tõenäolisemad andma valerakendumisi ehk registreeritakse liikumisi, mis ei ole seotud antud ruumis olevate isikutega või registreeritakse liikumist kõrvalruumides. [8]

### **3.1.3 Akustilised andurid**

Akustilised andurid kuuluvad kõiki ruumis olevaid helisid, kasutades mikrofoni, et registreerida ruumis olevat hõivatust. Akustilised andurid on passiivsed andurid, sest need ei kiirga ühtegi signaali ning need andurid reageerivad muutustele ruumi helipildis. Akustilised andurid leiavad kasutust rohkem tööstuslikes ehitistes, sest sellised andurid reageerivad kõikidele helidele, mida ruumides ja ka kõrvalruumides kostuda võib ning on seetõttu väga tõenäolised andma valerakendumisi. [8] Puiestee 80A hoone peatrepikojas tekitab probleeme ka hoone kõrval asuv suure liikluskoormusega tänav, kust kostub palju tänavamüra.

### **3.1.4 Mikrolaineandurid**

Mikrolaineandurid on sarnased ultrahelianduritele selle poolest, et need kiirgavad signaali ja mõõdavad muutuseid tagasipeegelduvate signaalide sagedustes. Signaali sagedus, mida mikrolaineandur kiirgab on 10 GHz. Mikrolaineandureid kasutatakse peamiselt suurtes avalikes ruumides, kus on palju liikumist, nagu näiteks koridorid või spordisaalid. Nende andurite tuvastusmuster on enamasti piklik ning nende tuvastusala ulatub kuni 60 meetrini. Mikrolaineandureid kasutatakse näiteks uste automaatseks avamiseks kui ka sõidukite tuvastamiseks. Saates välja mikrolaine raadioenergiat väikeste impulssidena ja oodates tagasipeegelduvaid laineid, saab liikumist tuvastada Doppleri efektiga. Mikrolaineandurid on võimelised tuvastama liikumist läbi mittemetalsete materjalide nagu näiteks plastiku, klaasi ja isegi kiviseina. Küll aga on mikrolaineandurite kasutamine liikumise tuvastamiseks kehv, sest need on väga tundlikud andurid ja annavad seetõttu kergelt valerakendumisi. [8]

### **3.1.5 Videokaamerad**

Videokaamerate kasutamine on levinud meetod liikumise tuvastamiseks ja seda kasutatakse eelkõige turvasüsteemides. Videopilt on jälgitav inimeste poolt või siis analüüsitav arvutitarkvaraga. Videokaamerad on väga töökindlad ja täpsed, et tuvastada ruumis liikumist ning lisaks sellele saab välja selgitada inimeste arvu ja neid identifitseerida. Valgustuse lülitamiseks pole identifitseerimine vajalik ja videokaameratelt saadav liigne detailsus võib tekitada ruumis olevatel inimestel ebameeldivust [8]. Videokaamerate paigaldus võib olla keeruline ning juurde tuleks soetada ka pildituvastustarkvara. Seega on videokaamerate kasutamine ainuüksi valgustuse automaatseks juhtimiseks liiga kallis ja keerukas.

### **3.1.6 Kahe tehnoloogiaga andurid**

Kahe tehnoloogiaga andurite ehk hübriidandurite puhul kombineeritakse kaks elementaarset liikumist tuvastavat tehnoloogiat ühte seadmesse, et suurendada täpsust. Enimlevinud kombinatsioonideks on passiivsed infrapunaandurid koos ultraheli tehnoloogiaga, passiivsed infrapunaandurid koos mikrolainetel põhineva tehnoloogiaga ning passiivsed infrapunaandurid koos akustilise tehnoloogiaga. Sellised andurid lülituvad sisse, kui andur tuvastab liikumise mõlema tehnoloogiaga või ainult passiivse infrapunaanduriga ning lülituvad välja, kui kumbki anduritest ei märka liikumist. Kahe tehnoloogiaga andurite eesmärgiks on vähendada valerakendumiste saatmist ning selle tulemusena suurendada elektrienergia säästmist. Kahe tehnoloogiaga andurid on aga tunduvalt kallimad kui ühe tehnoloogiaga andurid. [8]

### **3.1.7 Magnetkontakt ukseandurid**

Magnetkontakt ukseandureid kasutatakse ukse liikumise tuvastamiseks. Samuti saab nende anduritega jälgida, kas uks on korralikult suletud. Ukseandurid koosnevad elektrilistest ühenduspaaridest, mis paigaldatakse teineteise suhtes väikese nihkega. Magnetkontaktiga ukseandur sisaldab endas ühte magnetit, mis asub näiteks uksepiida küljes ja magnetväljale reageerivat andurit, mis asub ukse enda küljes. Kui uks avatakse, siis avaneb vooluahel. Magneti ja magnetvälja tuvastava anduri vaheline kontakt katkeb ja magnetkontakt ukseandur saadab signaali, et uks on avatud. Kuna toimub muutus vooluahelas, siis on võimalik seda muutust jälgida ja öelda, et uks on liikunud. Kui uks pannakse kinni, tõmbab magnet uksele olevad kontaktid kokku tagasi, mille tulemusena vooluahel sulgub ja andur saadab signaali, et uks on suletud. Magnetvälja tuvastav andur saab magnetvälja muutusest aru, rakendades magnetite tõmbejõudu, sest kasutatakse erinimelisi pooluseid. [9]

### **3.1.8 Kokkuvõte erinevates anduritest**

Valgustuse automaatjuhtimissüsteemides kasutatakse peamiselt siiski passiivseid infrapunaandureid, ultraheliandureid või nende kahe anduri hübriidandurit. Mikrolaine- kui ka akustilisi andureid oleks samuti võimalik kasutada, kuid seda tehakse suhtelist harva. Videokaamerad tagastavad detailsemat informatsiooni, kuid tänapäeval kasutatakse neid peamiselt turvalisuse eesmärkidel. [8]

## 4. TREPIKOJA VALGUSNÕUDED

Sisetöökohtade valgustus peab olema kooskõlas EVS-EN 12464-1 „Valgus ja valgustatus. Töökohavalgustatus“ 1. osa „Sisetöökohad“ standardiga. Samuti peab järgima määrust „Töökohale esitatavad tervishoiu ja tööohutuse nõuded“, mis kehtestatakse „Tervishoiu ja tööohutuse seaduse“ § 4 lõike 4<sup>5</sup> alusel. Määruses olev § 8. „Valgustatus“ toob välja 4 lõiku: [10]

- „Töökohad peavad olema piisavalt valgustatud. Valgustatuse projekteerimisel tuleb eelistada loomulikku päevavalgust. Kui töökoha valgustuse osas on juhitud standardi EVS-EN 12464-1 „Valgus ja valgustatus. Töökohavalgustatus“ 1. osast „Sisetöökohad“, eeldatakse, et töökoha sisevalgustuse nõuded on täidetud. Vajadusel tuleb töökoha valgustatust suurendada vastavalt töötaja eale või tervises seisundile.“
- „Valgus peab olema suunatud nii, et ei tekiks häirivaid varje ning et see ei pimestaks otse ega peegeldunult. Vältima peab heleduste suuri erinevusi töötaja liikumisel ühest ruumist või ruumiosast teise ning valgusallikast lähtuva valgusvoo varelust.“
- „Tööruumid, kus töötajad võivad sattuda tehisvalgustuse rikke korral ohtu, peavad olema varustatud piisava turvalgustusega.“
- „Kui päevavalgus ei ole piisav, peavad välitingimustes paiknevad ja liikumised olema varustatud tehisvalgustusega.“

Soovituslikud valgustustiheduse väärtused leiab standardist EVS-EN 12464-1. Trepikojad liigenduvad standardi alusel üldotstarbelisteks ruumideks ning trepikojale on standardis väljatoodud säilitatav valgustustihedus tööpiirkonnas, milleks on 150 lx. Lisaks säilitatavale valgustihedusele trepikojas, leidub standardist ka trepikodadele lubatud rägustegurid UGR, värviesituse indeksid  $R_a$  ning märkused ehk millisel kõrgusel tuleb mõõtmiseid läbi viia. [11] Käesolevas töös analüüsitakse säilitatavat valgustihedust tööpiirkonnas, mistõttu ei tooda välja standardis olevaid rägustegurite ega värviesituse indeksite väärtuseid.

## 5. METOODIKA JA VALIMI KIRJELDUS

Töö empiirilise osa eesmärgiks oli välja vahetada luminifoortorud LED-torude vastu ja kavandada juhtimisautomaatika Puiestee 80A hoone peatrepikojas. Juhtimisautomaatika abil peab olema võimalik valgust sisse ja välja lülitada vastavalt liikumisele trepikojas. Juhtimisautomaatika reaalne elluviimine ei olnud võimalik, sest trepikojavalgustus on elektrikilbis ATS keskseadme ja välisvalgustusega samas grupis. ATS keskseadmelt ei saa toidet maha võtta, mille tõttu pole võimalik teha lülitusi ainult trepikoja valgustusele. Lisaks eelnevalt mainitule, ei saa lahendust realselt välja ehitada, sest hoone kuulub TalTechi kinnisvaraosakonna pädevusse ja 2019. aasta tööplaani seda ei võeta. Tartu kolledžil kui rentnikul puudub taristu ümberehitamise õigus. Seetõttu tuuakse töös välja võimalik juhtimisautomaatika lahendus teoreetiliselt. Pakutakse välja juhtimisautomaatikaks kasutatavad andurid ning parim asukoht andurite paigalduseks trepikojas. Töö viimase tegevusena kavandatakse automaatse valgustuse lülitamise lahendus.

### 5.1 Trepikoja valgustorude vahetus ning valgustiheduse

#### mõõtmine

Trepikoja valgustite vahetamiseks mõõdeti üle eelnevalt kasutusel olevate luminifoortorude füüsilised mõõtmed ning seejärel telliti luminifoortorude mõõtmetega LED-torud. Trepikojas on kasutusel kahe erineva pikkusega valgustorud: lühemad valgustorud, mille pikkuseks on 600 mm ja pikemad valgustorud, mille pikkuseks on 1200 mm. Lühemaid valgustorusid on kasutusel kümme ja pikemaid valgustorusid on kasutusel neli. LED-torude saabumisel tekkis tõrge nende paigaldamisega. Lühemate luminifoortorude ja nende starterite asendamisel LED-torude ja LED-starteritega ei hakanud LED-torud tööle. Põhjuseks oli see, et luminifoortorud olid ühendatud jadamisi, mistõttu jäi samamoodi ühendatud LED-torude jaoks pinge liiga väikseks. Lambid oli vaja ümber ehitada, et LED-torud oleks ühendatud rööbiti, mitte jadamisi. Lampidelt eemaldati ümberehituse käigus ballastid, mis ei olnud otseselt vajalikud LED-torude töötamiseks. Lisas 1 on välja toodud luminifoor- ning LED-torude elektriskeemid. Pikemate valgustorudega tõrkeid ei tekkinud. Eemaldades pikemad luminifoortorud ja nende starterid paigaldati pikemad LED-torud



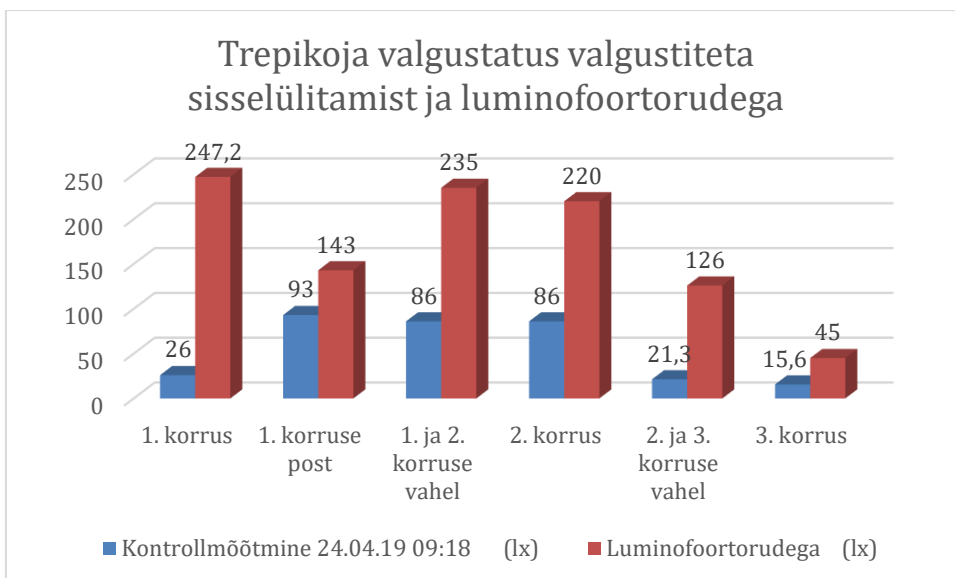
ja neile mõeldud starterid ning LED-torud hakkasid tööle. Pikematel lampidel jäid ballastid ühendatuks.

Enne luminifoortorude asendamist teostati DeltaOhm HD 2102.2 luksmeetriga valgustiheduse kontrollmõõtmine, et välja selgitada palju päevavalgust pääseb trepikotta [12]. Pildi luksmeetrist DeltaOhm HD 2102.2 leiab töö lisast 2. Samuti mõõdeti ära ka trepikoja valgustihedus sisselülitatud luminifoortorude korral. LED-torude paigaldusega läks oodatust kauem ning seetõttu korraldati kaks päeva hiljem uus kontrollmõõtmine. Taaskord mõõdeti ära trepikotta pääsev päevavalgus ning seejärel trepikoja valgustihedus sisselülitatud LED-torude korral. Esimene kontrollmõõtmine teostati pilvise ilmaga ning teisel kontrollmõõtmise päeval oli päikesepaisteline ilm, mis ei pruugi anda seega piisavalt täpset ülevaadet luminifoor- ja LED-torude valgustiheduse erinevusest. Järgnevas tabelis 5.1 on toodud saadud mõõtetulemused.

Tabel 5.1 Valgustiheduse mõõtetulemused

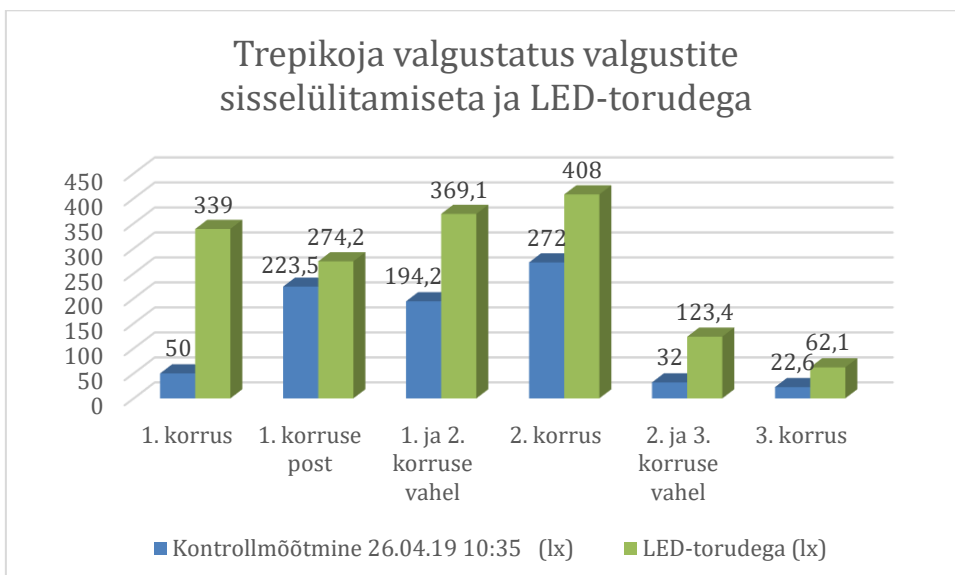
	Kontrollmõõtmine 24.04.19 09:18 (lx)	Luminifoortorudega (lx)	Kontrollmõõtmine 26.04.19 10:35 (lx)	LED- torudega (lx)
<b>1. korrus</b>	26	247,2	50	339
<b>1. korruse post</b>	93	143	223,5	274,2
<b>1. ja 2. korruse vahel</b>	86	235	194,2	369,1
<b>2. korrus</b>	86	220	272	408
<b>2. ja 3. korruse vahel</b>	21,3	126	32	123,4
<b>3. korrus</b>	15,6	45	22,6	62,1

1. korrusel oli mõõtepunkte 2. Üks mõõtmine viidi läbi 1. korruse trepi posti kõrvalt põrandalt ja teine 1. korruse valgusti alt, mille kõrguseks oli ligikaudu kaks meetrit põrandast. Kõik ülejäänud mõõtmised viidi läbi trepi käsipuu pealt – mõõtmiste asukohtadeks olid 1. ja 2. korruse vaheline trepp, 2. korruse trepikoda, 2. ja 3. korruse trepp ning 3. korruse trepikoda. Mõõtetulemuste analüüsimiseks koostati kolm joonist, kus vaadeldakse täpsemalt mõõtetulemusi esimesel kontrollmõõtmisel ja luminifoortorudega, teisel kontrollmõõtmisel ja LED-torudega ning tuuakse välja luminifoortorude ja LED-torude valgustiheduse võrdlus.



Joonis 5.1 Trepikoja valgustatus valgustite sisselülitamiseta ning luminofoortorudega trepikoja erinevates kohtades (luksides)

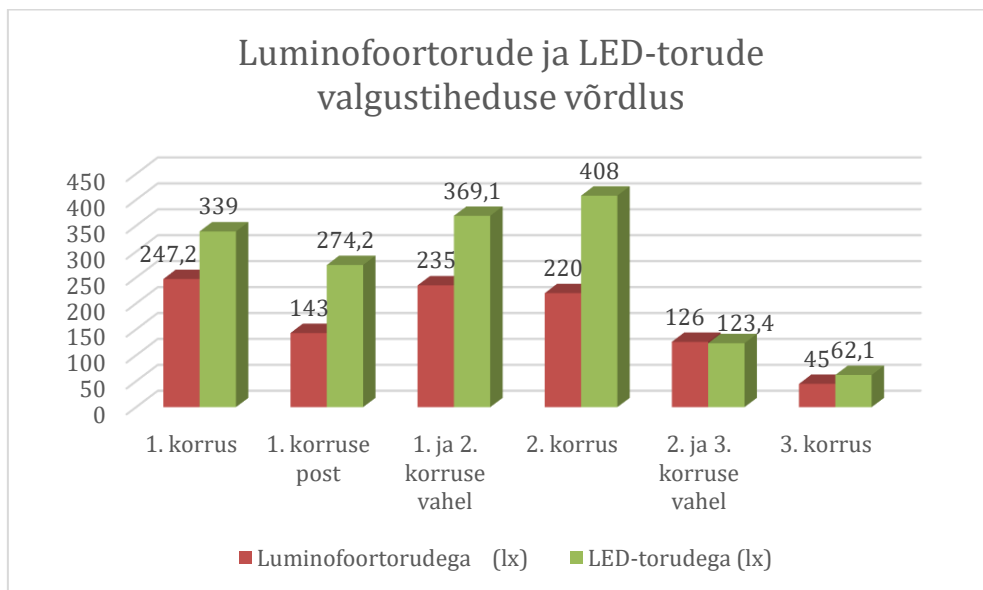
Joonisel 5.1 esitatud mõõtetulemused toovad välja, et pilvisema ilmaga ei ole trepikoja akendest sisse pääsev valgustihedus valgustite sisselülitamiseta kooskõlas EVS-EN 12464-1 standardiga. Standardis välja toodud minimaalne lubatud valgustihedus trepikojas on 150 lx. Enne valgustite sisselülitamist on hoone Puiestee 80A trepikoja valgustihedus maksimaalselt 93 lx (1. korruse trepiposti kõrval) ja minimaalselt 15,6 lx (3. korruse käsipuul). Pilvisematel päevadel on kindlasti vajalik trepikojas olevate valgustite sisse lülitamine.



Joonis 5.2 Trepikoja valgustatus valgustite sisselülitamiseta ning LED-torudega trepikoja erinevates kohtades (luksides)

Teise kontrollmõõtmise tulemusena selgus, et trepikojas on kohti, kus päikesepaistelise ilma korral on valgustihedus standardile EVS-EN 12464-1 vastav ka valgustuse sisselülitamiseta (vt joonis 5.2). Nii 1. korruse posti juurest, 1. ja 2. korruse vahelt ning 2. korruselt tehtud mõõtmistest selgus, et valgustihedus on suurem kui standardis nõutud 150 lx. Samas pole trepikoja ülejäänud kohtades piisavalt valgust valgustuse sisselülitamiseta. LED-torude kasutamise tulemusena suurenes trepikoja valgustihedus osades trepikoja asukohtades mitmekordselt. Peale LED-torude sisselülitamist tõusis 1. korruse valgustihedus 339 luksini, mis on vastavuses ka väljatoodud standardiga. Samas ei ole LED-torude sisselülitamise tagajärjel 2. ja 3. korruse vahe ning 3. korruse valgustihedus piisavalt tõusnud.

Suurim probleem, mida mainitakse LED-torude puhul on nende kehv valgustuse kvaliteet ja pindade valgustatus, sest LED-torudest kiirgav valgus langeb poolkerakujuliselt. Teooria osas välja toodud uuringutulemustes tuli see probleem ka esile, kuid selles uuringus vaadeldi valgustatust tööruumis [5]. Antud töös vaadeldakse valgustatust aga trepikojas, kus eesmärgiks on valgustada kitsast ala.



Joonis 5.3 Luminofoortorude ja LED-torude valgustiheduse võrdlus trepikoja erinevates kohtades

Võrreldes mõõtetulemusi luminofoortorude ja LED-torude vahel on näha, et LED-torud on andnud kuuest mõõtmisest viiel korral parema valgustatuse (vt joonis 5.3). Probleemseks jääb aga siiski 2. ja 3. korruse vaheline ala ning 3. korrus. Eriti probleemne ala on 3. korrus, sest sealne valgustihedus ei vasta kummalgi mõõtmiskatsel standardile EVS-EN 12464-1. Luminofoortorude puhul on 3. korruse valgustihedus 45 lx ja LED-torude puhul 62,1 lx, kuid standard nõuab, et valgustatus oleks vähemalt 150 lx. 3. korrusele ei pääse palju ka päevavalgust, mis tõttu oleks tarvis sinna paigaldada veel lisavalgustust.







## 5.2 Liikumise tuvastamine trepikojas

Kuna reaalselt automaatikalahendust ellu ei olnud võimalik viia, siis on toodud lahendus teoreetiliselt. Andurite valikus analüüsiti mitmeid erinevaid liikumise tuvastamise andureid. Anduritüüpide valikul tuli lähtuda nende omadustest kui ka trepikoja keerukusest. Trepikoja liikumise jälgimiseks oli esialgselt plaanis kasutada Satcomi mikrolaine liikumisandurit Tesatek. Mikrolaine andurite puhul tuli arvestada sellega, et neid ei saa paigaldada mitu tükki. Põhjuseks on nende tööpõhimõte. Nimelt töötavad mikrolaine liikumisandurid Doppleri efektil ja paigaldades mikrolaine liikumisandureid mitu tükki, siis hakkavad need teineteise välja saadetud lainetele reageerima ning tegema seetõttu valerakendumisi. Liikumisandur Tesatek paigaldati 3. korruse lakke, eeldades, et see katab ära kõigi kolme korruse liikumise trepikojas. Tootja poolse spetsifikatsiooni alusel oleks pidanud anduri tuvastamisala olema lakke paigaldatuna kuni kaheksa meetrit [13]. Kaugus 3. korruse laest 1. korruse põrandani osutus suuremaks kui kaheksa meetrit. Lisaks liiga pikale vahemaale esimese ja kolmanda korruse vahel on ka trepp ehitatud materjalidest, mis vähendavad anduri töövõimekust. Mikrolaine liikumisandur oli võimeline katma 3. korruse liikumist, 2. korruse liikumist ning 1. ja 2. korruse vahelist liikumist trepil, kuid liikumine 1. korrusel jäi andurile märkamatuks. Antud andur ei olnud suuteline kõigi kolme korruse liikumist tuvastama ning tuli leida alternatiiv, millega jälgida liikumist trepikojas.

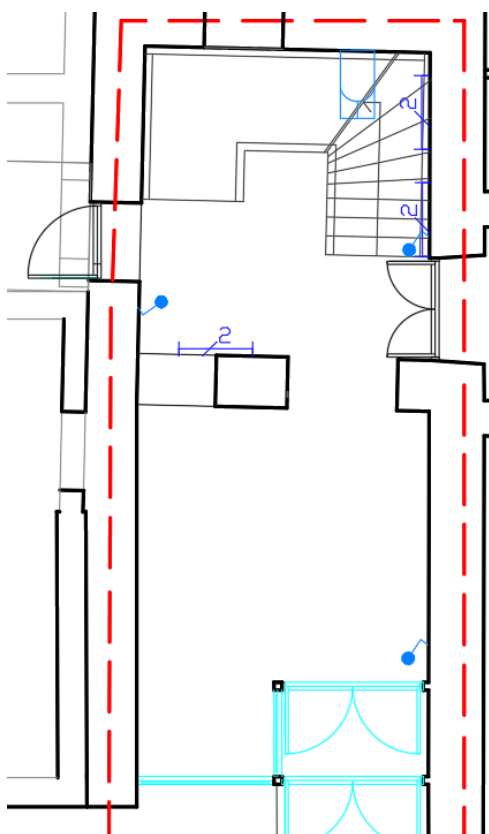
Analüüsides veel olemasolevaid andureid, sai valitud infrapunaandurid ja magnet uksekontaktid. Magnet uksekontaktid on kõige soodsam viis liikumise tuvastamiseks ja neid andureid on hea kasutada liikumist tuvastavas süsteemis, kus on samuti kasutusel ka infrapunaandurid. Mõlemale anduritüübile leidis juhtmevabu lahendusi, mis võimaldaksid mugavat paigaldust. Ülikool soetas CVMORE Smart Home komplekti. Komplekt sisaldas endas ühte ruuterit GWU – A1, kolme juhtmevaba infrapunaandurit ja kahte juhtmevaba magnet uksekontakti. Kõik komplekti kuuluvad komponendid kasutavad ZigBee suhtlusprotokolli ning seda 2,4 GHz sagedusel. Komplekti komponentide omavahelisel ühendamisel tekkis tõrkeid ning seega ei saanud seda komplekti kasutusele võtta.

Valgustuse automaatse lülitamise süsteemi lahenduse realiseerimisel võetakse kasutusele infrapunaandurid koos magnet uksekontaktiga. Seda tüüpi andurid on optimaalsed töös käsitletud ülesande lahendamiseks ning neid saab hästi paigaldada trepikotta. Järgnevatel joonistel on toodud valgustuse automaatika komponentide paigaldus trepikojas. Allolevas tabelis 5.2 on kirjeldatud joonistel esinevad tingmärgid.

Tabel 5.2 Joonistel esinevad tingmärgid ning nende kirjeldused

Tingmärk	Kirjeldus
	Juhtreelee
	Passiivne infrapuna liikumisandur
	Magnet uksekontakt
	Lüliti
	Pikem, ühe toruga lamp
	Lühem, kahe toruga lamp

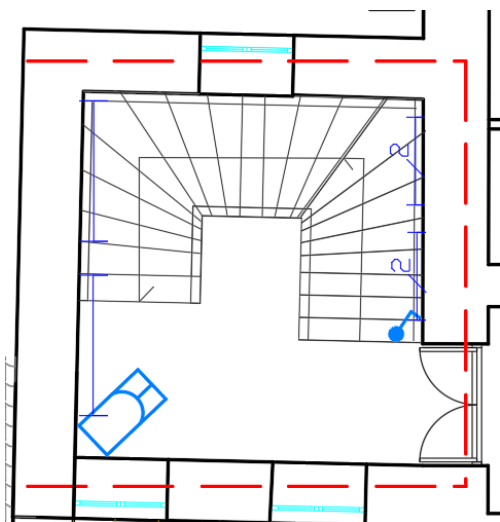
Tingmärgid lisati olemasolevale Puiestee 80A hooneplaanile, et visualiseerida valgustite automaatse lülitamise plaani. Joonisel 5.4 on toodud komponentide paiknemine 1. korrusel.



Joonis 5.4 Andurite, lülitite ning valgustite paiknemine Puiestee 80A trepikoja 1. korrusel.

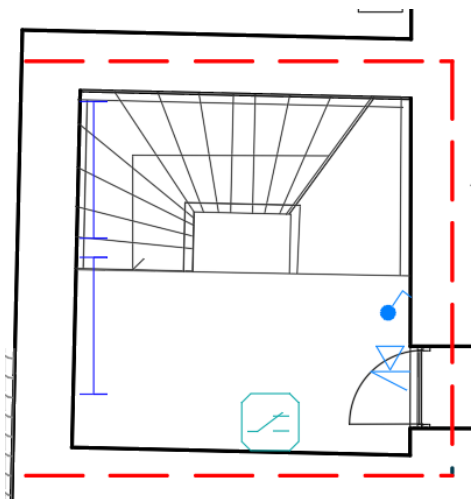
Joonisel 5.4 on näha, et infrapunaandur paigaldatakse 1. korruse trepi kõrval olevale seinale. Andur katab ära kõigi kolme ukse juures oleva liikumise. 1. korruse joonisel on välja toodud ka kolm lülitit,

kust on võimalik tulesid vajadusel välja lülitada kui automaatse lülituse süsteem ei peaks mingitel tingimustel lülitusi tegema. Joonise 5.4 parempoolse seina küljes olevad lülitid on praegusel hetkel veksellülitid. Olemasolevad lülitid vahetatakse välja EnOcean lülitite vastu, mille abil saadetakse kontrollerile informatsiooni. Sama muudatus tehakse ka 2. ja 3. korruste lülititega. Joonisel 5.4 toodud vasakpoolse ukse juurde on plaan lisada uus EnOcean lülit, mida on võimalik paigaldada juhtmevabalt. Lülitite kaudu oleks mõistlik valgusteid välja lülitada isikul, kes paneb hoone lukku, sest siis ei püsi tuled asjatult 5 minutit peale kõigi isikute hoonest lahkumist sisse lülitatuna.



Joonis 5.5 Andurite, lülitite ning valgustite paiknemine Puiestee 80A trepikoja 2. korrusel.

2. korrusele paigaldatakse samuti infrapunaandur, mis katab ära liikumise nii 1. kui ka 3. korruse trepilt ning liikumise 2. korrusel oleva koridori ukse juurest (vt joonis 5.5). 2. korruse joonisel on samuti näha lülit, mis asub 2. korruse koridori ukse kõrval. Lülit täidab sama funktsiooni, mida täidavad esimesel korrusel olevad lülitid.



Joonis 5.6 Andurite, lülitite ning valgustite paiknemine Puiestee 80A trepikoja 3. korrusel.

Viimasele ehk 3. korrusele infrapunaandurit ei paigaldata (vt joonis 5.6). 3. korruse liikumise tuvastab ära uksele paigaldatud magnet uksekontakt. 3. korruse joonisel on samuti lüliti, mis töötab identselt eelnevalt välja toodud lülititega. Joonisel 5.6 on näha ka juhtreele tingmärk. Juhtreele hakkab vastavalt EnOcean releelt saadud signaalidele valgusteid sisse või välja lülitama. Tingmärk näitab juhtreele eeldatavat asukohta reaalses valgustuse automaatses lülituse süsteemis. Nii juhtreele kui ka teiste komponentide paigalduse asukohad võivad enne valgustuse automaatjuhtimissüsteemi elluviimist muutuda.

### **5.3 Juhtimisautomaatika teoreetiline lahendus**

Trepikoja valgustuse juhtimise projekt ei määratle detailides ära kasutatavaid komponente. Ülikoolil on samas majas juba välja arendatud Eluslaboratooriumi automaatika, mille kontrolleri Schneider Electric MPM-UN-DI4-5045 asub ruumis A104. Seda kontrolleri saaks kasutada ka antud töös käsitleva automaatika lahenduse kontrollina. Seda tüüpi kontrolleri on ZigBee ja EnOcean raadiosideprotokollide tugi. Kontrolleri sobivate EnOcean toodete hulgas on 230 V toitega ja süvistoosi mahtuvad EnOcean releed ja süvistoosile või seinale monteeritavad raadiolülid. Kõigil kolmel korrusel olemasolevad veksellülid tuleks eemaldada. Teisel ja kolmandal korrusel teha lüliti süvistoosides vajalikud ühendused ning süvistoosid katta eespoolnimetatud EnOcean raadiolülitega. Esimesel korrusel asendatakse veksellüliti EnOcean releega, mis hakkab uues lahenduses täitma tulede sisse- ja väljalülitamise funktsiooni. Raadio teel juhitava releega pesa katta pealt raadiolülitiga ja täiendav raadiolüliti paigaldada hoone otsaukse juurde. Kirjeldatud juhtmevaba rele on EnOcean lülititega otse juhitav. Lülid on ehitatud nii, et neil puudub toiteallikas ja raadiosignaali tarbeks vajalik energia saadakse lülile vajutamisest. Kontrolleri võimaliku rikke korral jääb koridori valgustus tööle sarnaselt praeguse koridoris oleva lahendusega. Ainsaks erinevuseks on täiendava lüliti olemasolu hoone otsaukse juures. Lisatud lüliti võimaldab trepikoja valgustust mugavamalt lülitada. Praeguse lahenduse puhul peab pimedal ajal otsauksest siseneja läbima pimedat trepikoja, et jõuda selle vastasseinas paikneva veksellüliti juurde.

Inimeste liikumisest lähtuva tulede juhtimise tarbeks tuleb eespoolkirjeldatud infrapuna liikumisandurid kas otse või EnOcean raadiosendi vahendusel ühendada MPM-UN kontrolleri

sisendisse. Kõik paigaldatud lülitid tuleb ühendada selle kontrolleri EnOcean raadiovõrku. Samuti tuleb kontrolleri raadiovõrku ühendada eespoolnimetatud EnOcean raadiorelee. Valgustuse automaatjuhtimine töötab alljärgnevalt:

- Esimene liikumine, mis Puiestee 80A hoone peatrepikojas fikseeritakse edastatakse kontrolleri. Kontrolleri lülitab sisse valgustid ja etteantud ajaintervalli (esialgselt viis minutit) möödumisel saadab EnOcean relee valgustitele väljalülitamise käsu. Kui selle aja jooksul tuleb signaal inimeste liikumise kohta mistahes andurilt trepikojas, käivitatakse intervall uuesti algusest ehk valgustus lülitatakse välja viis minutit pärast viimast liikumist trepikojas.
- Automaatika töö ei sega lülitite käsitsi kasutamist. Kui automaatika on korras, on sisuliselt välistatud olukord, kus inimene jõuab enne lülitit vajutada, kui automaatika tuled sisse lülitab. Kui ta seda siiski teeb, saadetakse raadioreleele taas sisselülitamise signaal ja see ei muuda relee olekut. Kui valgus käsitsi välja lülitatakse, aga käimasolev ajaintervall pole nulli jõudnud, reageerib EnOcean relee lülitist tulnud väljalülitamise käsule tulede väljalülitamisega ja kui automaatika jõuab intervalli lõppu, saadab ta lihtsalt veelkordse tulede väljalülitamise käsu releele, mis relee olekut ei muuda.

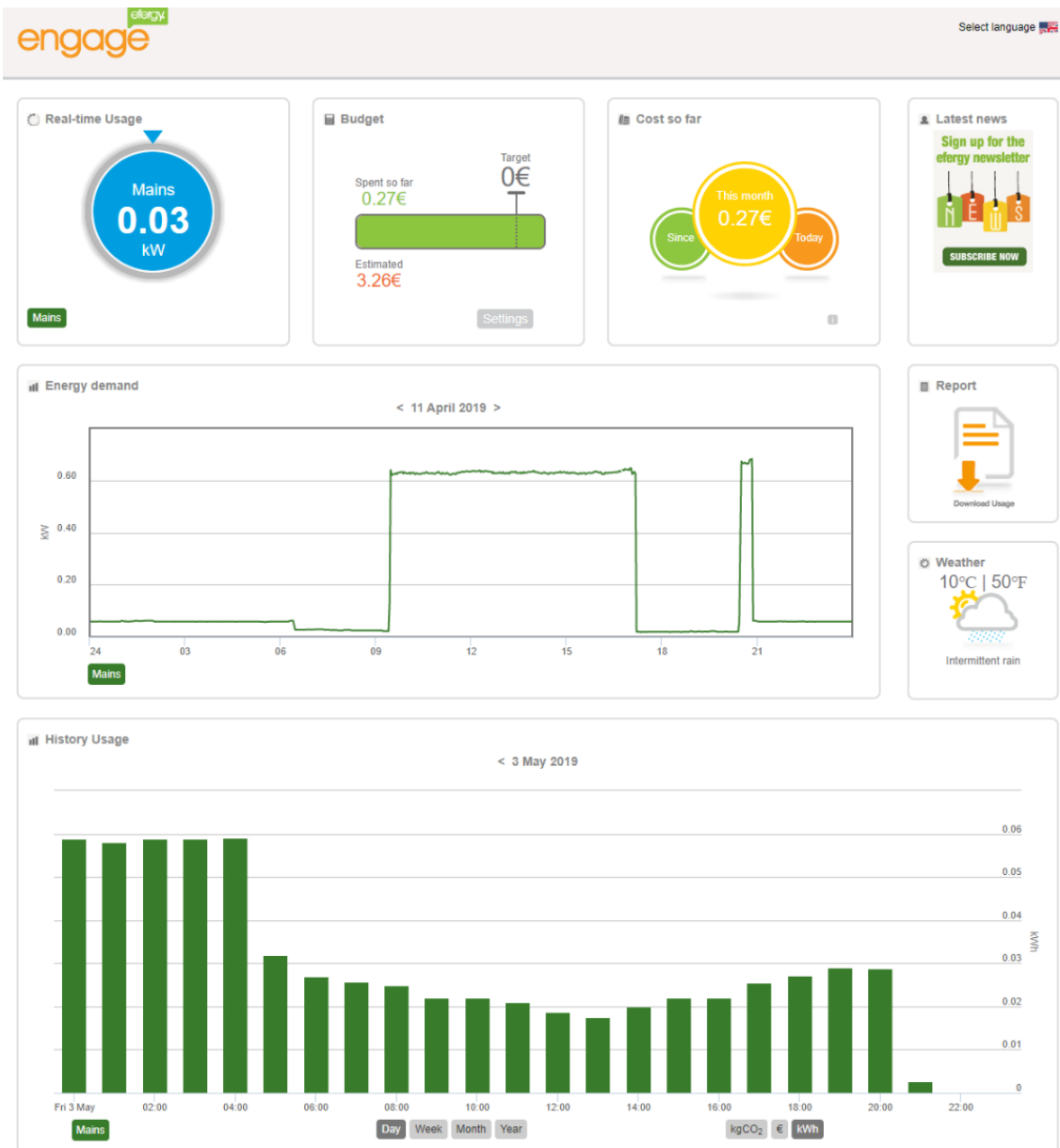
Lülitite ühendamine kontrolleri raadiovõrku valgustite juhtimise aspektist on kohustuslik. Kasutatav MPM-UN kontrolleri on ühendatud Tartu kolledži andmepilvega MeiePilv, millesse kogutakse muuhulgas automaatikasüsteemi seisundiinformatsiooni ja millele on võimalik ligi pääseda ka välisvõrgust. Informatsioon lülitite kasutamise kohta ja kontrolleri poolsete valgustuse juhtimise käsud on osa talletatavast informatsioonist. Eluslaboratooriumile kavatsatakse lähiajal lisada välise valguse andur. Sellisel juhul saab trepikoja valgustuse juhtimisel lisada veel ka loomuliku valguse arvestamise. Olulist elektrienergia kokkuhoidu see ei anna kuna trepikojas on suhteliselt vähe aknaid. Kuna õppetööd suvel ei toimu, siis on ainult sügise alguses ja kevade lõpus sellist aega, kus nõutav valgustugevus trepikojas õnnestub tagada välise valgusega. Pilvise ilmaga ei pruugi ka siis valgust piisavalt olla.



## 5.4 Elektrienergia kokkuvõid

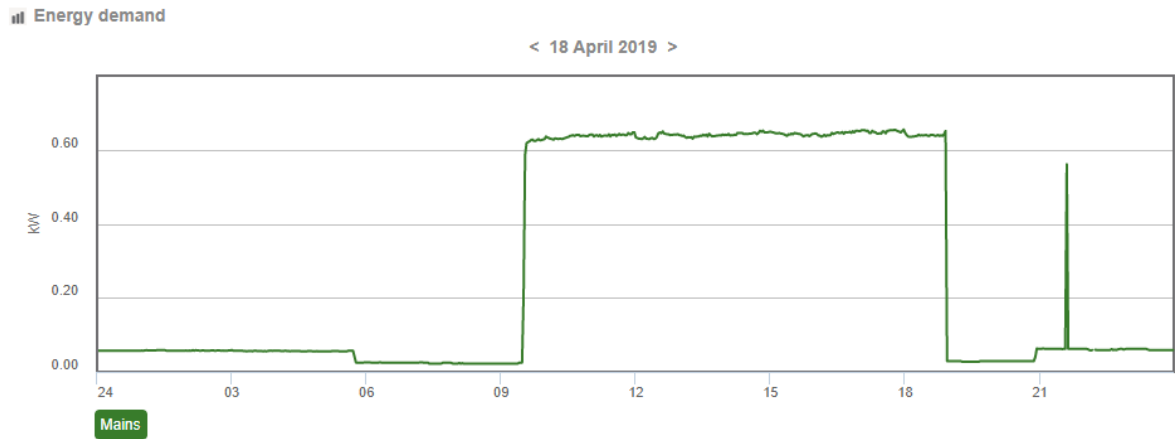
Seoses valgustites välja vahetatud valgusallikatega, viidi läbi valgustorude elektrienergia tarbimise mõõtmine. Võrreldavate tulemuste leidmiseks analüüsiti luminofooritorude ja LED-torude elektritarvet. Elektrienergia tarbimise mõõtmiseks kasutati ülikoolil olemasolevat elektrienergia tarbimise mõõturit Efergy Engage hub komplekti. Komplektis on ampermeeter, mis mõõdab elektrikilbis trepikoja-, välisvalguse ja ATS keskseadme voolu. Ampermeeter edastab elektrikilbist mõõdetud suuruseid komplekti kuuluvale ruuterile, mis omakorda edastab informatsiooni Efergy Engage andmepilve. Pilves arvutatakse automaatselt välja elektrienergia tarbimine kWh-des. Trepikoja valgustite reaalse voolu tarbimise leidmiseks võeti aluseks LED- ning luminofooritorude keskmine elektrienergiakulu ühe töötunni kohta. Võrdluseks tuli arvestada, et elektrikilbis olev ampermeeter mõõtis lisaks ka ATS keskseadme ja välisvalguse voolutugevust.

Efergy Engage pakub läbi veebilehe kasutajaliidest, kus on näha nii hetkest elektrienergiatarvet kui ka eelnevalt mõõdetud tulemusi. Oluline on välja tuua, et elektrienergia arvutamisel Efergy Engage andmepilves ei arvestata pinge kõikumisega. Seal on pingeline konstante ning seda on võimalik kasutajal läbi veebilehe muuta. Reaalsuses on pingeline väärtus kõikumine ning antud töös seda arvesse ei võeta. Pingeline oli määratud 230 V. Veebilehelt on võimalik alla laadida mõõdetavate andmete raport, mis väljastatakse tabelarvutusprogrammidega ühilduva failina. Lisaks mõõdetavatele andmetele näitab kasutajaliides ka ilma, mis võib tulla kasuks andmete analüüsis. Samuti saab veebilehelt vaadata, kui suured on väljaminekud elektrienergiaks antud kuu lõikes, kindla päeva jooksul või kindlaks määratud ajavahemikus. Järgnevalt on joonisel 5.7 ka välja toodud ekraanipilt Efergy Engage veebilehe kasutajaliidest.



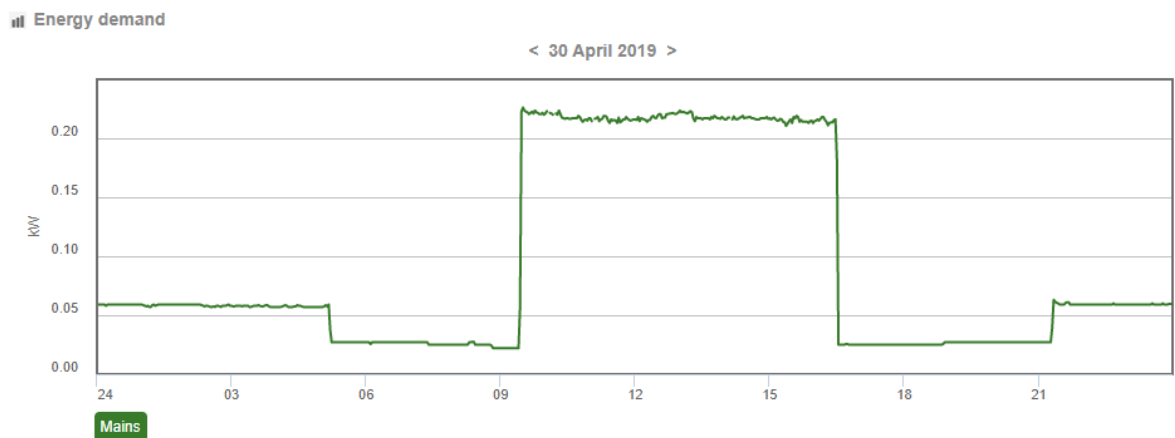
Joonis 5.7 Ekraanipilt Efergy Engage veebilehe kasutajaliidesest

LED- ja luminofoortorude keskmise elektrienergiakulu leidmiseks võeti Efergy Engage andmepilvest kaks erinevat päeva, millal trepikoja valgustid olid sisse lülitatud. Ühel valitud päeval olid trepikoja kasutusel luminofoortorud ning teisel valitud päeval LED-torud. Valitud päevadeks osutusid 18. aprill 2019 ja 30. aprill 2019.



Joonis 5.8 Luminofoortorude energiakulu 18. aprillil 2019

Varasemal päeval ehk 18. aprillil oli trepikojas kasutusel luminofoortorud. Väljatoodud jooniselt 5.8 on näha, et trepikoja valgustus lülitati sisse natuke peale kella 9 hommikul ning lülitati välja pärast kella 18.



Joonis 5.9 LED-torude energiakulu 30. aprillil 2019

30. aprilliks olid trepikoja luminofoortorud asendatud LED-torudega ning seega sai leida selle päeva põhjal LED-torude elektrienergia. Antud päeval oli trepikoja valgustus sisse lülitatud samuti natukene peale kella 9, kuid välja lülitati need võrreldes 18. aprilliga ligi kaks tundi varem (vt joonis 5.9).

Tunni keskmise elektrienergia leidmiseks võeti mõlemal päeval ajavahemikuks 10:00-15:00. Viie tunnine ajavahemik sai valitud, kuna valitud kahel päeval ei olnud valgustid sama pikka aega sisselülitatud ja viie tunnise ajavahemiku jooksul oli mõlemal päeval märgatav väike kõikumine elektrienergia tarbes. Ajavahemikul 10:00-15:00 olid valgustid stabiilselt sisselülitatud ning selle

alusel sai leida keskmine luminofooritorude ja LED-torude elektrienergia tarbimine ühe töötunni kohta. Keskmise elektrienergia tarbimise leidmiseks tuli arvestada ka ATS keskseadme elektrienergia tarbimisega, milleks oli 0,03 kWh ning mis lahutati valgustorude elektri tarbest eelnevalt maha. Tabelis 5.3 on toodud valgustorude elektrienergia tarbimine, kust on eemaldatud ATS keskseadme elektri tarbimine.

Tabel 5.3 Keskmine luminofooritorude ning LED-torude elektrienergia tarbimine tunnis

Kellaaeg	Luminofooritorud, 18. aprill, (kWh)	LED-torud, 30. aprill, (kWh)
10:00-11:00	0,6	0,17
11:00-12:00	0,61	0,17
12:00-13:00	0,61	0,19
13:00-14:00	0,61	0,19
14:00-15:00	0,61	0,17
<b>Keskmine</b>	<b>0,608</b>	<b>0,178</b>

Tabelist 5.3 on näha, et LED-torude keskmine elektrienergia tarbimine on 3,4 korda madalam võrreldes luminofooritorudega. Selle informatsiooni alusel on võimalik leida kokkuhoid näiteks ühe kuu lõikes (20 koolipäeva). Hetkel kasutusel oleva lahendusega on eelduseks, et valgustus on Puiestee 80A hoone peatrepikojas sisselülitatud ligikaudu 10 tundi (hommikul kell 8 lülitatakse valgustid sisse ja õhtul kella 18 ajal lülitatakse tuled välja). Esiatselt leitakse voolutarbimine ühe koolipäeva lõikes ehk korrutatakse mõlema valgustoru keskmine elektrienergia tarbimine 10-ga. Luminofooritorude tulemuseks saadi 6,08 kWh. LED-torude puhul saadi tulemuseks 1,78 kWh. Nendest tulemustest on näha, et ühe päevaga on elektrienergia kokkuhoid 4,3 kWh. Seega luminofooritorude puhul on ühe kuu (20 koolipäeva) voolutarve 121,6 kWh ja LED-torudel 35,6 kWh. Saadud andmete põhjal leiti, et ühe kuu jooksul oleks praegu trepikojas oleva lahendusega võimalik elektrienergiat kokku hoida 86 kWh. Järelikult moodustab LED-torude energiatarbimine 29% luminofooritorude elektrienergia tarbest ehk LED-torud tarbivad ligikaudu 71% vähem elektrienergiat võrreldes luminofooritorudega.

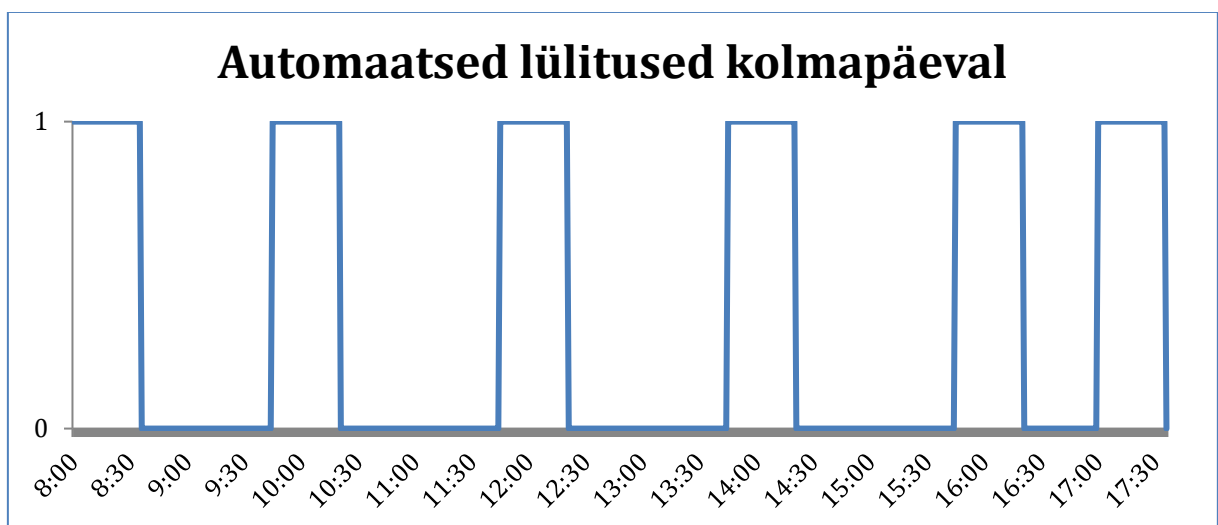
Selleks, et leida vajalik lülituste arv valgustuse automaatse lülituse korral, tuli leida liikumismuster Puiestee 80A hoone peatrepikojas. Trepikoja liikumise jälgimiseks valiti Tartu kolledži 2019. aasta kevadsemestri tunniplaanid. Õppekavade tunniplaanidest uuriti, millal toimuvad Tartu kolledži A-hoones õppetunnid. Tunniplaan ei ole ideaalne meetod liikumismustri jälgimiseks trepikojas, kuid annab siiski piisava ettekujutuse, milline võiks olla liikumine peatrepikojas koolipäevade jooksul.

Tabel 5.4 Tunniplaani alusel leitud liikumine esmaspäevast reedeni

Kellaaeg	Esmaspäev	Teisipäev	Kolmapäev	Neljapäev	Reede
8:00-8:30	Ei ole liikumist	On liikumist	On liikumist	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist
8:45-9:15	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist	On liikumist
9:45-10:15	On liikumist	On liikumist	On liikumist	On liikumist	Ei ole liikumist
10:45-11:15	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist	On liikumist
11:45-12:15	On liikumist	On liikumist	On liikumist	On liikumist	On liikumist
12:45-13:15	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist	On liikumist	Ei ole liikumist
13:45-14:15	On liikumist	On liikumist	On liikumist	On liikumist	On liikumist
14:45-15:15	On liikumist	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist
15:45-16:15	On liikumist	On liikumist	On liikumist	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist
17:00-17:30	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist	On liikumist	Ei ole liikumist	Ei ole liikumist

Koostatud tabelis võeti arvesse õppetundide algus- ja lõppaegu. Tabelist 5.4 näeb, millal võiks toimuda A hoones liikumine, vastavalt tunniplaanile. Mudelisse ei ole arvestatud olukorrad, kus ajutiselt loengust lahkunud tudeng või õppejõud liigub trepikojas, samuti ei ole mudelisse arvestatud ka õppetöösse hilinevad tudengid. Seega lihtsustatud mudeli põhjal võetakse arvesse liikumine ainult enne ja peale loengut ning välja on jäetud liikumine loengute ajal.

Eelnevalt väljatoodud tabeli põhjal moodustati graafikud iga päeva kohta, et saada ettekujutus, kui mitu lülitust võiks valgustuse automaatika teha ning kui kaua need kestavad. Töös tuuakse välja graafik kolmapäeva kohta, sest sellel päeval on kõige rohkem A hoones liikumist. Lisas 3 on toodud graafikud teiste päevade kohta. Graafiku koostamisel arvestati, et pärast valgustite sisselülitamist jäävad valgustid viieks minutiks sisselülitatuks.



Joonis 5.10 Tunniplaani põhjal leitud automaatsed lülitused kolmapäeval

Joonisel 5.10 tähistab „1“ valgustite sisselülitatud olekut ning „0“ väljalülitatud olekut. Koostatud mudelis liideti ajavahemikud, mille vältel valgustid on sisse lülitatud. Selle tulemusena leiti, kui kaua on valgustid sisse lülitatud terve päeva vältel. Kolmapäevase näite põhjal saadi tulemuseks 215 minutit ehk 3 tundi ja 35 minutit. Võrreldes praeguse lahendusega, mille korral on valgustid sisse lülitatud ligikaudu 10 tundi, säästaks automaatne lülitamine antud kolmapäevase näite alusel valgustite sisselülitus aega 6 tunni ja 25 minuti võrra. Seega oleks automaatse lülitussüsteemiga elektrienergia tarbimine 64% väiksem kui seda on elektrienergia tarbimine automaatse lülituseta. All olevas tabelis 5.5 on välja toodud, kui mitmel tunnil on valgustid sisselülitatud kõigi koolipäevade lõikes.

Tabel 5.5 Valgustite sisselülitatud aeg valguse automaatse lülituse korral esmaspäevast reedeni

Päev	Sisselülitatud aeg (min)	Säästetud aeg (min)
Esmaspäev	180	420
Teisipäev	180	420
Kolmapäev	215	385
Neljapäev	145	455
Reede	145	455
Kokku (min)	865	2135
Kokku (h, min)	14 tundi ja 25 minutit	35 tundi ja 35 minutit

Tabelis 5.5 toodud tulemustest selgus, et ühe nädala jooksul valguse automaatse lülitusega on valgustid sisselülitatud 14 tundi ja 25 minutit. Sellest tulenevalt on ühe nädala jooksul võimalik valgustite sisselülitusaega säästa 35 tundi ja 35 minutit võrreldes praegu kasutusel oleva lahendusega. Kuu jooksul (20 koolipäeva) on seega lülitusautomaatikaga võimalik kokku hoida 142 tunni ja 20 minuti jagu valgustite sisselülitusaega.

Olemasolevate andmete põhjal saab leida ka elektrienergia tarbimise planeeritava valguse automaatse lülitamisega. Luminifoortorude piiratud sisse- ja väljalülituste arvu tõttu ei ole võimalik luminifoortorusid valguse automaatseks lülitamiseks kasutada. Tabelis 5.5 toodi välja kui suur oleks eeldatav valgustite sisselülitatud aja kokkuhoid kui kasutatakse valgustitele mõeldud juhtimisautomaatikat. Elektrienergia tarbimine ühe nädala lõikes oleks ligikaudu 2,6 kWh ning ühe kuu lõikes oleks see näitaja ligikaudu 10,4 kWh. Saadud tulemust võrreldakse eelnevalt leitud LED-torude elektrienergia kuluga ühe kuu lõikes. Kasutades LED-torusid ja valgustuse automaatset lülitamist peatrepikoja valgustamiseks on elektrienergia tarbimist võimalik vähendada 25,2 kWh võrra ehk eeldatav kokkuhoid oleks umbes 71%. Automaatset lülitamist võrreldi samuti ka esialgse lahendusega, mille korral kasutati trepikoja valgustamiseks luminifoortorusid automaatse

lülitamisetä. Sellisel juhul moodustab elektrienergia tarbimine planeeritava valgustuse automaatse lülitamise korral vaid 8,5% esialgsest elektrienergia tarbimisest. Tegemist on minimaalse võimaliku elektrienergia kuluga, sest tunniplaani järgi leitud liikumismustrisse ei arvestatud liikumist tundide ajal.

## 6. KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli kavandada valgustuse automaatne lülitamine Puiestee 80A hoone peatrepikojas. Töö teoreetilises osas toodi välja luminifoortorude ning LED-torude põhilised omadused ning nende võrdlus. Eelnevate uuringute põhjal võib järeldada, et LED-torud on luminifoortorudest energiasäästlikumad ning pikema eluaega. Samas üheks LED-torude puuduseks on toodud luminifoortorudest kehvem valgustamise kvaliteet. See aga sõltub pigem ruumi omapärast ning erinevates allikates on leitud erinevaid tulemusi. Töö teoreetilises osas toodi välja ka põhilised liikumisanduri tüübid, nende omadused, eelised ning puudused. Selle informatsiooni põhjal valiti välja ka valgustuse automaatjuhtimissüsteemi jaoks sobivad andurid. Lisaks on töös toodud ka trepikoja valgustusnõuded, millega peab empiirilist osa läbi viies arvestama.

Töö empiirilises osas analüüsiti esialgu olemasolevat Puiestee 80A trepikoja valgustuslahendust. Alguses kasutati Puiestee 80A trepikojas luminifoortorusid, mis asendati LED-torudega. Mõõdeti luminifoor- ning LED-torude valgustihedust erinevates peatrepikoja punktides, lisaks mõõdeti valgustihedus enne valgustite sisselülitamist. Selgus, et valgustihedus LED-torude kasutamisel oli suurem kui luminifoortorude kasutamisel, seda pea kõigis trepikoja mõõtmispunktides. Probleemseks osutus valgustatus 3. korrusel, kus valgustihedus ei täitnud standardites toodud nõudeid isegi LED-torusid kasutades. Sellest tulenevalt oleks vaja 3. korrusele paigaldada lisavalgustus.

Teine pool töö empiirilisest osast käsitleb võimalikku juhtimisautomaatika lahendust. Seoses väljavalitud liikumisandurite ebapiisava töökindlusega, oli tarvis liikumise tuvastamiseks peatrepikojas kasutada alternatiivset meetodit. Ajapuuduse tõttu võeti liikumismustri leidmise aluseks Tartu kolledži 2019. aasta kevadsemestri tunniplaanid, mille kaudu oli võimalik leida umbkaudne liikumisaeg trepikojas. Lahendus pole ideaalne ning ei arvesta kogu liikumisega, kuid antud lahenduse põhjal oli võimalik välja arvutada maksimaalne võimalik elektrienergiasääst juhtimisautomaatikat kasutades.

Elektrienergia tarbimine leiti nii luminifoortorude, LED-torude kui ka võimaliku juhtimisautomaatika korral. Selgus, et asendades luminifoortorud LED-torudega, on tunnine elektrienergia tarbimine 3,4 korda madalam. Kuu lõikes on seega võimalik elektrienergia kokkuhoid 86 kWh. LED-torudele üleminek vähendaks seega elektrienergia kulu ligikaudu 70%. Leiti ka võimalik maksimaalne elektri kokkuhoid juhtimisautomaatika kasutamisel. Juhtimisautomaatika kasutusele võtmine aitaks kokku hoida veel täiendavad 25,3 kWh, ehk elektrienergia tarbimine väheneks kuus 10,3 kWh-ni. See moodustab vaid 8,5% elektrienergiast võrreldes algse lahendusega



– luminofoortorude kasutamisega. Seega saab järeldada, et LED-torud on võrreldes luminofoortorudega mitu korda elektrienergia säästlikumad ning valgustuse automaatne lülitamine aitaks elektrienergiat veelgi rohkem säästa.

## 7. SUMMARY

The purpose of this thesis was to plan an automatic lighting system for Puiestee 80A main staircase. Main features of fluorescent and LED tubes were explained and compared in the theoretical part of the thesis. A conclusion can be drawn based on earlier research that LED tubes are more economical and have a longer lifespan than fluorescent tubes. It is often said that the main disadvantage of LED tubes is their lighting quality. This problem is mainly room dependent and different results have been received from different sources. The main motion sensor types, their features, advantages and disadvantages were also covered in the theoretical part of the thesis. Based on this information, the sensors were chosen for the automatic lighting control system. On top of all that, the lighting requirements for the staircases were covered and taken into account in the empirical part of the thesis.

First of all, the existing lighting system was analyzed in the empirical part of the thesis. Fluorescent tubes that were used at the beginning of this thesis were replaced with LED tubes in Puiestee 80A staircase. The light density of fluorescent and LED tubes was measured at different points of staircase. In addition the lighting density was also measured without the lighting. It was made clear that the light density was mostly higher while using LED tubes instead of fluorescent tubes. The 3rd floor turned out to be a problem since the light density was not in compliance with the requirements of the workplace lighting standards, even when using LED tubes. Because of that, it would be necessary to add extra lighting to the 3rd floor of the staircase.

The second part of the empirical part handles the possible solution for the automatic lighting control system. Since the selected motion sensors were unreliable, an alternative had to be chosen. Due to lack of time, the timetables of Tartu college's 2019. spring semester were chosen to find the movement pattern and therefore the approximate movement time at the staircase. This method is not ideal and does not take all the movement that takes place at the staircase into account. However it is possible to calculate the maximum electricity saving when using the automatic lighting system.

Electricity consumption was found for fluorescent and LED tubes. Possible electricity consumption was also found for the planned automatic lighting system. Turns out that after replacing the fluorescent tubes with LED tubes, the hourly electricity consumption is 3,4 times lower. Therefore, it is possible to lower the electricity consumption by 86 kWh in a course of a month. It means that switching to LED tubes would lower the electricity consumption by approximately 70%. The maximum electricity savings were also found with the planned automatic lighting system. The

implementation of an automatic lighting system would help to lower electricity consumption by additional 25,3 kWh; therefore it is possible to lower the electricity consumption to around 10 kWh. That means, the electricity consumption makes up only 8,5% of original solution's electricity consumption. In conclusion, it can be said that LED tubes are more energy efficient than fluorescent tubes and it would be even more efficient to use the planned automated lighting system.

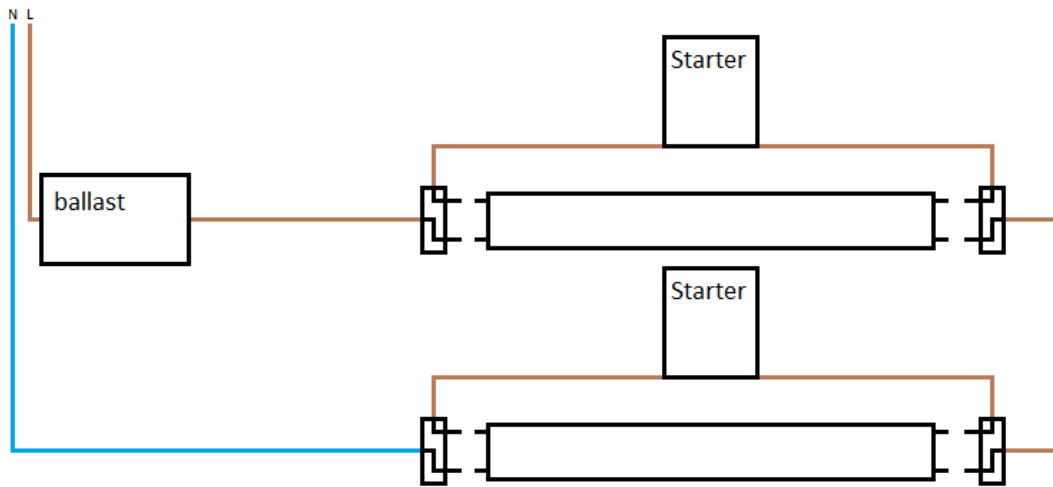
## 8. KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] J. R. Coaton ja A. M. Marsden, *Lamps and lighting Fourth Edition*, New York: Routledge, 2011.
- [2] E. F. Schubert, „Light-Emitting Diodes,“ *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, Troy, NY, Rensselaer Polytechnic Institute, 2014, pp. 1-10.
- [3] C.-H. Tsuei, J.-W. Pen ja W.-S. Sun, „Simulating the illuminance and the efficiency of the LED and fluorescent lights used in indoor lighting design,“ *Optics Express*, kd. 16, nr 23, pp. 18692-18701, 2008.
- [4] M. A. Myer, M. L. Paget ja R. D. Lingard, „Performance of T12 and T8 Fluorescent Lamps and Troffers and LED Linear Replacement Lamps,“ Pacific Northwest National Laboratory, Richland, 2009.
- [5] W. R. Ryckaer, K. A. G. Smet, I. A. A. Roelandts, M. Van Gils ja P. Hanselaer, „Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation,“ *Energy and Building*, kd. 49, pp. 429-436, 2012.
- [6] L. Xu, Y. Pan, Y. Yao, D. Cai, Z. Huang ja N. Linder, „Lighting energy efficiency in offices under different control strategies,“ *Energy and Building*, kd. 138, pp. 127-139, 2017.
- [7] I. B. A. Ang, F. Dilys Salim ja M. Hamilton, „Human occupancy recognition with multivariate ambient sensors,“ *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops*, Sydney, NSW, Australia, 2016.
- [8] X. Guo, D. Tiller, G. Henze ja C. Waters, „The performance of occupancy-based lighting control systems: A review,“ *Lighting Research & Technology*, kd. 42, nr 4, pp. 415-431, 2010.
- [9] R. Gnanavel, P. Anjana, K. S. Nappinnai ja N. P. Sahari, „Smart home system using a Wireless Sensor Network for elderly care,“ *2016 Second International Conference on Science Technology Engineering and Management (ICONSTEM)*, Chennai, India, 2016.
- [10] „Töökohale esitatavad töötervishoiu ja tööohutuse nõuded,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105122018009>.

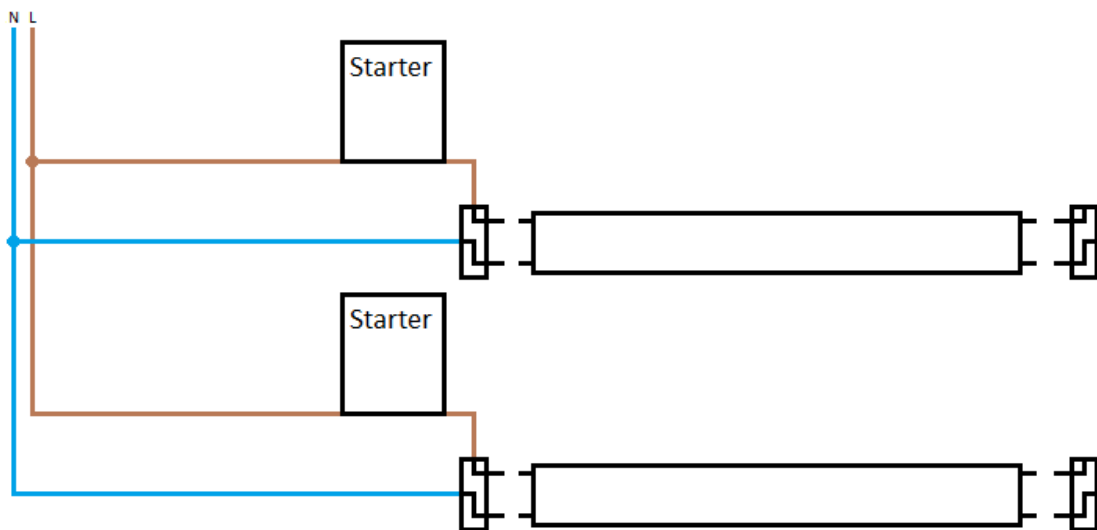
- [11] „EVS-EN 12464-1:2011. Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus. Osa 1: Sisetöökohad,“ 2011. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-12464-1-2011>.
- [12] J. Overhues, „deltaohm,“ June 2017. [Võrgumaterjal]. Available: [http://www.deltaohm.com/ver2012/download/HD2102\\_M\\_uk.pdf](http://www.deltaohm.com/ver2012/download/HD2102_M_uk.pdf).
- [13] „satcom,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.satcom.ee/media/satcom/product/Elektrimaterjal/Kasutusjuhend%20mikrolaine%20liikumisandur%208548.pdf>.

**LISAD**

## Lisa 1 Luminofoor- ning LED-torude elektriskeemid



L1.1 Luminfoortorude elektriskeem



L1.2 LED-torude elektriskeem

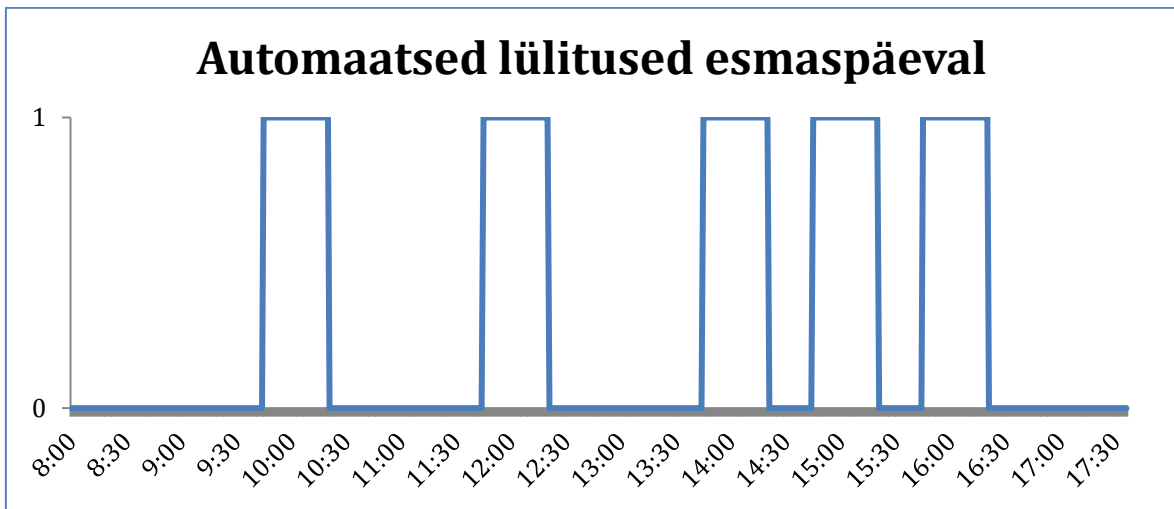
## Lisa 2 Kasutatud luksmeeter



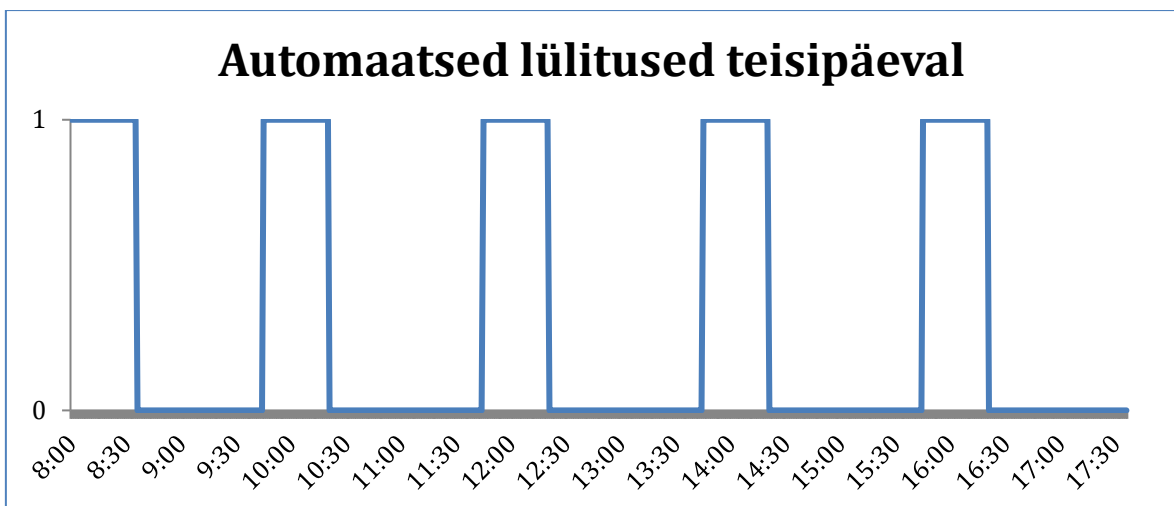
L2 Pilt kasutatud luksmeetrist



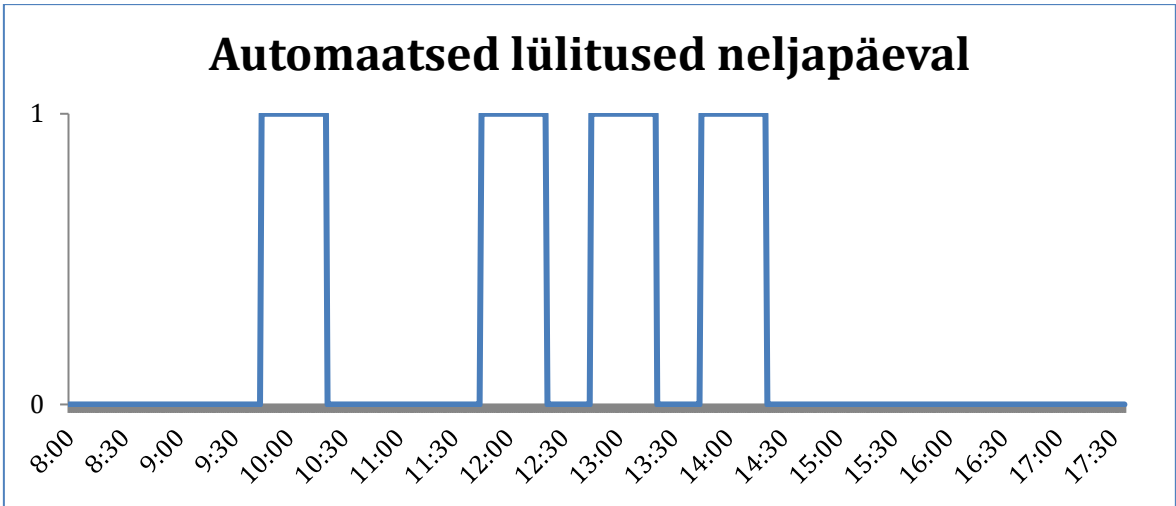
### Lisa 3 Tunniplaani alusel tehtavad automaatsed lülitused



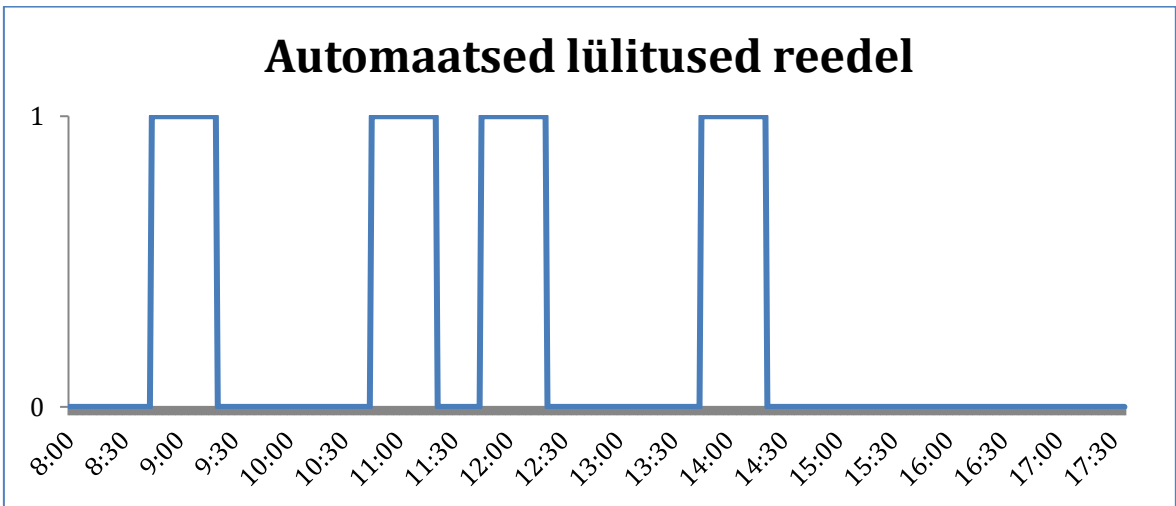
L3.1 Automaatsed lülitused esmaspäeval



L3.2 Automaatsed lülitused teisipäeval



L3.3 Automaatsed lülitused neljapäeval



L3.4 Automaatsed lülitused reedel