



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

# TalTech IV õppekorpuse ventilatsiooni- ja valgustussüsteemi tarbimise juhtimisvõimaluste analüüs

Analysis of ventilation and lighting system demand side management  
opportunities in the TalTech IV study building

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Mihhail Tšernov

Üliõpilaskood: 134218

Juhendaja: Argo Rosin, professor

Vahur Maask, nooremteadur

Tallinn, 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 bakalaureusetööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 201.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Mihhail Tšernov

*Lõputöö liik:* Bakalaureusetöö

*Töö pealkiri:* TalTech IV õppekorpuse ventilatsiooni- ja valgustussüsteemi tarbimise juhtimisvõimaluste analüüs

*Kuupäev:* 24.05.2019

*53 lk (lõputöö lehekülgede arv koos lisadega)*

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendajad:* professor Argo Rosin, nooremteadur Vahur Maask

*Töö konsultant:* Eduard Smagin (ABB AS)

## *Sisu kirjeldus:*

Lõputöö eesmärk on analüüsida TalTech IV õppekorpuses valgustuse- ja ventilatsioonisüsteemi energiatarbimise juhtimisvõimalusi. Antud töös analüüsitakse ventilatsiooni- ja valgustussüsteemi andmete põhjal IV õppekorpuse elektrisüsteeme. Mõõtmiseks kasutatakse võimsuse andmesalvestit ehk logerit BFM136. Saadud andmete põhjal teostatakse ventilatsiooni- ja valgustussüsteemi analüüs, kus võrreldakse mõõtetulemusi tööprojekti andmetega. Saadud andmete alusel pakutakse välja aktiivseid ja passiivseid meetmeid kulutõhususe parandamiseks. LED-lampide tasuvusaja arvutused erinevatele mõõtegruppidele näitavad, et mitte igal juhul pole LED-lampide kasutamine mõistlik, sest mõnikord võib tasuvusaeg olla liiga pikk. Kulutõhususe parandamise aktiivse meetodina vaadatakse üle DALI protokolliga seotud juhtimisvõimalused ja autonoomsete andurite kasutamine valgustuse juhtimiseks. Ventilatsiooni juhtimiseks pakutakse antud uurimuses välja CO<sub>2</sub>-andurite kasutamine. Kuna CO<sub>2</sub>-andur töötab paremini nõudluspõhise DCV ventilatsioonisüsteemiga, siis ongi võrreldud püsiva õhuvooluga CAV ventilatsioonisüsteemi (mida kasutatakse IV õppekorpuses) ja DCV ventilatsioonisüsteemi. Võrdlemine toimus välisuuringute alusel.

*Märksõnad:* Valgustus, ventilatsioon, kulutõhus, LED, DALI, CAV, DCV

## ABSTRACT

<i>Author:</i> Mihhail Tsernov	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Title:</i> Analysis of ventilation and lighting system demand side management opportunities in the TalTech IV study building	
<i>Date:</i> 24.05.2019	<i>53 pages (the number of thesis pages including appendices)</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Professor Argo Rosin, Junior Researcher Vahur Maask	
<i>Consultant(s):</i> Eduard Smagin (ABB AS)	
<i>Abstract:</i> <p>The aim of the graduation paper is to analyze the control possibilities of the energy consumption of the lighting and ventilation system in the TalTech IV study building. In this work, according to the ventilation and lighting system data, the electrical systems of the IV study corps are analyzed. The power data logger BFM136 is used for the measurement. On the basis of the data received, an analysis of the ventilation and lighting system is carried out, which compares the measurement results with the data of the work project. On the basis of the data received, active and passive measures are proposed to improve cost efficiency. Calculations of LED lamp profitability time for different measurement groups indicate that in no case is the use of LED lamps reasonable because sometimes profitability time may be too long. As an active method to improve cost-effectiveness, the control options associated with the DALI protocol and the use of autonomous sensors to control lighting are reviewed. For the control of ventilation, this survey proposes the use of CO<sub>2</sub> sensors. Since the CO<sub>2</sub> sensor works better with the demand-based DCV ventilation system, then that's been compared to the steady flow of air CAV ventilation system (which is used in IV study corps) and DCV ventilation system. The comparison was based on external survey.</p>	
<i>Keywords:</i> Lighting, ventilation, cost-effective, LED, DALI, CAV, DCV	

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	TalTech IV õppekorpuse ventilatsiooni- ja valgustussüsteemi tarbimise juhtimisvõimaluste analüüs
Lõputöö teema inglise keeles:	Analysis of ventilation and lighting system demand side management opportunities in the TalTech IV study building
Üliõpilane:	Mihhail Tšernov, 134218
Eriala:	elektroenergeetika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Vahur Maask, Argo Rosin
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	24.05.2019
Lõputöö esitamise tähtaeg:	24.05.2019

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppekava juht (allkiri)

## 1. Teema põhjendus

Tõusev elektrienergia hind on põhjustanud olukorra, kus tarbijad hakkavad järjest rohkem mõtlema energiatarbimisele. Energiatarbimise vähendamine on eelkõige oluline tarbijale, antud juhul ülikoolile, et vähendada energiakulusid.

TalTech IV õppekorpuse elektripaigaldis on renoveeritud rohkem kui 7 aastat tagasi. Tänapäevaks on õppekorpuse peamised elektritarvitid valgustus, ventilatsioon, laboriseadmed ja arvutid. Uurimusi õppekorpuse energiatarbimise kohta pole veel teostatud. Mis tähendab, et antud lõputöös on vaja teostada energiatarbimise ja selle paindlikkuse analüüs energiakulu vähendamiseks. Saadud andmete põhjal on võimalik teha ettepanekuid kulutõhususe parendamiseks.

## 2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on analüüsida IV õppekorpuses valgustuse- ja ventilatsioonisüsteemi energiatarbimise juhtimisvõimalusi.

## 3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- Teostada elektripaigaldise analüüs

- Ventilatsiooni ja valgustuse koormusprofiili mõõtmine
- Analüüsida valgustuse ja ventilatsiooni energiatõhusust
- Analüüsida ventilatsiooni ja valgustuse kulutõhusa juhtimise võimalusi

#### **4. Lähteandmed**

- Elektripaigaldise projektid
- Infopäringud ettevõtetelt
- Teemaga seotud teadusartiklid

#### **5. Uurimismeetodid**

Ventilatsiooni ja valgustuse koormusprofiili hindamine tugineb mõõtmistel ning nutika juhtimise võimaluste otsimine põhineb kirjanduse analüüsil. Energiatõhususe hindamine toimub elektripaigaldise jooniste ja kohapealsete kontrollvaatluste aluse.

Andmete analüüsiks plaanitakse kasutada tabelarvutustarkvara MS Excel.

#### **6. Graafiline osa**

Graafilise osa täpne loetelu (joonised, tabelid ja skeemid) selgub töö käigus.

#### **7. Töö struktuur**

Sisukord

Eessõna

1.Sissejuhatus

2.Objekti kirjeldus

2.1 Elektripaigaldis

2.2 Õppekorpuses kasutatavad tarvitid

3.Mõõtmised ja mõõtetulemuste analüüs

3.1 Mõõtemetoodika ja –seadmed

3.2 Energiatarbimise mõõdistused

4. Ettepanekud kulutõhususe parandamiseks

4.1 Passiivsed meetodid

4.2 Aktiivsed meetodid

5. Kokkuvõte

Kasutatud kirjandus

Lisad

### **8. Kasutatud kirjanduse allikad**

Allikad on raamatud, teadusartiklid, ettevõtete kodulehed, elektripaigaldise projekti dokumentatsioon.

### **9. Lõputöö konsultandid**

Esialgse hinnangu vajadus konsultandi järele puudub.

### **10. Töö etapid ja ajakava**

Lähteandmete kogumine (14.03.2019)

Objekti kirjeldus (14.03.2019)

Möötmised ja möödetulemuste analüüs (22.04.2019)

Ettepanekud kulutõhususe parandamiseks (01.05.2019)

Kokkuvõtte koostamine (08.05.2019)

Juhendajale läbilugemiseks saatmine (08.05.2019)

Paranduste sisseviimine (15.05.2019)

Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (15.05.2019)

Töö lõplik versioon valmis (23.05.2019)

## SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT .....	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	5
EESSÕNA.....	10
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	11
1. SISSEJUHATUS .....	12
2. OBJEKTI KIRJELDUS.....	13
2.1 Elektripaigaldis .....	14
2.2 Õppekorpuses kasutatavad tarvitid .....	15
2.2.1 Ventilatsioon .....	15
2.2.2 Valgustus .....	18
3. MÕÕTMISED JA MÕÕTETULEMUSTE ANALÜÜS .....	20
3.1 Mõõtemetoodika ja –seadmed.....	20
3.1.1 Mõõteseade .....	20
3.1.2 Tarkvara.....	21
3.2 Energiatarbimise moodsused .....	22
3.2.1 Ventilatsioon .....	22
3.2.2 Valgustus .....	26
4. ETTEPANEKUD KULUTÕHUSUSE PARANDAMISEKS .....	28
4.1 Passiivsed meetodid.....	28
4.1.1 Tava ja LED valgusti võrdlemine .....	28
4.1.2 LED valgusti tasuvusaega arvutamine .....	29
4.2 Aktiivsed meetodid .....	31
4.2.1 DALI valgustus süsteem.....	31
4.2.2 Autonoomsed andurid .....	33



4.2.3 CO <sub>2</sub> anduri kasutamine ventilatsioonisüsteemis.....	34
4.2.4 CAV ja DCV ventilatsioonisüsteemi võrdlemine.....	35
5. KOKKUVÕTE.....	37
6. SUMMARY .....	39
KASUTATUD KIRJANDUS .....	41
LISAD .....	42
Lisa 1 Jaotuskilpide elektripaigaldise loetelu.....	43
Lisa 2 Ventilatsiooni seadmete loetelu .....	44
Lisa 3 Valgustite loetelu .....	45
Lisa 4 Ventilaatorite üldised mõõtetulemused.....	46
Lisa 5 Ventilaatorite keskmine tööpäeva tarbimine .....	47
Lisa 6 Ventilaatorite keskmine puhkepäeva tarbimine .....	48
Lisa 7 Valgustuse keskmine tööpäevane tarbimine.....	49
Lisa 8 Valgustuse keskmine puhkepäeva tarbimine .....	50
Lisa 9 Tasuvusaja arvutuse tulemused.....	51

## EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema pakkus välja Tallinna Tehnikaülikool. Juhendajaiks valiti professor Argo Rosin ja doktorant-nooremteadur Vahur Maask. Töö algandmed pärinevad andmebaasist.

Autor tänab juhendajaid Argo Rosinat ja Vahur Maaski abi ja nõuannete eest.

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

DALI	digitaalne adresseeritav valgustusliides ( <i>Digitally Addressable Lighting Interface</i> )
CAV	konstantse õhuvooluhulgaga ventilatsioonisüsteem ( <i>Constant Air Volume</i> )
VAV	muutuva õhuvooluhulgaga ventilatsioonisüsteem ( <i>Variable Air Volume</i> )
DCV	nõudluspõhiselt reguleeritav ventilatsioonisüsteem ( <i>Demand Controlled Ventilation</i> )
<i>W</i>	võimsus
<i>Wh</i>	energia
JK	jaotuskilp
<i>A</i>	vool
<i>V</i>	pinge
V-1	väljatõmbeventilaator
€/kWh	elektrienergia hind

## 1. SISSEJUHATUS

Praegu on inimkond väga sõltuv elektrienergiast. Selle saamiseks kasutatakse kivisütt, maagaasi, naftat ja muid fossiilkütuseid. Fossiilkütuste maht on piiratud. Viimasel ajal alternatiivenergia tarbimine kasvab, kuid see ei ole piisav, et täielikult loobuda fossiilkütusest. Seepärast tasub elektrienergia kasutamine üle vaadata, sest osa elektrienergiat tarbitakse ebaratsionaalselt. Milline on ebaratsionaalne elektrienergia tarbimine? Ebaratsionaalne elektrienergia tarbimine on vanade elektriseadmete jätkuv kasutamine (sama funktsiooniga kaasaegsed seadmed tarbivad vähem elektrienergiat kui nende vanad analoogid), nutikate juhtimisvõimaluste ignoreerimine (nutikas juhtimine annab võimaluse kontrollida energiatarbimist nii nagu inimestele vaja ja välistada eksida võiv inimtegur), kontrollimatu energiatarbimine (inimesed ei jälgi, kuidas nad kulutavad elektrienergiat). Ebaratsionaalne elektrienergia tarbimine on võrdne raha raiskamisega. Võib olla tasub asjad seisma jätta ja natuke mõelda, kas kõik tehakse õigesti.

Antud töö eesmärk on analüüsida IV õppekorpuses valgustuse- ja ventilatsioonisüsteemi energiatarbimise juhtimisvõimalusi.

Valitud lõputöö on aktuaalne, kuna IV õppekorpuses viimane renoveerimine tehti 2011. aastal (v.a 4. korrus – neljanda korruse viimane renoveerimine tehti 2008. aastal). Sellest ajast pole tehtud mingit uurimistööd, mis puudutaks ventilatsiooni ja valgustust. Turul on olemas mitmeid innovaatilisi lahendusi, mis aitaksid parandada kulutõhusust ja sisekliimat.

Lõputöö põhiosa alguses kirjeldatakse objekti ja selle elektrisüsteeme. Teises osas räägitakse mõõtemetoodikast, tutvustatakse mõõteseadet (andmesalvestit BFM136) ja andmesalvestitega seotud tarkvaraga PAS, ning teostatakse mõõteandmete põhjal ventilatsiooni ja valgustuse paindlikkuse analüüs. Samuti võrreldakse ventilatsiooniagregaadi võimsusi, mida tegelikult kasutatakse, neisse installeeritud võimsustega. Valgustuse tarbimisest ettekujutuse saamiseks kasutatakse teise korruse näidet, mis loob pildi, kuidas hoones tegelikult valgustust kasutatakse ja pööratakse tähelepanu ebaratsionaalsele tarbimisele. Viimases osas räägitakse aktiivsest ja passiivsest meetodist kulutõhususe parendamiseks. Tekstis olevates lisades on toodud jaotuskilpide, elektriseadmete, ventilatsiooniagregaatide, valgustite loetelu ning elektripaigaldise struktuuri skeemi. Lisad annavad parema ette kujutuse uurimisobjektist ja selle elektrisüsteemi erinevatest osadest.

Käesolevas lõputöös püüab autor leida lahendusi, mis aitaks teha IV õppekorpuses ventilatsiooni ja valgustusega elektrienergia tarbimise nutikamaks.

## 2. OBJEKTI KIRJELDUS

Uurimuse objektiks on valitud Tallinna Tehnikaülikooli IV õppekorpus, mis asub Tallinnas Mustamäe linnaosas aadressil Ehitajate tee 5/4. Täpsem uurimisobjekti paiknemine on toodud joonisel 2.1. Hoone ehitati ja võeti kasutusele 1965. aastal. IV korpus koosneb kahest osast. Esimene osa on kahekorruseline hoone, mis ühendab III ja V korpust. Teine osa on neljakorruseline hoone, lisaks kelder ja tehniline korrus. IV õppekorpuse suletud pind on 5777,1 m<sup>2</sup>, sellest keldripind 678,9, 1. korruse pind 1364,7, 2. korruse pind 1262,9, 3. korruse pind 916,8, 4. korruse pind 811,9 ning pööningu pind 741,9 m<sup>2</sup>. Sellel pinnal paiknevad õppelaborid, kontoriruumid, kohvik, tehnilised ruumid ja laoruumid. IV õppekorpus on varustatud ühe liftiga. Viimane hoone renoveerimine (v.a 4. korrus) tehti 2011. aastal [1].



Joonis 2.1 Uurimisobjekti paiknemine [2]

## 2.1 Elektripaigaldis

Elektripaigaldis on üksteisega ühendatud elektriseadmete ja -juhtide teatud otstarbega ja kokku sobitatud tunnussuurustega paigaldatud kogum [4]. IV õppekorpuse elektripaigaldise struktuuriskeem on toodud käesoleva töö lisa osas ja jaotuskilpide elektripaigaldise tabel on Lisas 1.

IV õppekorpus saab toite 510 alajaama 0,4 kV jaotlast. Läbi fiider 1 saab toite peajaotuskilbi esimene sektsioon ning läbi fiider 2 peajaotuskilbi teine sektsioon. Jaotuskilp 4EK4, mis asub 4. korrusel koridoris, saab toite ka otse alajaamast läbi fiider 11. IV õppekorpus on varustatud RLA-süsteemiga, mis saab toite 1. ja 2. alajaama 0,4 kV jaotla sektsioonist läbi fiidrite 14 ja 15.

IV õppekorpuse peajaotuskilp paikneb keldri tehnoruumis U04-014. Peajaotuskilp koosneb kahest sektsioonist. Iga sektsioon on varustatud kolme 800 A nimivoolu Gg-tunnusjoonega sulavkaitsmega, mis moodustavad peajaotuskilbi peakaitse. Igal sektsioonil on oma kolmefaasiline elektriarvesti. 2. sektsioonil paikneb veel üks elektriarvesti, mis mõõdab kohviku energiatarbimist, sest kohvikupinda rendib R-KIOSK Estonia AS. 1. sektsiooni on paigaldatud 10 kolmefaasilist kaitselülitit ning 2. sektsioonis on 8 kolmefaasilist kaitselülitit (v.a reservkaitselülitid).

Iga korruse jaotuskilbi jaoks on ette nähtud kolmefaasiline toide, mis jagatakse tarbijate vahel. Kõikides korruste kilpides on olemas II klassi liigpingepiirid. Kõik kolmefaasilised pistikupesad on varustatud 16 A C-tunnusjoonega kaitselülititega, ühefaasilised pistikupesad on varustatud 16B või 16C automaatkaitselülitiga. Valgustuste, valvekaamerate, uksekontrollerite ja ATS toiteks on ette nähtud 10B kaitselülitid. Osade korruse jaotuskilbid (JK-1, JK-3, JK-4, JK-7, JK-8, JK-9) annavad toite laborikilpidele, kus põhitarbivad on laboriseadmed, pistikupesad ja valgustid. Laboriseadmed ja pistikupesad on varustatud 16C või 32C kaitselülititega ja valgustus 10B kaitselülititega.

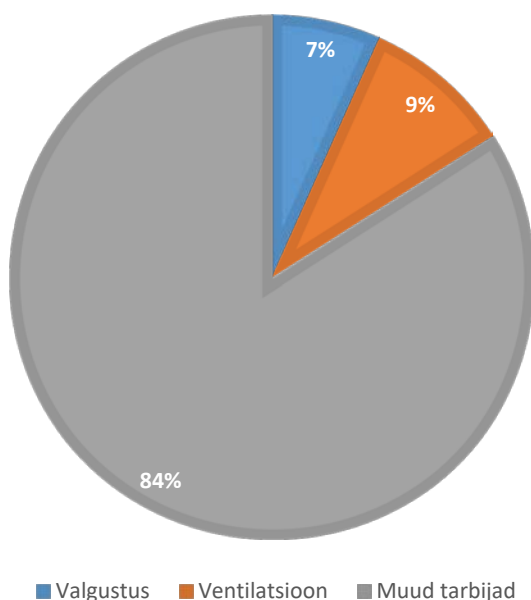
IV õppekorpuses on olemas RLA (reservülitusautomaat) süsteem. Selle eesmärk on pinge kadumise korral anda toidet tarbijatele ümberlülitamise abil [3]. IV õppekorpuses annab RLA toidet ka osadele pistikupesadele. Tavarežiimis saavad need toite jaotuskilbist. Ümberlülitamise mehhanismid asuvad järgmistes jaotuskilpides: JK-1, JK-3, JK-4, JK-6, JK-7, JK-8, JK-9.

Jaotuskilp 4EK4 annab toidet tervele neljandale korrusele. Jaotuskilp on varustatud elektriarvestiga ja annab toidet veel üheksale jaotuskilbile, mis asuvad 4. korrusel ja pööningul. 4. korruse põhitarbivad on valgustid ja pistikupesad. Üks jaotuskilp on paigaldatud pööningule, kus tarbijad on samuti valgustid ja pistikupesad.

Jaotuskilp 5EK1 saab toidet 0,4 kV jaotlast läbi fiider 13 ja annab edasi toidet jaotuskilbile 5EK2. Nende kilpide elektrienergia tarbijad on ventilatsiooniagregaadid, õhkkütteseadmed ja SPLIT süsteemid.

## 2.2 Õppekorpuses kasutavad tarvitid

Installeeritud võimsuse alusel tehtud jooniselt 2.2 on näha, et valgustuse osakaal on 7%, mis moodustab 80,71 kW installeeritud võimsusest. Ventilatsiooni osakaal on 9%, mis moodustab 125,6 kW installeeritud võimsusest. Muud tarbijad on jahutus- ja kütteseadmed, arvutid, laboriseadmed jt. Nende osakaal on 84%, mis moodustab 1014 kW installeeritud võimsusest.



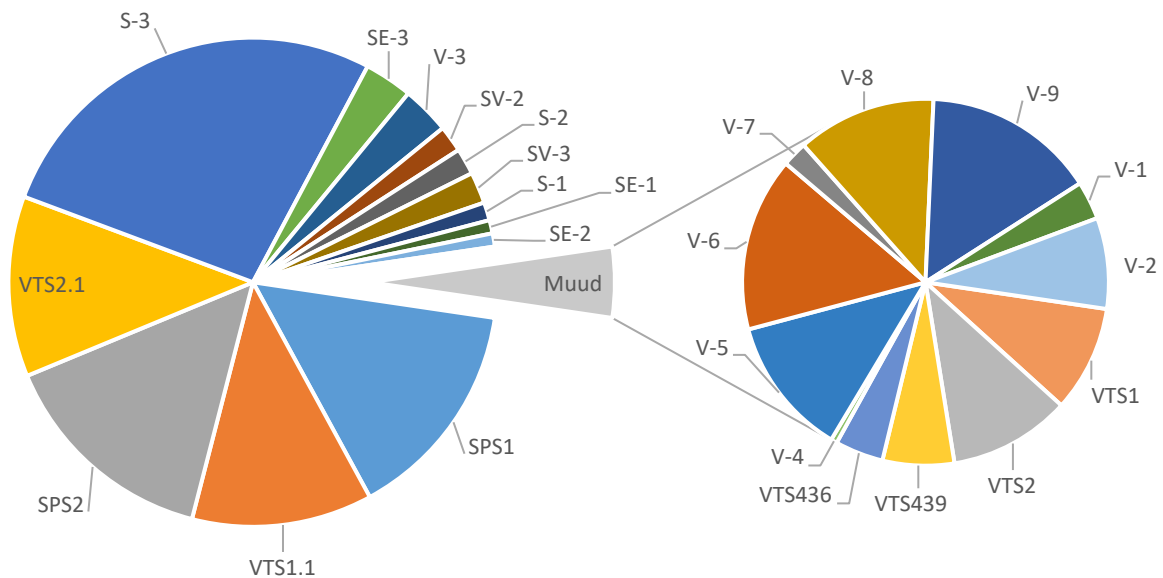
Joonis 2.2 Ventilatsiooni, valgustuse ja muude tarbijate osakaal installeeritud võimsuse alusel

### 2.2.1 Ventilatsioon

IV õppekorpuse ventilatsioonisüsteem koosneb mitmest agregaadist, mis teenindavad erinevaid korpuse osi. Põhiventilatsioonisüsteemid on SV-2, SV-3, SPS1/VTS1.1 ja SPS2/VTS2.1. Abiventilatsiooniagregaadid on S-1, S-2, S-3, V-1, V-2, V-3, V-4, V-5, V-6, V-7, V-8, V-9, SE-1, SE-2, SE-3, VTS1, VTS2, VTS439 ja VTS436, kus S või SPS on sissepuhumissüsteem, V või VTS on väljatõmbesüsteem ja SE on suitsueemaldussüsteem. Täpsemat infot ventilatsiooni seadmete kohta vaata Lisa 2.

Juhtprogramm reguleerib ventilatsioonisüsteeme läbi sagedusmuundurite nii, et sissepuhumise ja väljatõmbe rõhk kanalisse oleks konstantne. Kontoriruumide õhuvahetuse reguleerimiseks paigaldatakse iga ruumi (või ruumigrupi) jaoks VAV-klapid. Loomuliku ventilatsiooni tagamiseks avatakse aknad.

Joonisel 2.3 on toodud ventilatsiooniseadmete osakaal ventilaatori võimsuse järgi, mida kasutatakse IV õppehoones. Jooniselt on näha, et kõige võimsamad ventilaatorid on S-3, VTS2.1, SPS2, SPS1 ja VTS1.1. Grupp „Muud“ moodustab 5% osakaalust ja sellesse grupi kuuluvad ventilaatorid, mille võimsus ei ületa 1 kW.



Joonis 2.3 Ventilatsiooniseadmete osakaal IV õppekorpus

SV-2 on mehaaniline vahesoojuskandjaga sissepuhumise-väljatõmbe seade, mis paigaldatakse keldrikorrusel asuvasse tehnoruumi (ruum U04-U014). Õhku saadakse läbi hoone välisseina. Teeninduspiirkonnaks on keldrikorruse ruumid. SV-2 töötab päeval ajal täiskiirusel ja öisel ajal 50% tootlikkusega. Juhtimisprogramm reguleerib ventilaatori kiirust sagedusmuunduri abil. Selle agregadi ventilaatori võimsus on 2,2 kW ning toitepinge on 400 V. Voolu võtab seade jaotuskilbist (JK-V1), mis asub samas ruumis.

SV-3 on agregaat (mudel DV 20 tootja Systemair), mis asub kahekorruselise hoone katusel. Voolu võtab jaotuskilbist JK-V3, mis asub tehnoruumis (ruum U04-014) ning teeninduspiirkond on madala korpuse osa (nn vahehoone), kontoriruumid ja koridorid. SV-3 töötab päeval ajal täiskiirusel ja öisel ajal 50% tootlikkusega. Agregadi ventilaatori võimsus on 2,6 kW ning toitepinge on 400 V.

SPS1/VTS1.1 ja SPS2/VTS2.1 on ventilatsioonisüsteemid, mis asuvad tehnoruumi pööningul. Teeninduspiirkond on 1. – 4. korrus. Süsteem SPS1/VTS1.1 teenindab neljakorruselise hoone parempoolset osa ja süsteem SPS2/VTS2.1 teenindab hoone vasakpoolset osa. Süsteem



SPS1/VTS1.1 saab toidet jaotuskilbist 5EK1. Jaotuskilp 5EK1 annab samal ajal toidet kilbile 5EK2, mis on ühendatud SPS2/VTS2.1 süsteemiga. Ventilaatori SPS1 ja SPS2 võimsus on 18,5 kW ja ventilaatori VTS1,1 ja VTS2.1 võimsus on 15 kW ja toitepinge 400 V.

Suitsueemaldussüsteem koosneb neljast ventilaatorist: SE-1 (1,1 kW), SE-2 (1,1 kW), SE-3 (4 kW) ja V-9 (0,83 kW). Need töötavad kahel režiimil. Tavarežiimil ventilaator SE-1 seisab. Ventilaatori SE-2 tööd juhib soojasõlme ruumi temperatuuriandur niimoodi, et ruumi temperatuur ei ületa 30 °C. Tavarežiimil ventilaator SE-2 töötab 20% tootlikkusega. Ventilaatori SE-3 tööd juhib ventilatsiooniruumi (U04-014) temperatuuriandur niimoodi, et ruumi temperatuuri ei ületaks 35 °C. Tavarežiimis ventilaator SE-3 töötab kaheastmeliselt. Kui ruumi temperatuur on 30 °C juures, lülitatakse SE-3 tööle 50% tootlikkusega ja 35 °C juures 100% tootlikkusega. Samaaegselt ja sama tootlikkusega töötab väljatõmbeventilaator V-9. Suitsueemaldusrežiimis töötavad kõik kolm ventilaatorit (SE-1, SE-2 ja SE-3) 100% tootlusega. Ventilaator V-9 on välja lülitatud. Ventilaatorite SE-1, SE-2 ja SE-3 juhib käivitusnupp. Need neli ventilaatorit saavad toite jaotuskilbist JK-V1.

Kohvikusse, mis asub 1. korrusel, on paigaldatud eraldiseisev ventilatsioonisüsteem. See süsteem koosneb sissepuhumissüsteemist S-1 (1,5 kW) ja väljatõmbesüsteemidest V-1 (0,198 kW) ja V-2 (0,47 kW). Sissepuhumisseade paigaldatakse ventilatsioonikambrisse keldris (ruum U04-014) ja toidet saab jaotuskilbist JK-V1. V-2 on kuumköögi väljatõmbeventilatsioon ja V-1 on kohviku üldväljatõmbe ventilatsioon. Kohviku väljatõmme toimub läbi hoone katuse. Kui ventilaator V-2 töötab köögi kasutamise ajal täiskiirusega, siis samal ajal süsteem S-1 töötab 100% tootlikkusega. Kui ventilaator V-2 on välja lülitatud, siis S-1 töötab 15% tootlikkusega.

Väljatõmbeventilaatorit V-3 (4 kW) kasutatakse hapetega seotud tõmbekappides. Kõik hapetega seotud tõmbekapid varustatakse aktiivse padrunfiltritega. Need tõmbekapid asuvad ruumides U04-111, U04-112, U04-113, U04-114, U04-115, U04-116, U04-219, U04-220, U04-220a ja U04-220b. Sissepuhumisõhu tagavad SPS1 ja SPS2 ventilatsioonisüsteemid. Väljatõmbeõhk juhitakse hoone katusele. Toidet saadakse jaotuskilbist JK-V4.

3. korrusel ruumis U04-303 tagavad ventilatsiooni sissepuhumisseade S-2 (2,2 kW) ja väljatõmbeventilaator V-6 (0,9 kW). S-2 ja V-6 töötavad ruumi kasutamise ajal täiskiirusega. Ventilatsioonisüsteemid S-2 ja V-6 käivitatakse lülitist ruumi 303 seinal. Ruumi U04-301 paigaldatakse väljatõmbeventilaator V-5 (0,719 kW), mis töötab kasutamise ajal täiskiirusega. Ventilaatori lüliti asub seina peal. Ruumi U04-305 sissepuhumisõhu tagab SPS2-süsteem ja väljatõmbeõhu eest vastutab ventilaator V-7 (0,13 kW). See ventilaator on ühendatud sama ruumi tõmbekappidega. Ruumi U04-308 (kvartsipuhumise ruum) on paigaldatud sissepuhumisseade S-3 (34 kW) ja väljatõmbeventilaator V-8 (0,719 kW). Kvartsipuhumiseks on mõeldud väljatõmbekubuga, mis on ühendatud eraldiseisva väljatõmbeventilaatoriga V-8. Kubu väljatõmbe

kompensatsiooniõhu tagab sissepuhumisseade S-3. Väljatõmbeventilaator V-8 töötab ruumi kasutamise ajal täiskiirusega. Kogu 3. korruse väljatõmbeõhk juhitakse hoone katusele.

Väljatõmbesüsteemi VTS1 (0,55 kW) teeninduspiirkond on 1. – 4. korruse WC-d ja koristaja ruumid. Väljatõmbesüsteemi VTS2 (0,63 kW) teeninduspiirkond on tehniline ruum pööningul. VTS439 (0,37 kW) ja VTS436 (0,25 kW) on ruumi U04-439 ja U04-436 väljatõmbeventilaatorid, mis kasutamise ajal töötavad täiskiirusega. Kogu väljatõmbeõhk juhitakse hoone katusele. Toidet saavad need seadmed jaotuskilbist JK-V2.

Väljatõmbeventilaator V-4 (0,032 kW) on lifti ventilatsioon, mis saab toidet jaotuskilbist JK-V2.

## 2.2.2 Valgustus

Valgusel on tugev mõju nii inimeste meeleolule kui ka töövõimele. Viimase renoveerimise ajal (2011. aastal) projekteeriti valgustussüsteem vastavalt Eesti standardile “Valgus ja valgustus, töökohavalgustus” EVS-EN 12464-1:2003. See standard täna enam ei kehti. Praegu kehtib Eestis standard “Valgus ja valgustus, töökohavalgustus” EVS-EN 12464-1:2011. Järgnevas tabelis 2.1 võrreldakse valgustiheduse standardite parameetreid, mis oli kasutatud projekteerimise ajal, tänapäevase standardiga.

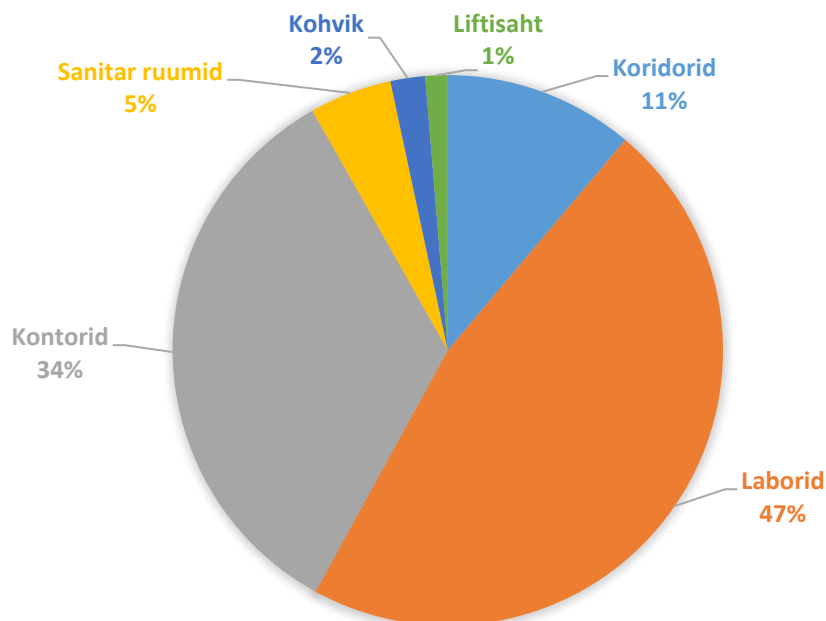
Tabel 2.1 Valgustiheduse võrdlus EVS-EN 12464-1:2003 ja EVS-EN 12464-1:2011 standardite alusel [5, 6]

Ruum liik	EVS-EN 12464-1:2003			EVS-EN 12464-1:2011		
	$E_m, lx$	$UGR_L$	$R_a$	$E_m, lx$	$UGR_L$	$R_a$
Kabinet, nõupidamisruum	500	19	80	500	19	80
Laboriklassid	500	19	80	500	19	80
Koridor	150	28	40	100	25	80
Trepid	150	25	40	150	25	80
WC-d, duširuumid, abiruumid	200	25	80	200	25	80

Veerus 1 on esitatud ruumi nimetus, mille kohta nõuded käivad. Veerus 2 on esitatud veerus 1 kirjeldatud ruumi puhul nõutava valgustustiheduse hooldeväärtus  $E_m$  arvutuslikul tööpinnal. Veerus 3 on esitatud veerus 2 kirjeldatud juhtumite jaoks ühtse eredusteguri enimlubatavad väärtused  $UGR_L$ , kui selle teguri normeerimine on vajalik. Veerus 4 on esitatud veerus 2 kirjeldatud juhtumite jaoks vähim nõutava värviesitusindeks  $R_a$  väärtused. [6]

Tabelist 2.1 on selge, et uue standardi järgi koridori ja trepi valgustuse nõuded on muutunud ja praegune valgustus ei vasta ilmselt uutele normidele.

Joonisel 2.4 on toodud graafik, mis näitab millised valgustite grupid moodustavad IV õppekorpuse valgustussüsteemi ja milline on nende osade osakaal. Täpsem valgustuse loetelu on toodud Lisas 3.



Joonis 2.4 Valgustite summaarne võimsuse osakaal teeninduspiirkonna alusel

IV õppekorpuse vahehoone koridorides ja trepikodades kasutatakse elektroonilise süüteseadmega luminofoorlampe T5 koostöös liikumisanduritega. Ühe lambi võimsus on 35 W. Mujal koridoris (v.a 4. korrusel) kasutatakse elektroonilise süüteseadmega luminofoorlampe T8 1x36 W. Õppelaborites kasutatakse valgusteid lampidega T8 2x36 W. Kontoriruumides kasutatakse valgusteid T8 4x18 W. Kohvikus kasutatakse valgusteid elektroonilise süüteseadmega luminofoorlampe T8 2x36 W. WC-s kasutatakse lakke paigaldatud luminofoorlampe 2x18 W ja 1x14 W seinalampe.

4. korruse koridorivalgustus koosneb seinalampidest (ühe lambi võimsus 75 W) ja luminofoorlampidega (ühe lambi võimsus 58 W) laevalgustitest. Kontorites kasutatakse lambid 1x58 W ja 2x58 W ja laboriruumides kasutatakse luminofoorlampidega valgustid 2x36 W. WC-s on halogeenlambid, ühe lambi võimsus on 50 W.

Osa üldvalgusteid töötab kahel režiimil. Põhirežiimil nad on tavavalgustid ja teisel režiimil töötavad need nagu turvavalgustid. Turvavalgustus peab võimaldama üldvalgustuse rikke korral inimestel lahkuda ohustatud kohast, enne lahkumist ohtlikud protsessid lõpetada või peatada ning tulekustutus- ja päästetöid teha. IV õppekorpuses turvavalgustid on varustatud akuseadmega, mis hädaolukorras võimaldab lambil põleda ilma elektritoiteta kuni 1 tund. Evakuatsioonivalgustitena kasutatakse akuga (1h) ja suunava kleebisega varustatud spetsiaalseid valgusteid. Paanikavältimise-, riskiala- ja evakuatsioonivalgustid põlevad hoones ööpäevaringselt [7].

## 3. MÕÕTMISED JA MÕÕTETULEMUSTE ANALÜÜS

### 3.1 Mõõtemetoodika ja –seadmed

Mõõtmise eesmärgiks oli saada ettekujutus ventilatsiooni ja valgustuse tegelikust energiatarbimisest. Saadud andmete põhjal on võimalik teha tarbimise analüüs ja siis seejärel leida optimaalsed lahendused, kuidas energiatarbimist vähendada.

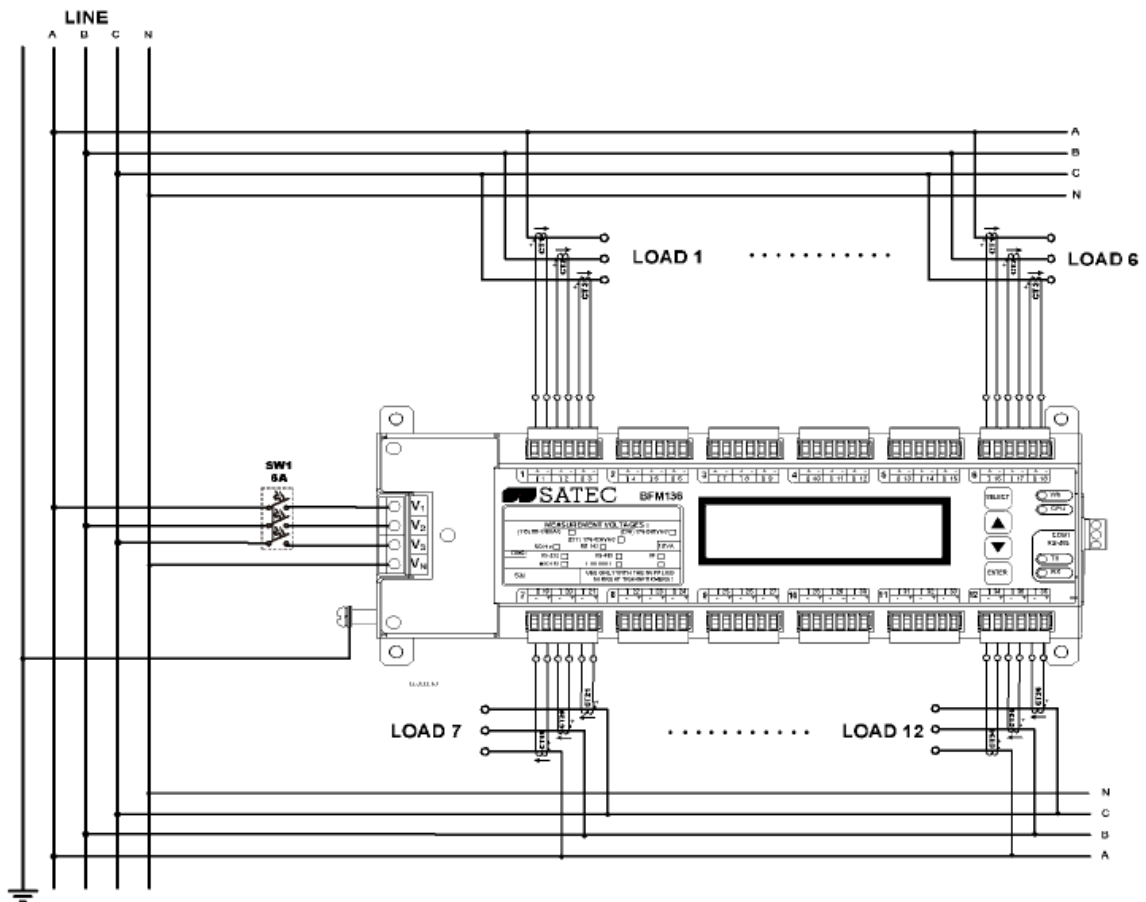
Ventilatsiooni energiatarbimise mõõtmised teostatakse läbi jaotuskilpide, mis asuvad keldris tehnoruumis (U04-014) ja pööningul. Tehnoruumis asuv jaotuskilp JK-V1 annab toidet ventilatsioonisüsteemidele SV-2, SV-3, suitsueemaldussüsteemile (SE-1, SE-2, SE-3) ning ventilaatorile S-1 ja V-9. Mõõtmised tehti ajavahemikus 20.03.2019 kl 13:00 kuni 25.03.2019 kl 15:00 intervalliga 5 minutit ja ajavahemikus 25.03.2019 kl 15:00 kuni 29.03.2019 kl 08:00 intervalliga 2 minutit. Pööningul tehti mõõtmised JK-5VK1, JK-5VK2 ja JK-V2. Jaotuskilbist JK-V2 mõõdeti järgmiste väljatõmbe- ja sissepuhumisventilaatorite tarbimist: V-1, V-2, V-3, V-4, V-5, V-6, V-7, V-8, VTS1, VTS439, VTS436, VTS2 ja S-2. Mõõtmised tehti ajavahemikus 29.03.2019 kl 09:00 kuni 05.04.2019 kl 07:00. Jaotuskilbist 5VK1 saadi ventilatsioonisüsteemi SPS1/ VTS1.1 tarbimise andmed. Jaotuskilbist 5VK2 saadi andmed ventilatsioonisüsteemis SPS2/VTS2.1 tarbimise kohta. Energiatarbimise mõõtmised tehti ajavahemikus 05.04.2019 kl 14:00 kuni 12.04.2019 kl 12:00.

Valgustuse energiatarbimise mõõtmiseks valiti jaotuskilbid JK-6 ja JK-7. Need kaks jaotuskilpi asuvad teisel korrusel ja mõõtmine nendes jaotuskilpides annab võimalus hinnata kõrgema hoone teise korruse valgustuse tarbimist, v. a osad laboriruumid, kus valgustus saab toidet laborisse paigaldatud jaotuskilpidest.

#### 3.1.1 Mõõteseade

Mõõtmiseks kasutati mitmekanalilist kolmefaasilist võimsuse andmesalvestit (logerit) BMF136. Sellega on võimalik mõõta nii ühefaasilisi kui ka kolmefaasilisi võrke. Kokku võimaldab see seade 36 ühefaasilise või 12 kolmefaasilise ahela mõõtmist. BFM 136 aktiiv-, reaktiiv- ja täisvõimsuse mõõteviga (FS) on 0,02%. Voolu mõõdab see seade voolutrafo abil. Kasutatud voolutrafo võimaldab mõõta voolu maksimaalselt väärtusega 100 A. Samaaegselt on võimalus kasutada kuni 36 voolutrafot. Joonisel 3.1 on näha andmesalvesti paigaldamise skeem. Load 1-12 on voolu mõõtmise grupid. Iga grupp sisaldab 3 voolutrafot. Seade ühendatakse võrku läbi automaatlüliti. Seades on olema järgmised ühenduspordid: RS-485, RS-232, Ethernet. Port RS-485 võimaldab ühendada kokku kuni 32 andmesalvestit, aga liini maksimaalne pikkus ei tohi ületada 1000 meetrit. Läbi port RS-232

on võimalus ühendada BFM 136 arvutiga. Etherneti abil on võimalus ühendada BFM 136 Internetiga.



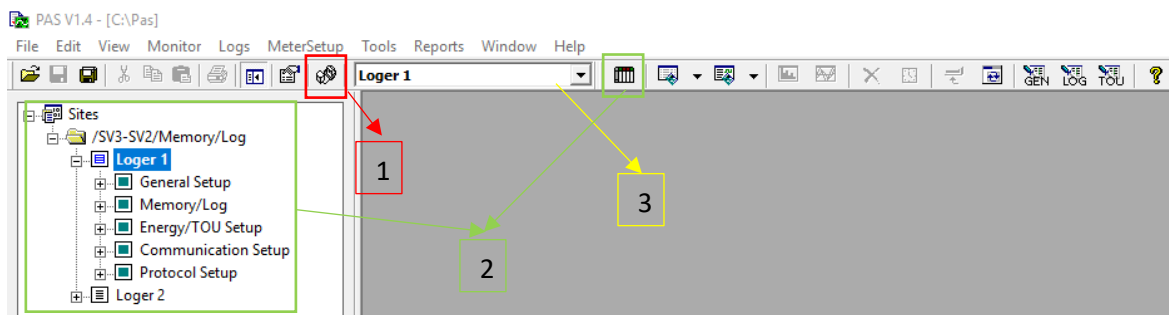
Joonis 3.1 BFM 136 paigaldamise skeem [8]

Seadet saab programmeerida kahel viisil. Esimene võimalus on kohapeal – seade on varustatud LCD-ekraaniga ja nelja nupuga. Teine võimalus on teha seda kaugjuhtimise teel. See viis võimaldab jälgida tarbimist ja programmeerida seadet tarkvara abil kaugjuhtimise teel.

### 3.1.2 Tarkvara

Kõnealuse andmesalvesti programmeerimiseks ja mõõteandmete allalaadimiseks ning analüüsimiseks kasutatakse tarkvara PAS. Tarkvara töötab nii *online*- ja *offline*-režiimil. *Online*-režiim võimaldab reaalajas vaadata tarbimist, andmeid laadida ja seadet programmeerida, juhul kui BFM 136 on ühendatud interneti või arvutiga. *Online*-režiim võimaldab salvestada ühe logeri parameetrid ja sisestada samad parameetrid teistele sama mudeli andmesalvestitele. Seega pole vaja iga andmesalvestit eraldi programmeerida, kui nad peavad töötama samade parameetritega. *Offline*-režiim võimaldab allalaetud andmed üle vaadata ja valmistada seade ette seadistuseks.

Joonisel 3.2 on toodud PAS tarkvara pilt, kus 1 on režiimi valimine (*Online/Offline*), 2 on mõõteseadme seadistamine (ülal olev nupp võimaldab seadistada ainult valitud andmesalvesti üldparameetreid, vasakpoolne tulp võimaldab andmesalvesti üksikasjalikku seadistamist), 3 on andmesalvesti valimisenupp.



Joonis 3.2 PAS tarkvara tööaken

## 3.2 Energiatarbimise mõõdistused

### 3.2.1 Ventilatsioon

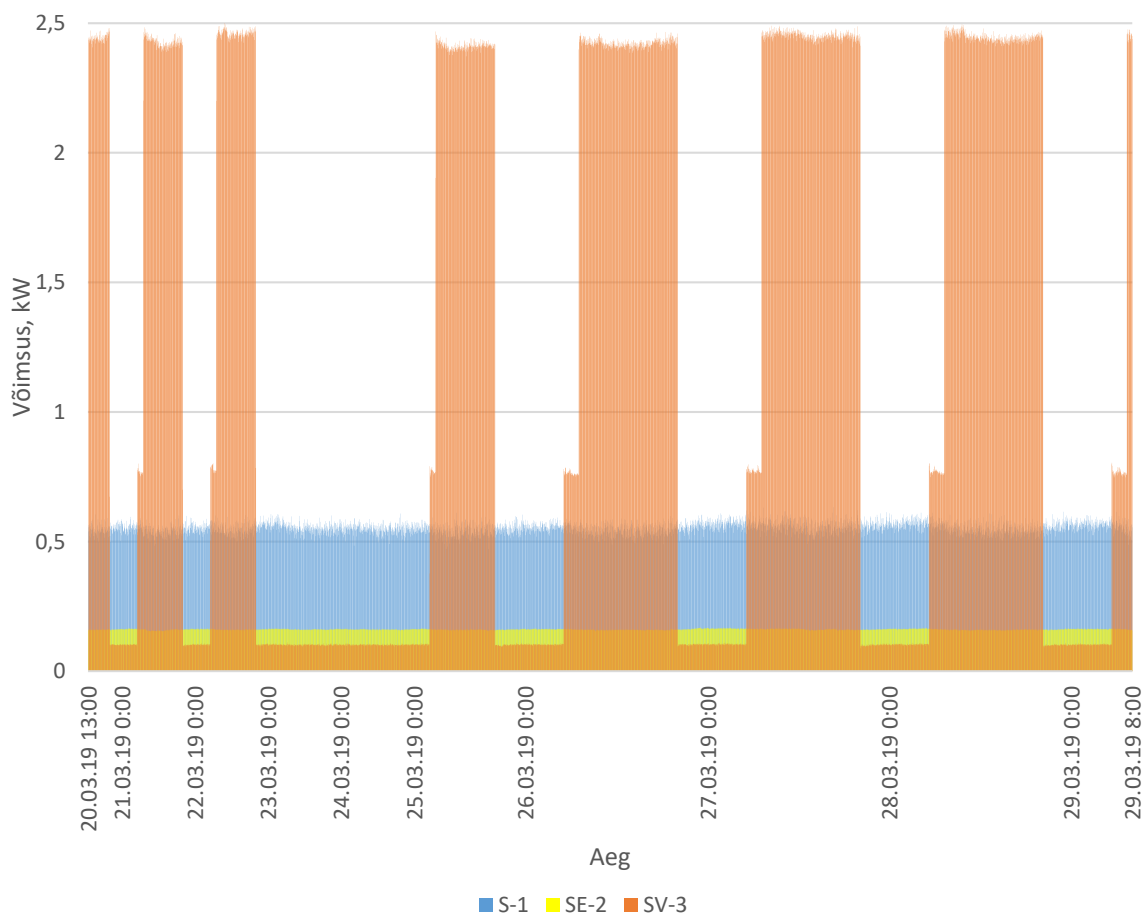
Mõõteseadme (BFM136) abil mõõdeti üle järgmiste ventilatsiooniagregaatide energiatarbimine: SV-2, SV-3, SPS1/VTS1.1, SPS2/VTS2.1, S-1, S-2, S-3, V-1, V-2, V-3, V-4, V-5, V-6, V-7, V-8, V-9. SE-1, SE-2, SE-3, VTS1, VTS2, VTS439 ja VTS436. Lisas 4 on toodud ventilaatori ja ventilatsioonisüsteemi üldised mõõtetulemused. Tabelist on näha, et osad ventilaatorid ei tarbinud üldse elektrienergiat. Ventilaator SE-1 töötab siis, kui on tarvis suitsueemaldust, kuid mõõtmise perioodil suitsueemaldust ei toimunud. Ventilaatori VTS1 automaatkaitaselüliti oli OFF asendis. Ventilaatori V-9 ja SV-2 sagedusmuundurid olid välja lülitatud. Ventilaatorite S-2, S-3, V-5, V-6 ja V-8 teenindatavaid ruume ei kasutanud, seetõttu tarbimine oli null. Ventilaatori tööpäeva ja puhkepäeva keskmise võimsuse graafikud on toodud Lisades 5 ja 6.

Ventilaatorite S-1, V-1, V-2 teeninduspiirkond on kohvik, mis asub 1. korrusel. Ventilaatori S-1 mõõtetulemus on ette nähtud joonisel 3.3. Jooniselt on näha, et see ventilaator töötas kogu aeg keskmise võimsusega 0,55 kW, mis on 37% ventilaatori koguvõimsusest. See mõõtetulemus ei vasta tööprojektile, sest jooniselt 3.5 on näha, et ventilaator V-2 töötas mõõteperioodil kogu aeg keskmise tootlikkusega 0,23 kW, mis on 50% ventilaatori koguvõimsusest. Ventilatsiooniprojekti järgi pidi see ventilaator töötama ainult siis, kui kohviku kuumkööki kasutatakse täisvõimsusel ja samal ajal töötab ventilaator V-1 100% tootlikkusega. Kui kuumkööki ei kasutata, siis peaks ventilaator V-1 töötama 15% tootlikkusega. Kuid tegelikkus on teine. Joonisel 3.5 on näha, et

väljatõmbeventilaator V-1 töötas mõõteperioodil kogu aeg keskmise tootlikkusega 0,06 kW, mis on 30% ventilaatori koguvõimsusest.

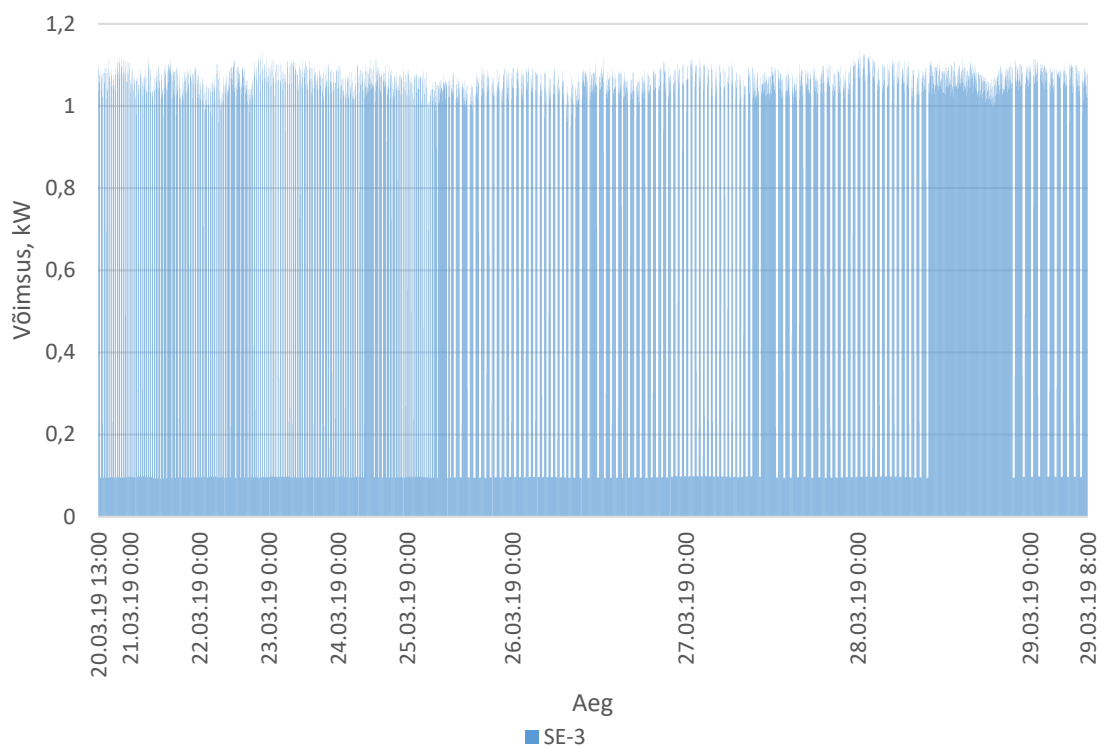
Ventilatsioonisüsteem SV-3, mille teeninduspiirkond on madala korpuse hoone osa (nn vahehoone), töötas kahel režiimil. Mõõtetulemused on näha joonisel 3.3. Tööpäeviti kella 07:00 kuni 20:00 töötas see süsteem täie võimsusega, muul ajal umbes 25% võimsusega. Mõõtetulemused näitavad, et tööpäeviti töötas ventilatsioonisüsteem tõesti täiskiirusel, nagu ventilatsiooniprojekt ette näeb, kuid muul ajal, kui süsteem peab töötama 50% tootlikkusega, töötas 25% tootlikkusega.

Suitsueemaldusventilaator SE-2 töötas mõõtmise ajal tavarežiimil. Joonisel 3.3 on näha, et ventilaator töötas kogu aeg keskmise aktiivvõimsusega 0,16 kW, mis on umbes 17% ventilaatori võimsusest. See tulemus on lähedal tööprojektis ettenähtule (20%). Kui ventilaator SE-2 töötas suitsueemaldusrežiimis, siis pidi graafikul tema aktiivvõimsuse väärtus olema umbes 1,1 kW, aga seda joonisel näha ei ole.



Joonis 3.3 Ventilaatori S-1, SE-2 ja SV-3 võimsuse mõõtetulemus

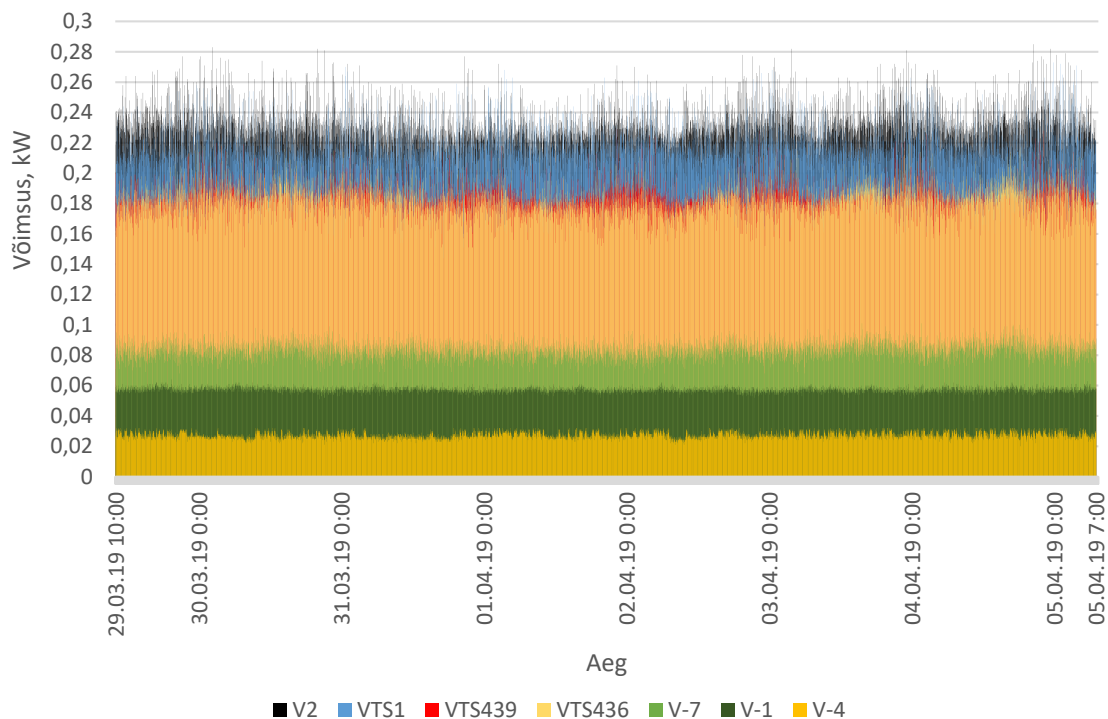
Suitsueemaldus ventilaatori SE-3 teeninduspiirkond on keldris asuv tehnoruum (U04-014). Mõõtmise ajal töötas ventilatsiooniseade tavarežiimil. Joonisel 3.4 on näha, et ventilaator töötas ebastabiilselt. Põhjus on sellest, et kui ruumi temperatuur oli 30 °C lähedal, siis töötas ventilaator 50% võimsusega. Tegelikult ei ületanud ventilaatori võimsus 1,135 kW, mis on 28% ventilaatori koguvõimsusest. Joonisel on ka näha, et ventilaator ei tööta suitsueemaldusrežiimil, sest sellel režiimil pidanuks ventilaator töötama 100% tootlikkusega.



Joonis 3.4 Suitsueemaldus ventilaatori SE-3 võimsuse mõõtetulemus

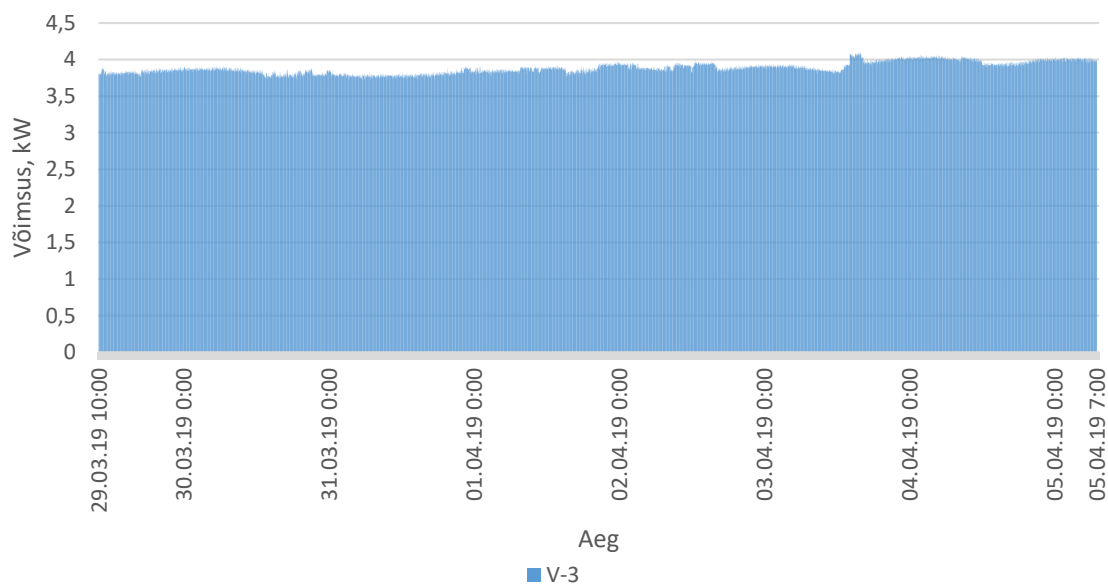
Joonisel 3.5 on toodud väljatõmbeventilaatori VTS1, VTS436, VTS439, V-4, V-7, V-1 ja V-2 aktiivvõimsuse mõõtetulemused. Väljatõmbeventilaatori VTS1 teeninduspiirkond on kõrgema hoone osa WC-d ja koristajaruumid. Ventilaator töötas mõõteperioodil kogu aeg keskmise tootliku võimsusega 40%. Väljatõmbeventilaatori VTS436 teeninduspiirkond on ruum U04-436. Ventilaator töötas mõõteperioodil kogu aeg keskmise tootliku võimsusega 70%. Väljatõmbeventilaatori VTS439 teeninduspiirkond on ruum U04-439. Ventilaator töötas mõõteperioodil kogu aeg keskmise tootliku võimsusega 50%. Väljatõmbeventilaatori V-4 teeninduspiirkond on liftišaht. Ventilaator töötas mõõteperioodil kogu aeg täisvõimsusega. Väljatõmbeventilaatori V-7 teeninduspiirkond on ruumi U04-305 tõmbekapid. Ventilaator töötas mõõteperioodil kogu aeg täisvõimsusega.





Joonis 3.5 Ventilatori V-2, VTS1, VTS439, VTS436, V7, V-1 ja V-4 võimsuse mõõtetulemus

Väljatõmbeventilaatori V-3 teeninduspiirkond on hapetega seotud tõmbekapid. Jooniselt 3.6 on näha, et ventilator töötab mõõteperioodil kogu aeg keskmise võimsusega 97%.

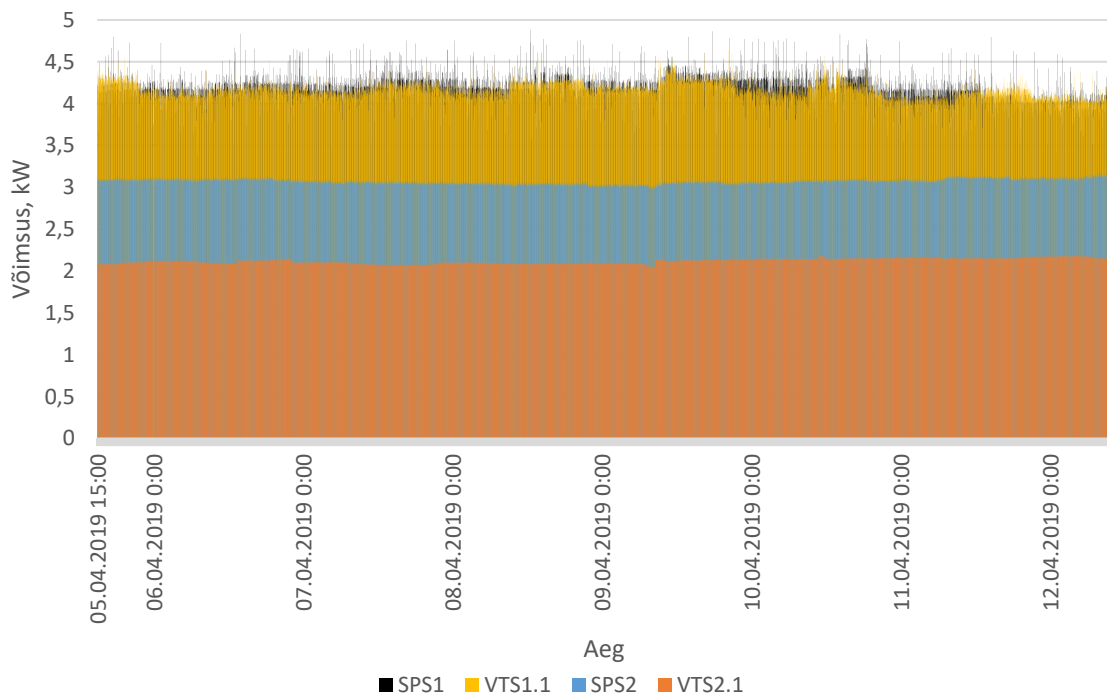


Joonis 3.6 Ventilatori V-3 võimsuse mõõtetulemus

Joonisel 3.7 on toodud ventilatori SPS1, VTS1.1, SPS2 ja VTS2.1 võimsuse mõõtetulemused. Sissepuhumisventilaatori SPS1 ja väljatõmbeventilaatori VTS1.1 teeninduspiirkond on 1. – 4. korruse hoone parem osa. Ventilator SPS1 töötab mõõteperioodil kogu aeg keskmise võimsusega

4,2 kW, mis on 23% ventilaatori koguvõimsusest. Ventilaator VTS1.1 töötas mõõteperioodil kogu aeg keskmise võimsusega 4,13 kW, mis on 27% ventilaatori võimsust. Mõlemad ventilaatorid töötasid ühtlaselt, ilma suure võimsuse kõikumiseta.

Sissepuhumisventilaatori SPS2 ja väljatõmbeventilaatori VTS2.2 teeninduspiirkond on 1. – 4. korruse hoone vasak pool. Ventilaator SPS2 töötas mõõteperioodil kogu aeg keskmise võimsusega 3,1 kW, mis on 17% ventilaatori koguvõimsusest. Ventilaator VTS2.1 töötas mõõteperioodil kogu aeg keskmise võimsusega 2,12 kW, mis on 14% ventilaatori võimsusest.



Joonis 3.7 Ventilaatori SPS1, VTS1.1, SPS2, VTS2.1 võimsuse mõõtetulemused

Mõõtetulemuste alusel on võimalik öelda, et tegelikult kasutatakse ainult 2% installeeritud ventilaatori võimsusest. IV õppekorpuse ventilatsioonisüsteem töötab nagu CAV (*Constant Air Volume*) ventilatsioonisüsteem, välja arvatud ventilaator SE-2 ja SE-3, mille tööd reguleerib temperatuuriandur. Nimelt on selge, et ventilatsioonisüsteem töötab konstantse õhuvooluhulgaga. Selle süsteemi eeliseks on odavus ja kerge ventilaatori kiiruse reguleerimine. Puudused on suur energiakulu ja õhuvool konstantselt kõigis ruumides, sõltumata koormusest.

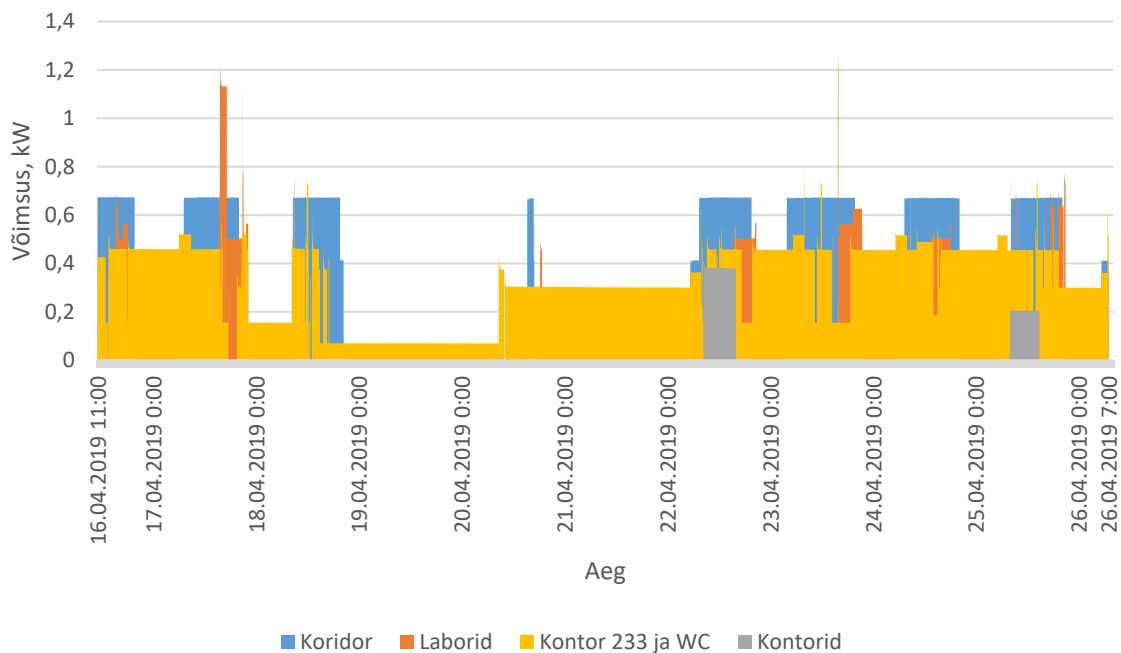
### 3.2.2 Valgustus

Valgustuse energiatarbimise mõõtmised teostatud ajavahemikus 16.04.2019 kl 11:00 kuni 26.04.2019 kl 7:00 mõõteintervalliga 2 minutit. Mõõtmised teostati jaotuskilbis JK-6 ja JK-7. Valgustuse tööpäeva ja puhkepäeva keskmise võimsuse mõõtetulemustega on võimalus tutvuda

Lisades 7 ja 8. Mõõtetulemuse alusel on selge, et ruumides 212, 213a, 215, 228, 229, 230, 216, 217, 218, 220, 220b, 223–227 mõõteperioodil valgustust ei kasutatud. Põhjus võib olla see, et mõõteperioodil oli ilm hea ja loomulikku valgust võis olla piisavalt [9]. Joonisel 3.8 oleval graafikul on esitatud valgustite grupid, mis mõõteperioodi ajal tarbisid elektrienergiat. Jooniselt on näha, et põhitarbijad on koridori valgustid ja WC-ruumide valgustid. Muid valgusteid kasutati ainult ruumi viibimise ajal ja siis, kui loomuliku valgust ei olnud piisavalt.

Graafikult on näha, et WC-valgustite töö ei ole reguleeritav, sest lambid saavad põleda ajal kui ruumi ei kasutata (näiteks öösel), mis raiskab elektrienergiat.

Koridori valgustid põlesid täisvõimsusega ja graafikult on näha, et neid valgusteid kasutatakse tööpäeviti hommikust õhtuni ja lülitakse välja alles ööseks. Selles grupis ei kasutata juhtimisautomaatikat, mis tähendab, et elektrienergiat kasutatakse ebaratsionaalselt.



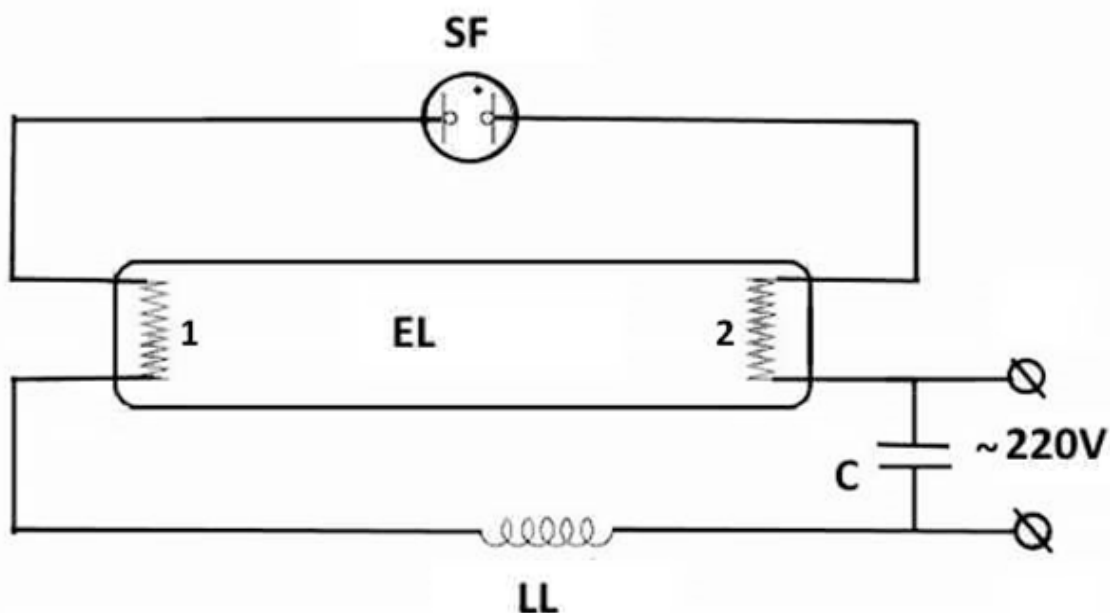
Joonis 3.8 Valgustite võimsuse mõõtetulemus

## 4. ETTEPANEKUD KULUTÕHUSUSE PARANDAMISEKS

### 4.1 Passiivsed meetodid

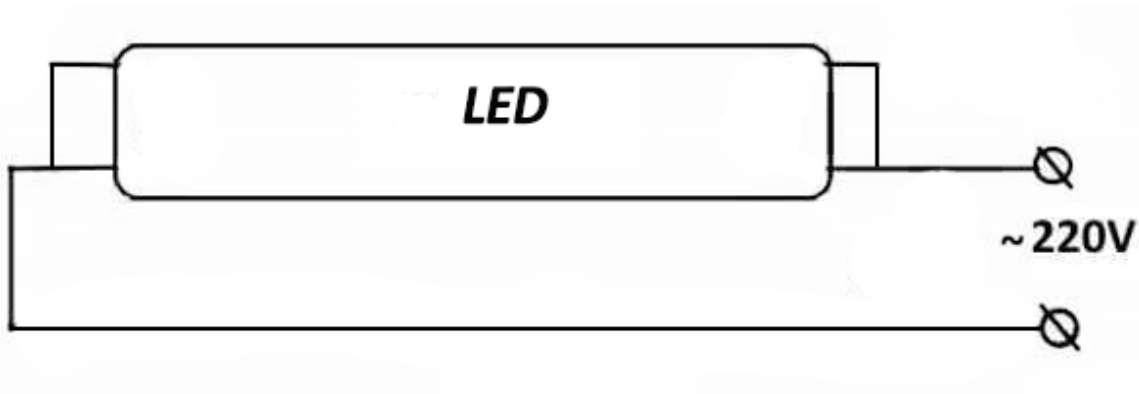
#### 4.1.1 Tava ja LED valgusti võrdlemine

Kulutõhusa valgustuse jaoks passiivne meetod on vahetada luminofoorlambid LED-lampide vastu. Näiteks, luminofoorlamp 36W sokliga T8 LED-analoog on 18W. See tähendab, et LED-valgustid tarbivad kaks korda vähem elektrienergiat, kui tema luminofooranaloog. Kvaliteetse luminofoorlambi tööaeg võib olla 15000-20000 tundi, aga kasutusaja lõppedes võib valgusvoog vähendada kuni 60%. LED-lambi tööaeg on keskmiselt 30000–50000 tundi ja probleem valgusvoo vähenemisega pole. LED-valgustite eelis on võimalus reguleerida valgustusvoogu dimmeri e häämardi abil. Luminofoorlambid võimaldavad reguleerida valgustusvoogu, aga väiksem diapason ja reguleerimisprotsess vähendavad luminofoorlambi tööaega. Joonisel 4.1 on toodud luminofoorlambi skeem startermehhanismiga, kus EL on luminofoorlamp, SF on starter, LL on drosseli ja C on kondensaator. Selline skeem saab töötada ilma kondensaatorita, aga siis kasvab tarbitav elektrienergia hulk ja väheneb seadmete tööaeg.



Joonis 4.1 Luminofoorlambi skeem ballastdrosseliga [10]

Skeem joonisel 4.1 ei sobi tavalise LED-lambi kasutuseks. Kui skeemilt eemaldada startermehhanism ja drossel koos kondensaatoriga ja ühendada juhtmed nagu joonisel 4.2, siis selline skeem sobib LED-torulambi kasutamiseks.



Joonis 4.2 LED-lambi skeem

Tootja Osram pakub LED-torulampe T5 ja T8 mudeli nimega SubstiTUBE. See lamp võimaldab vahetada luminofoorlampe LED-lampide vastu ilma lambi mehhanismi ümber ehitamata. On tarvis selgeks saada, millist liitseadet kasutatakse lambis, kas elektroonilist (ECG) või drosseliga (CCG) liitseadet. Juhul, kui lambis kasutatakse elektroonilist liitseadet, siis sobib LED-lamp Osram SubstiTube indeksiga HF (sobib ainult koos ECG) või Universal (sobib nii ECG kui ka CCG). Lampid, kus kasutatakse drosseliga liitseadet, võivad sobida Osram SubstiTube indeksiga EM (sobib ainult koos CCG) või Universal [11].

#### 4.1.2 LED valgusti tasuvusaega arvutamine

LED-lampide majandusliku efektiivsuste hindamiseks oli tehtud arvutused, mis näitasid LED-lampide tasuvusaega erinevate valgustusrühmade puhul. Arvutustulemustega on võimalik tutvuda Lisas 9. Tasuvusaja hindamine toimus alginvesteeringute ja aastakulude erinevuse alusel.

Alginvesteeringute arvutamiseks kasutatakse valemit [14]

$$a = b \cdot c + d + e \quad (4.1)$$

Kus a – alginvesteeringud, €,

b – valgustite arv, tk

c – ühe valgusallika maksumus, €

d – ühe valgusti paigalduskulud, €

e – lisakulud (andurite hind ja paigaldiskulu), €

Selles valemis on konstantne ainult valgustite arv, muude tegurite väärtus võib sõltuda hinnapakkumisest. Arvutamisel kasutati keskmisi turuhindu.

Alginvesteeringute erinevuse arvutamiseks kasutatakse valemit

$$F = a_{LED} - a_{Tava} \quad (4.2)$$

Kus F – alginvesteeringute erinevus, €

$a_{LED}$  – LED lampide investeeringud, €

$a_{Tava}$  – tavaliste lampide investeeringud, €

Aastakulu arvutamiseks kasutatakse valemit

$$g = b \cdot h \cdot \left( \frac{i \cdot j}{1000} + \frac{k}{l} \right) \quad (4.3)$$

Kus g – aastakulu, €

b – valgustite arv, tk

h – töötunnid aastas, tundi

i – ühe valgusti energiakulu, W

j – elektrienergia hind, €/kWh

k – ühe lambivahetuse kulu, €

l – valgusallika eluiga, tundi

Selles valemis on konstantne ainult valgustite arv, muude tegurite väärtus on muutuv.

Aastakulu erinevuse arvutamiseks kasutatakse valemit

$$M = g_{Tava} - g_{LED} \quad (4.4)$$

Kus M – aastakulu erinevus, €/aastas

$g_{LED}$  – LED valgustite aastakulu, €

$g_{Tava}$  – tavaliste valgustite aastakulu, €

Tasuvuseaega arvutamiseks kasutatakse valemit

$$T = \frac{F}{M} \quad (4.5)$$

Kus T – tasuvusaeg, aastat

F – alginvesteeringute erinevus, €

M – aastakulu erinevus, €/aastas

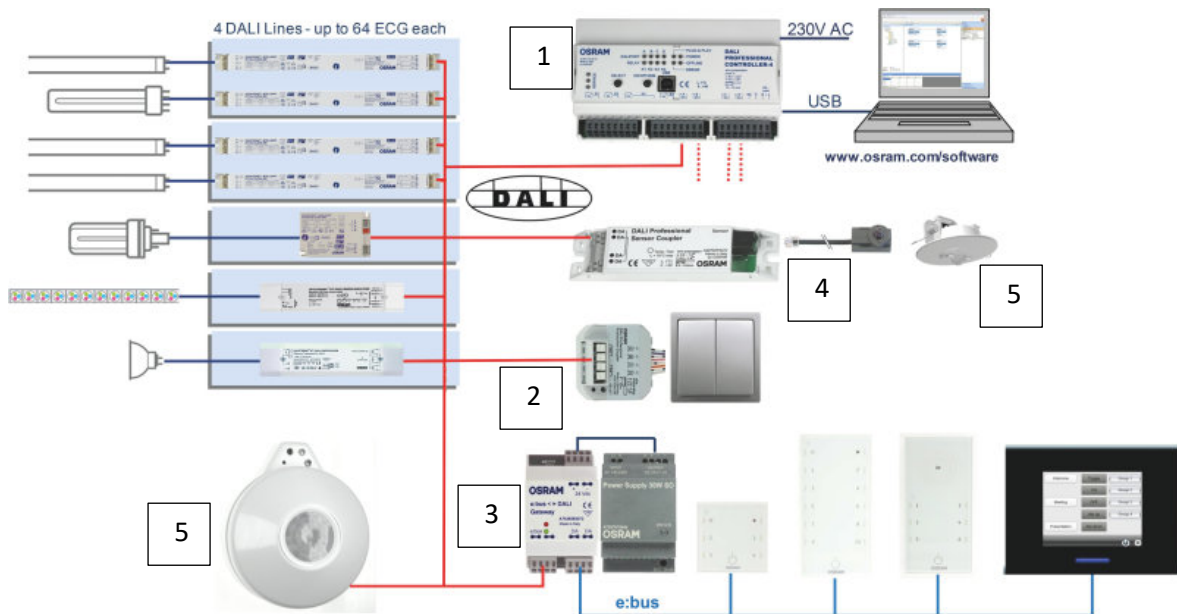
Saadud tulemuste põhjal on võimalik öelda, et kontorites ja laborites alginvesteeringute summa on suur ja tasuvusaeg on liiga pikk. Sellise tulemuse põhjus on lühike periood, mille jooksul selles ruumis valgustust aastas kasutatakse. Koridorivalgustuse jaoks on kõige odavam lahendus kasutada LED-lampe Osram Substitube. Selle lahenduse tasuvusaeg on 5,2 aastat. Samade LED-lampide (koos liikumisanduritega) tasuvusaeg on pikem – 5,6 aastat. Tavaliste LED-lampide tasuvusaeg on 7,6 aastat. Pikema tasuvusaja põhjus on lisakulud, mis kaasnevad lampide ümberehitamisega. Sanitaarruumide jaoks parem lahendus oleks kasutada LED-lampe koos liikumisanduritega. Tasuvusaeg oleks 5 aastat. Mõõtetulemused näitasid, et valgustus sanitaarruumis on tihti sees ööpäevaringselt. Liikumisanduri eesmärk on vähendada valgustuse kasutamise aega. Lambi töötundide vähenemine lühendab ka tasuvusaega.

## 4.2 Aktiivsed meetodid

### 4.2.1 DALI valgustus süsteem

IV õppekorpuses valgustuse juhtimiseks oleks võimalik kasutada DALI (*Digitally Addressable Lighting Interface*) avatud protokoll. Avatud protokoll tähendab, et protokoll on kättesaadav kõikidele tootjatele. Üks DALI-liin võimaldab ühendada kuni 64 seadet. Igal seadmel või seadmegrupil on isiklik aadress, mis annab võimalus juhtida neid eraldi. DALI kasutab digitaalset signaali, mis tagab kahe-suunaline side. See võimaldab DALI süsteemil kontrollida ja saada informatsiooni lampide ja seadmete olukorrast. See tähendab, et DALI protokoll kasutamine tagab lampide parema juhtimisvõimaluse. Juhul, kui liinile on vaja ühendada rohkem kui 64 seadet, kasutatakse DALI Gateways'i. Vajadusel on võimalus ühendada omavahel mitu DALI kontrollerit ja luua kontrollerite võrk, mis aitab paremini seadmete seisukorda jälgida, sest iga kontroller jälgib ainult temale ettenähtud liini tööd. DALI kontrollerite võrgu võib ühendada näiteks KNX protokoll kontrolleriga, mis töötab teise hoone automaatikasüsteemidega.

Joonisel 4.3 on toodud DALI seadmete ühendusskeem (seadmete tootja on Osram), kus 1 on DALI kontroller (DALI PRO CONT-4 RTC), 2 on DALI PRO Pushbutton Coupler, 3 on E-BUS DALI Gateway, 4 on DALI Pro Sensor Coupler ja 5 on andurid.



Joonis 4.3 DALI komponentide ühendusskeem [11]

DALI PRO Controller-4 RTC on peamiseks juhtimisblokkiks. Kontrollerite abil on võimalus kontrollida kuni nelja seadmeliini. Igal liinil võib olla kuni 64 seadet. Ühtekokku annab sellisesse süsteemi ühendada kuni 256 seadet. Kontroller annab võimaluse luua ühe liini peal 16 gruppi. Juhtimine võib toimuda käsitsi (manuaalselt), ööpäevaringselt või kohalolu alusel. Kontroller programmeeritakse tarkvara abil ja ühendatakse arvutiga USB kaudu. Kontrolleris on võimalik kasutada „plug and play“ standardit. See standard võib töötada koos „pushbutton couplers“ seadmega ja liikumisanduritega, mis võimaldab juhtida valgustust igas seadmes või grupis eraldi.

DALI Pro Pushbutton Coupler on seade, mis töötab koos tavalise lülitiga. Kokku on ühe seadme juurde võimalik lülitada kuni neli lülitit. Seade jälgib lülitite oleku muutusi ja edastab informatsioon kontrollerile.

DALI Pro Sensor Coupler on seade, mis lubab ühendada andureid üheks DALI süsteemiks. See seade kogub mõõteandmed liikumis- ja valgusandurist ja edastab selle info peakontrollerile. Liikumisanduri andmeid saab kasutada „plug and play“ režiimil ja valgusanduri andmeid kasutatakse valgusvoo reguleerimiseks dimmeri abil.

E-BUS DALI Gateway on seade, mis toimib sideliidesena E-BUS juhtimissüsteemi elementide ja DALI kontrolleri vahel. On võimalik käskude ja andmete vahetamine mõlemas suunas, E-BUS-st DALI-sse ja vastupidi.

Tabelis 4.1 on toodud arvutuslikud DALI komponentide hinnad. Seadmete hind on kokku 24800 €. Veel puuduvad seadmete paigalduse kulud. Kui vaadata Lisa 9, siis on selge, et osade valgustusgruppide tasuvusaeg on liiga pikk juba ilma DALI valgustussüsteemita. IV õppekorpuse



valgustussüsteemi keskmine tasuvusaeg on 23 aastat. Kui lisada veel alginvesteeringuse DALI süsteemi maksumus, siis tasuvusaeg kindlasti suureneb.

Tabel 4.1 DALI komponentide maksumus [16]

Toote nimi	Hind, €/tk	Seadmete arv, tk	Maksumus, €
DALI PRO CONT-4 RTC	1000	1	1000
DALI liikumisandur	20	80	1600
DALI Pro Sensor Coupler	80	40	3200
DALI liitseade	4	1250	5000
DALI PRO Pushbutton Coupler	70	200	14000

DALI süsteemi eelised: avatud protokoll, jälgimise ja paindliku juhtimise võimalused, kulutõhususe parandamine, võimalus integreerida teiste hoonete automaatikasüsteeme, DALI on laiendatav süsteem. Puudused: raske paigaldamine ja seadistamine, suur maksumus.

#### 4.2.2 Autonoomsed andurid

Üks võimalus valgustuse kulutõhususe parandamiseks, mis ei nõua keerulise valgustussüsteemi ehitamist, on autonoomsete andurite kasutamine. Andurid kuuluvad konkreetse valgustuse tüüpide juurde ja juhivad ainult neid. Autonoomsed andurid on näiteks liikumisandurid ja valgusandurid. Liikumisanur saab säästa 6% tarbitavast elektrienergiast. Liikumisanurid sobivad hästi koridorivalgustite juhtimiseks. Liikumisanurisse on sisse ehitatud programmeeritav taimer, mis annab käsu releele lülitada valgustid välja juhul, kui teatud ajavahemikul mingit liikumist anduri tööpiirkonnas ei toimu. IV õppekorpuses kasutatakse liikumisanduriga valgusteid ainult vahehoone koridorides ja treppidel. Tasub kaaluda ka liikumisandurite kasutamist sanitaarruumis, sest valgustuse mõõtetulemused näitasid, et selle grupi valgustust kasutatakse ebaratsionaalselt.

Kontori jaoks võiks sobida lahendus, mis koosneb LED-lampidest kombineeritult liikumis- ja valgustusanuritest. Tasuvusaja arvutused näitasid, et kontorite jaoks ainult LED-lampide paigaldamine teeb tasuvusaja liiga pikaks üle 60 aasta (vaata Lisa 9). Kui lisada veel andurite hind ja paigalduskulud, siis tasuvusaeg võib veelgi kasvada, sest selles grupis ei ole valgustuse kasutamisaeg aasta jooksul kuigi pikk.

Autonoomse anduri eelised: koostöö tavalülititega, kerge paigaldus, odavus, kulutõhususe parandamine, anduri töö reguleerimisvõimalus. Puudused: madal funktsionaalsus, puudub võimalus töö jälgida, kaugseadistada ning kaugjuhtida.

### 4.2.3 CO<sub>2</sub> anduri kasutamine ventilatsioonisüsteemis

Ventilatsiooni aktiivse meetodi kulutõhususe parandamiseks võib nimetada CO<sub>2</sub>-anduri kasutamist. CO<sub>2</sub>-andur analüüsib CO<sub>2</sub>-gaasi sisaldust ruumi õhus ja kui CO<sub>2</sub> sisaldus õhus suureneb ettenähtud väärtuseni, saadakse käsk avada VAV-klapp ja ruumis või ruumide grupis alustatakse intensiivsemat õhu ventileerimist. Tühjas ruumis, näiteks öösel ja nädalavahetusel, pole vaja nii võimsat ventilatsiooni nagu tööpäeval. Sellise tööprintsibiiga ventilatsioonisüsteemi nimetatakse DCV (*Demand Controlled Ventilation*) nõudluspõhiselt reguleeritavaks ventilatsioonisüsteemiks. IV õppekorpuse ventilatsiooni mõõtetulemused näitasid, et seal kasutatakse CAV (*Constant Air Volume*) konstantse õhuvooluhulgaga ventilatsioonisüsteemi. IV õppekorpuses töötab ainult ventilatsioonisüsteem SV-3 ajagraafiku alusel ja see reguleerib ventilaatori kiirust ka sellesama parameetri abil. Kuid see ei tähenda, et ventilaatorid töötavad kulutõhususerežiimil. Ventilaatorid võivad ventileerida värsket õhku mittekasutatavas ruumis, mis toob kaasa täiendava elektrienergia kulu.

Selleks, et hinnata CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni muutust ruumis kasutatakse järgmine valem [13]:

$$V \frac{dC}{dt} = G + QC_0 - QC \quad (4.6)$$

Kus V- ruumi maht, m<sup>3</sup>

C- CO<sub>2</sub> kontsentratsioon ruumis, ppm

t- aeg, h

G- CO<sub>2</sub> tootmise kiirus, ppm

Q- ventilatsiooni kiirus, m<sup>3</sup>/s

C<sub>0</sub>- CO<sub>2</sub> kontsentratsioon väljas, ppm

Isiku poolt hingamise ajal tekkinud CO<sub>2</sub> võib hinnata järgmiselt:

$$Q_{co2.gen} = \frac{0.00276 \cdot A_D \cdot MET}{(0.23RQ + 0.77)10^3} \quad (4.7)$$

Kus A<sub>D</sub>– keha pindala, m<sup>2</sup>

MET- füüsilise aktiivsuse tase

RQ- hingamistegur

Keskmisel täiskasvanutel keha pindala on 1,8 m<sup>2</sup> ja rahuliku seisukorras hingamistegur on 0,83. Inimestel, kellel on peamiselt istuv tegevus MET on 1,2.

Kui ventilatsioon on välja lülitatud, siis  $Q=0$ . Ventilatsiooni seiskamise hindamiseks kasutatakse valem:

$$\tau = \frac{\Delta C \cdot V}{G} = \frac{\Delta C \cdot V}{K \cdot Q_{co2.gen}} \quad (4.8)$$

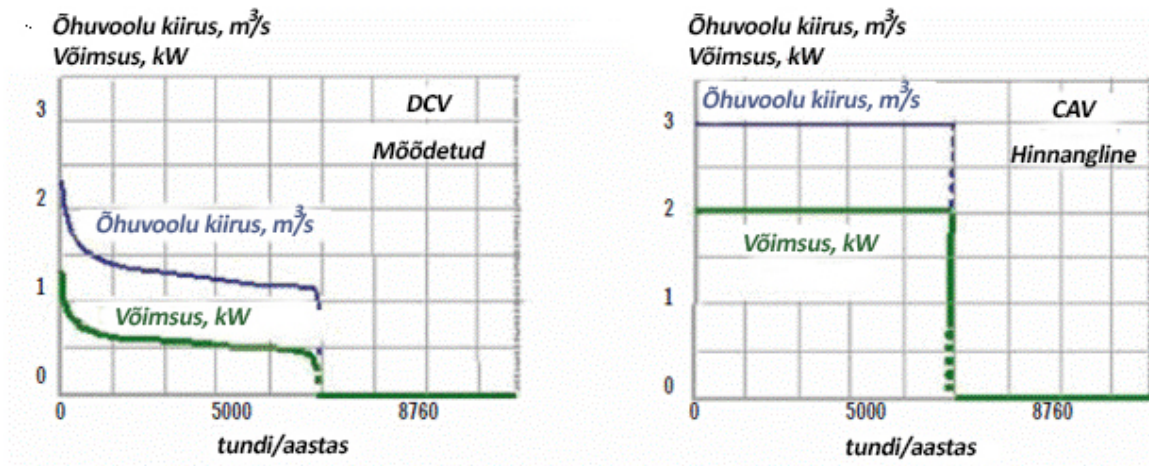
Kus  $K$ - inimeste arv ruumis, tk

$\Delta C$ - lubatud CO<sub>2</sub> kontsentratsiooni muutus algtingimusest piirini, 800-1200 ppm

Hindamiseks võetakse ventilatsioonisüsteem SV-3. Teeninduspiirkonnas asuvad kontorid ja koridorid. Kontorite maht on kokku 1346,1 m<sup>3</sup>, koridoride maht on 675,6 m<sup>3</sup>. Kui kontorides töötavad 40 inimest ja ventilatsioon ei tööta, siis inimesed saavad ilma ventilatsioonita olla 54 minutit. Pärast on vaja uuesti ventilatsioon tööle panna, sest CO<sub>2</sub> kontsentratsioon ruumides jõuab lubatud üleva piirini. Need arvutused veel näitasid, et niimoodi on võimalus säästa elektrienergiat, sest tööpäeval ventilatsioonisüsteem SV-3 töötab 13 tundi võimsusega 2,4 kW. Kui see süsteem tuleb töötada graafiku järgi (1 tund töötab, 1 tund seisab), siis ta võib säästa 14,4 kWh tööpäevas. Tegemist on teoreetilise hinnanguga, täpsema hinnangu saamiseks tuleb täiendavalt uurida ning teostada vastavad mõõtmised.

#### 4.2.4 CAV ja DCV ventilatsioonisüsteemi võrdlemine

Välisuuringu [12] raames võrreldi CAV ja DCV ventilatsioonisüsteeme. Selle uuringu tulemused on toodud joonisel 4.4, kus on kõrvuti DCV ja CAV ventilatsioonisüsteemide töö aasta jooksul. CAV süsteemi tulemused on hinnangulised, kuna süsteem töötas pideva õhuvooluga. DCV süsteemi mõõtetulemused on tegelikud. Mõõtmised tehti maja osas, kus paikneb 58 kontoriruumi ja mitu läbirääkimiste ruumi. Kõikide ruumide projekteeritud õhuvool oli 3,0 m<sup>3</sup>/s. Maksimaalne mõõdetud sissepuhumisõhu vool oli kõigis ruumides umbes 76% maksimaalsest õhuvoolust. Lisaks töötas süsteem vähem kui 45% arvatud õhuvoolust 80% tööajast ehk umbes 3900 tundi aastas. Need madalad väärtused võrreldes konstruktsiooniväärtustega on seletatavad ruumide vähese kasutamisega. [12]



Joonis 4.4 DCV ja CAV ventilatsiooni süsteemi võrdlemine [12]

Antud uuring näitas, et DCV ventilatsioonisüsteem on energiatõhusam kui CAV ventilatsioonisüsteem. Kui võtta arvesse, et DCV ventilatsioonisüsteem töötab umbes 4680 tundi aastas, siis CAV ventilatsioonisüsteem töötab ainult tööpäeviti, kui see ajagraafiku järgi sisse ja välja lülitati. Kui vaadata Lisad 5 ja 6, siis on selge, et IV õppekorpuses ventilatsioon töötab nädala jooksul ligikaudu sama võimsusega. Tabelis 4.2 on toodud 2019 aasta planeeritav elektrienergia tarbimine ventilatsioonisüsteemidega SPS1/VTS1.1 ja SPS2/VTS2.1. Tegelik tarbimine on tarbimine, mis need süsteemid tarbivad ilma mingi muutuseta. Arvestuslik tarbimine on tarbimine, mis need süsteemid tarbivad juhul, kui nad töötavad nagu ventilatsioonisüsteem SV-3. Aasta jooksul on võimalus säästa umbes 72454,5 kWh elektrienergiat, mis on 3752,4 €. Tegemist on teoreetilise hinnanguga, täpsema hinnangu saamiseks tuleb täiendavalt uurida ning teostada vastavad mõõtmised.

Tabel 4.2 Ventilatsioonisüsteemide SPS1/VTS1.1 ja SPS2/VTS2.1 kulutõhuse parandamiseks võimalus

	Ventilatsioonisüsteemid SPS1/VTS1.1 ja SPS2/VTS2.1	
Tarbimine	Arvestuslik	Tegelik
Reguleerimine	Jah	Ei
Võimsus, kW	13,5	13,5
Töötundi aastas, tundi	3393	8760
Elektrienergia hind, €/kWh	0,05179	0,05179
Tarbitud elektrienergia maksumus, €	2372,27	6124,69
Erinevus, €	3752,42	

Tasub ka arvesse võtta, et kõik hooned on erinevad ja ruumegi kasutatakse erinevalt. Uuringud näitasid, et DCV ventilatsioonisüsteemi kasutamine on energiatõhusam, aga energiatõhususe protsent on igal üksikjuhul erinev. Ilma lisauuringuteta on raske hinnata DCV ventilatsioonisüsteemi kasutamise vajadust IV õppekorpuses.

## 5. KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärk on analüüsida IV õppekorpuses valgustuse- ja ventilatsioonisüsteemi energiatarbimise juhtimisvõimalusi. Enne analüüsi teostamist tuli luua pilt uurimisobjektist (objekti asukoht, korruste arv, mille jaoks kasutatakse uurimisobjekti pindu jne). Objekti elektrilisest osast parema arusaama loomiseks uuriti IV õppekorpuse elektrisüsteemi. Sellest osast saab selgeks, et uurimisobjekt hangib toite 510 alajaamast kuuest fiidrist, mis tagavad toite jaotuskilpide vahel. Töö lisadest leiab elektrisüsteemi struktuuriskeemi ja jaotuskilpide loetelu, mis visualiseerib elektrisüsteemi struktuuri IV õppekorpuses. Järgmises osas räägitakse IV õppekorpuse ventilatsiooni- ja valgustusesüsteemidest, mida kasutatakse IV õppehoones. Installeeritud võimsuse järgi on võimalus öelda, et ventilatsiooni osakaal on 9% installeeritud võimsusest ja valgustuse osakaal on 7% installeeritud võimsusest. Andmed ventilatsiooni- ja valgustusesüsteemidest ning tema tööst on võetud viimase rekonstrueerimise tööprojektist ja võrreldud mõõtetulemustega. Valgustussüsteemi kirjelduses võrreldakse tänaseid standardeid nendega, mille järgi on koostatud tööprojekt. Andmete võrdlus näitas, et koridori ja treppide valgustuse standardid on erinevad. Järeldus: nende tsoonide valgustid ei pruugi vastata standardile, aga ilma lisamõõtmisteta ei saa seda kindlalt öelda.

Kolmandas peatükis tutvustatakse mõõtemetoodikat, mõõteseadmeid ja tarkvara ning energiatarbimise mõõtetulemusi. Mõõtemetoodika juures vastatakse küsimustele, mida mõõdeti, kus ning mis ajavahemikus oli tehtud mõõtmised. Järgmises osas tutvustatakse andmesalvestit BFM136, tema kasutamise võimalusi ning selgitatakse, kuidas andmesalvestit mõõtmiseks kasutatakse. Andmesalvesti seadistamiseks ja mõõteandmete allalaadimiseks kasutati tarkvara PAS. Sellest tarkvarast ja tema võimalustest tehakse juttu lõputöö teises osas. Energiatarbimise mõõdistuste osas vaadatakse üle mõõtetulemused ja võrreldakse neid tööprojekti andmetega. Mõõtetulemused näitasid, et osa ventilaatoritest ei töötanud üldse mõõteajal, osade ventilaatorite töö ei vasta aga tööprojektis ettenähtule ja vaid üks osa ventilaatoritest töötas nii, nagu nad pidid töötama. Mõõtetulemuste alusel sai selgeks, et tegelikult kasutatakse ainult 2% installeeritud ventilaatori võimsusest. Valgustuse energiatarbimise hindamine viidi läbi teise korruse mõõtetulemuste alusel. Mõõtetulemused näitasid, et kõige rohkem elektrienergiat tarbitakse koridori ja sanitaruumi valgustitega, muud valgustusgrupid (kontoriruumid ja laborid) tarbisid elektrienergiat ainult ruumi kasutamise ajal, kui ei olnud piisavalt loomulikku valgust. Kui sarnane mõõtmine teha talvel, siis elektrienergia tarbimine valgustustega tuleb suurem, sest loomulikku valgust ei ole piisavalt.

Viimases peatükis pakutakse välja võimalused kulutõhususe parandamiseks. Kulutõhususe passiivse meetodi puhul pakutakse välja vahetada luminofoorlambid LED-lampide vastu. LED-valgusti eelis on pikem tööaeg ja suur energiatõhusus. Puudus seisneb selles, et mitte kõik LED-valgustid ei sobi luminofoorvalgustite asendamiseks ilma, et muudetak valgustuskeemi, samuti tema suur maksumus. Autor arvutab välja ka LED-lampide tasuvusaja erinevate valgustusrühmade jaoks. Uuring näitab, et ei ole mõislik igal pool kasutada LED-valgusteid, sest mõnikord võib tasuvusaeg olla liiga pikk.

Lõputöö autor pakub kulutõhususe parandamise aktiivse meetmena välja ehitada DALI protokollil alusel valgustuse juhtimissüsteem. Selline süsteem võib juhtida terve õppekorpuse valgustussüsteemi. DALI juhtimissüsteem on laiendatav ja seda võib kasutada teistes õppekorpustes ning luua üleülikooliline valgustusvõrk. Veel üks DALI protokollil eelis on võimalus töötada teise avatud hooneautomaatika protokolliga. Selle süsteemi puudus on tema suur maksumus, mis muudab tasuvusaja liiga pikaks, ning keerukas paigaldus. Odavam ja lihtsam variant oleks juhtida valgustust autonoomsete anduritega, kus andurid vastutavad ainult oma haldusala töö eest. Selle süsteemi puudus on madal funktsionaalsus ja puuduv võimalus süsteemi tööd kontrollida.

Ventilatsiooni jaoks pakub autor välja võimaluse kasutada CO<sub>2</sub>-andureid. Selline andur reguleeriks paremini ventilatsiooni kasutamist ruumis, mis teeks ventilatsioonisüsteemi nutikamaks ja sisekliima paremaks. CO<sub>2</sub>-anduri tööd (et kui suur oleks tema kulutõhusus) on aga ilma lisauuringuteta on võimatu hinnata.

Kokkuvõtvalt, lõputöö käigus leiavad lahenduse püstitatud eesmärgid: teostatakse elektrisüsteemi analüüs, tehakse ventilatsiooni ja valgustuse koormuseprofiili mõõtmised, analüüsitakse ventilatsiooni ja valgustuse energiatõhusust ning kulutõhusa juhtimise võimalusi. Vastamata jääb vaid küsimus, kui kulutõhus võib olla DCV ventilatsioonisüsteem IV õppekorpuses.

## 6. SUMMARY

The aim of the graduation paper- is to analyze the control possibilities of energy consumption of the lighting and ventilation system in the TalTech IV study building. Before carrying out the analysis, a picture of the survey object had to be created (location of the object, number of floors for which the surfaces of the survey object are used, etc.). In order to create a better understanding of the electrical part of the survey object, the electrical system of the IV corps was researched. From this part it becomes clear that the object of the research obtains from the substation of the power supply 510 the six feeders that provide power between the distribution boards. In the additions of the work can be found the structure diagram of the electricity system and the list of distribution boards, which visualizes the structure of the electricity system in study corps IV. The next part discusses the ventilation and lighting systems which is used in the IV building. According to installed power it is possible to say that the proportion of ventilation is 9% of installed capacity and the proportion of lighting is 7% of installed capacity. Data on ventilation and lighting systems and their work have been taken from the last reconstruction work project and compared to the measurement results. In the description of the lighting system, today's standards are compared with those according for which a work project has been developed. Comparison of data showed that the standards for corridor and stairway lighting are different. Conclusion: lightning in these zones may not meet the standard, but without additional measurements it cannot be said with certainty.

The third chapter presents the measurement methodology, measurement equipment and software and the energy consumption measurement results. The measurement methodology answers the questions that were measured, where and in what time period the measurements were taken. In the following section is presented the data recorder BFM136, its usage options and explains how the data recorder is used to measure. The software "PAS" was used to set up the data recorder and download the measurement data. About this software and its opportunity will be discussed in the second part of the graduation paper. In the part measurements of energy consumption are reviewed and compared with the data of the work project. The measurement-results showed that some of the fans did not work at all during the measurement period, but some fans did not work as expected in the work project and only one part of the fans worked as they had to work. Based on the measurement results, it became clear that only 2% of the installed fan power is actually used. Assessment of the energy consumption of lighting was carried out on the basis of measurement results on the second floor. The results showed that most electricity was consumed by corridor and sanitary room lighting, other lighting groups (office rooms and laboratory) consumed electricity only when the room was used, if there was not enough natural light. If a similar

measurement is done in winter, then electricity consumption with lighting will be higher because there is not enough natural light.

The last chapter proposes ways to improve cost-efficiency. The passive cost-efficiency method proposes replacing fluorescent lamps with LED lamps. LED lighting has the advantage of longer working hours and high energy efficiency. The disadvantage is that not all LED luminaires are suitable for replacing fluorescent lighting without changing the lighting scheme, as well as its high cost. The author also calculates the profitability time of LED lamps for different lighting groups. The study shows that it is not reasonable everywhere to use LED lights, because sometimes the profitability time may be too long.

The graduation paper author offers cost-effectiveness improvement as an active measure to build based on a DALI protocol lighting management system. Such a system can control the lighting system of the entire study corps. The DALI control system is expandable and can be used in other study rooms to create an over-the-school lighting network. Another advantage of the DALI protocol is the ability to work with another open building automation protocol. The disadvantage of this system is its high cost, which makes the profitability time too long, and the intricate installation. A cheaper and easier option would be to control the lighting with autonomous sensors, where the sensors are only responsible for their work. The disadvantage of this system is its low functionality and the lack of control over the system.

For ventilation, the author suggests the possibility of using CO<sub>2</sub> sensors. Such a sensor would better regulate the use of ventilation in a room that would make the ventilation system smarter and better inside climate. However, it is impossible to assess the performance of a CO<sub>2</sub> sensor (how high its cost efficiency would be) without further research.

In conclusion, during the graduation paper, the goals set by the solution are found: an electrical system analysis be conducted, measurements of the ventilation and lighting load profile are made, the energy efficiency of ventilation and lighting and cost-effective operation are analyzed. Only the question of how cost-effective is the DCV ventilation system in the TalTech IV study building remains unanswered.



## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Ehitus register kodulehekülg <https://www.ehr.ee> (Vaadatud 02.03.2019)
- [2] TalTech ülikooli kodulehekülg <https://www.ttu.ee> (Vaadatud 02.03.2019)
- [3] Heiki Tammoja, Automaatika ja releekaitse. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2006. 100 lk. (Vaadatud 10.03.2019)
- [4] Raivo Teemets, Elektripaigaldised. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2011. 503 lk. (Vaadatud 08.03.2019)
- [5] Endel Risthein, Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus. Osa 1. Eesti Standardikeskus, 2003 (Vaadatud 18.03.2019)
- [6] Endel Risthein, Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus. Osa 1. Eesti Standardikeskus, 2012 (Vaadatud 18.03.2019)
- [7] Riigi Teataja kodulehekülg <https://www.riigiteataja.ee> (Vaadatud 20.03.2019)
- [8] Satec kodulehekülg <https://www.satec-global.com> (Vaadatud 05.04.2019)
- [9] Ilma riigiteenus kodulehekülg <https://www.ilmateenus.ee> (Vaadatud 30.04.2019)
- [10] Asutpp kodulehekülg <https://www.asutpp.ru> (Vaadatud 30.04.2019)
- [11] Ledvance kodulehekülg <https://www.ledvance.com> (Vaadatud 05.05.2019)
- [12] Mari-Liis Maripuu, Demand controlled ventilation (DCV) for better IAQ and Energy Efficiency, REHVA, 2011. 5 lk. (Vaadatud 08.05.2019)
- [13] Vahur Maask, Argo Rosin, Roya Ahmadiyahangar, Tobias Häring, Tarmo Korõtko, Analysis of Ventilation Load Flexibility Depending on Indoor Climate Conditions, Tallinn: Tallinn University of Technology, 6 lk. (Vaadatud 10.05.2019)
- [14] AS Glamox kodulehekülg <https://www.glamox.com> (Vaadatud 30.04.2019)
- [15] Aleksander Siilbaum Elektri kaup FIE kodulehekülg <https://www.elektrikaup.ee> (Vaadatud 02.05.2019)
- [16] Watt24 kodulehekülg <https://www.watt24.com> (Vaadatud 30.04.2019)
- [17] Eesti Energia AS kodulehekülg <https://www.energia.ee> (Vaadatud 02.05.2019)

**LISAD**

Lisa 1 Jaotuskilpide elektripaigaldise loetelu

Korrus	Kilbi nimi	Asukoht	Toite allikas	Nimivool, A	Pa, kW	Pi, kW	Tarbijad
0. korrus	JK-1	Koridor	PJK	200	96	171	Valgustus, pistikupesad
	JK-L1 Ruum 003	Ruum 003	JK-1	100	40	66	Valgustus, pistikupesad
	JK-L2 Ruum 009	Ruum 009	JK-1	40	14	27	Valgustus, pistikupesad
	JK-V1	Tehnoruum	PJK	63	-	-	Ventilatsiooni seadmed
	JK-V1 (Suitsueemaldus)	Tehnoruum	PJK	40	-	-	Ventilatsiooni seadmed
	JK-V3	Tehnoruum	JK-V1	16	-	-	Ventilatsiooni seadmed
	JK-SS	soojussõlm	PJK	32	-	-	Pistikupesad, soojasõlme seadmed, pumbad
1. korrus	JK-2	Koridor	PJK	63	22	27	Valgustus, pistikupesad, jahutusseadmed, videokaamerad
	JK-Kohvik	Ruum 108	PJK	125	56	63	Valgustus, pistikupesad, külmikud, pliit, nõudepesumasin,
	JK-3	Koridor	PJK	125	49	97	Valgustus, pistikupesad, videokaamerad
	JK-L4 Ruum 110	Ruum 110	JK-3	80	25	50	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-L4 Ruum 111	Ruum 111	JK-3	80	25	50	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-L3 Ruum 130	Ruum 130	JK-3	63	20	40	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-4	Koridor	PJK	200	97	174	Valgustus, pistikupesad, videokaamerad, ATS
	JK-L4 Ruum 116	Ruum 116	JK-4	125	25	50	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-L3 Ruum 113	Ruum 113	JK-4	63	20	40	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-L3 Ruum 114	Ruum 114	JK-4	63	20	40	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-L3 Ruum 115	Ruum 115	JK-4	63	20	40	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
2 korrus	JK-5	Koridor	PJK	63	-	-	Valgustus, pistikupesad, videokaamerad, jahutusseadmed
	JK-6	Koridor	PJK	200	99	171	Valgustus, pistikupesad, videokaamerad, jahutusseadmed, ATS
	JK-7	Koridor	PJK	200	97	173	Valgustus, pistikupesad, videokaamerad, jahutusseadmed
	JK-L3 Ruum 219	Ruum 219	JK-7	63	20	40	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-L2 Ruum 222	Ruum 222	JK-7	40	14	27	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
3.korrus	JK-8	Koridor	PJK	160	71	136	Valgustus, pistikupesad, videokaamerad, jahutusseadmed, uksekontrollrite toide
	JK-L1 Ruum 303	Ruum 303	JK-8	100	40	66	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-L4 Ruum 301	Ruum 301	JK-8	125	25	50	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-L3 Ruum 304	rumm 304	JK-8	63	20	40	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-9	Koridor	PJK	160	67	124	Valgustus, pistikupesad, videokaamerad, jahutusseadmed
	JK-L4 Ruum 306	Ruum 306	JK-9	63	25	50	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-L3 Ruum 314	Ruum 314	JK-9	63	20	40	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
	JK-L2 Ruum 312	Ruum 312	JK-9	40	14	27	Valgustus, pistikupesad, laboriseadmed
4. korrus	JK-4EK4	Koridoris	510 alajaam fiider11	400	115	280	Valgustus, pistikupesad
	JK-EK446	Ruum 446	JK-4EK4	63	8	12	Valgustus, pistikupesad
	JK-EK443	Ruum 443	JK-4EK4	63	2	6	Valgustus, pistikupesad
	JK-4UK4	Ruum 444	JK-4EK4	63	12	17	Valgustus, pistikupesad
	JK-EK440	Ruum 440	JK-4EK4	63	8	14	Valgustus, pistikupesad
	JK-EK427	Ruum 427	JK-4EK4	63	15	46	Valgustus, pistikupesad
	JK-EK437	Ruum 437	JK-4EK4	63	18	40	Valgustus, pistikupesad
	JK-EK429	Ruum 429	JK-4EK4	63	20	32	Valgustus, pistikupesad
	JK-EK413	Ruum 413	JK-4EK4	63	-	-	Pistikupesad, jahutusseade
Tehnoruum pööningul	JK-V2	Tehnoruum	PJK	200	-	-	Ventilatsiooni seadmed
	JK-V4	Tehnoruum	JK-V2	125	-	-	Ventilatsiooni seadmed
	JK-5EK1	Tehnoruum	JK-4EK4	63	10	14	Valgustus, pistikupesad, jõupistikupesad
	JK-5VK1	Tehnoruum	510 alajaam fiider 13	250	75	95	Ventilatsiooni seadmed
	JK-5VK2	Tehnoruum	JK-5VK1	160	40	43	Ventilatsiooni seadmed

Lisa 2 Ventilatsiooni seadmete loetelu

Süsteemi nr.	Seadme nimetus	Ventilaator		Teeninduspiirkond	Juhtimis-automaatika	Seadme asukoht
		P, kW	U, V			
SV-2	Utilisaatoriga agregaat DV 15 Systemair	2,2	400/3	Kelder	Sagedusmuundur	Ventkamber Kelder
SV-3	Utilisaatoriga agregaat DV 20 Systemair	2,6	400/3	Madala osa kontorid	Sagedusmuundur	Katus
S-1	Sissepuhke agregaat DV 10 Systemair	1,5	400/3	I k kohvik	Sagedusmuundur	Ventkamber Kelder
S-2	Sissepuhke agregaat DV 15 Systemair	2,2	230/1	III k köök	Sagedusmuundur	Ventkamber V korrus
S-3	Sissepuhke agregaat TA2000EL Systemair	34,0	400/3	Kvartsiruum	Juhtpult	Ventkamber V korrus
V-1	Katuseventilaator TFER 315M Systemair	0,198	230/1	I k kohvik	Sagedusmuundur	Katus
V-2	Katuseventilaator DVS 400E4 Systemair	0,470	230/1	I k kohvik	Sagedusmuundur	Katus
V-3	Katuseventilaator DVNI 800D6 Systemair	4	400/3	Keemia inst. tõmbekapid	Sagedusmuundur	Katus
V-4	Katuseventilaator TFER 125M Systemair	0,032	230/1	Lift	Sagedusmuundur	Katus
V-5	Katuseventilaator TOV400-4 Systemair	0,719	400/3	III k õppekõök	Sagedusmuundur	Katus
V-6	Katuseventilaator DVS 499DV Systemair	0,9	400/3	III k õppekõök	Sagedusmuundur	Katus
V-7	Katuseventilaator DVS 310EV Systemair	0,13	230/1	Ruum nr. 305 tõmbekapp	Sagedusmuundur	Katus
V-8	Katuseventilaator TOV 400-4 Systemair	0,719	400/3	Kvartsiruum	Sagedusmuundur	Katus
V-9	Kanaliventilaator KD400XL1 Systemair	0,893	230/1	Ventkamber kelder	Temp. Andur	Ventkamber kelder
SE-1	Katuseventilaator DVV 450D4 Systemair	1,1	400/3	Suitsueemaldus Kelder	Lüliti	Katus
SE-2	Tsentrifugaalventilaator CHMT/4-250/100-1,1 S&P	1,1	400/3	Soojasõlm	Temp andur/ Lüliti	Soojasõlm
SE-3	Tsentrifugaalventilaator CHMT/4-400/165-4 S&P	4	400/3	Tehniline koridor	Temp andur/ Lüliti	Tehniline koridor
SPS1/VTS1.1	SPS1	18,5	400/3	Kõrgehoone vasakpoolne osa	Sagedusmuundur	Ventkamber V korrus
	VTS1.1	15	400/3			
SPS2/VTS2.1	SPS2	18,5	400/3	Kõrgehoone parempoolne osa	Sagedusmuundur	Ventkamber V korrus
	VTS2.1	15	400/3			
VTS1	-	0,55	400/3	Kõrgehoone parempoolne osa WC-d	Sagedusmuundur	Katus
VTS2	-	0,63	400/3	Pööning	Sagedusmuundur	Katus
VTS439	-	0,37	400/3	Ruum 04U439	Sagedusmuundur	Katus
VTS436	-	0,25	400/3	Ruum 04U436	Sagedusmuundur	Katus

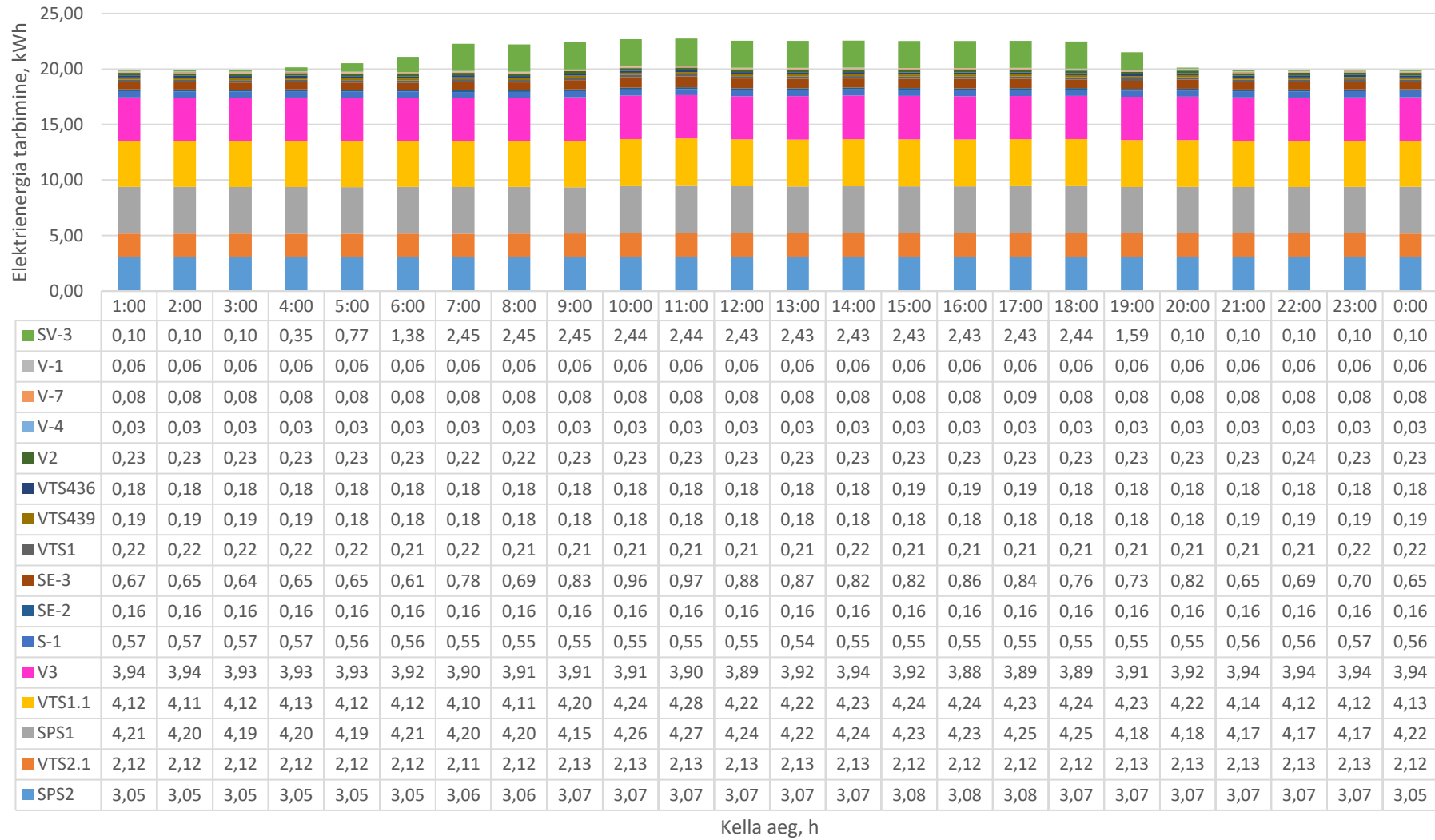
Lisa 3 Valgustite loetelu

Korrus	Teeninduspiirkond	Aku	Lambi tüüp	Sokkel	Võimsus, W	Kogus, tk	Summaarne võimsus, kW
0.korrus	Koridor	Ei	2x36 W, T8	G13	72	8	0,576
		Jah	2x36 W, T8	G13	72	6	0,432
		Ei	1x36 W, T8	G13	36	17	0,612
	Laborid	Ei	2x36 W, T8	G13	72	62	4,464
		Jah	2x36 W, T8	G13	72	4	0,288
	Lifti šaht	Ei	2x11 W	2G7	22	1	0,022
	Sanitaar ruum	Ei	2x18 W	G24q-2	36	4	0,144
1. korrus	Vahehoone koridor	Jah	1x35 W, T5	G5	35	7	0,245
		Ei	1x35 W, T5	G5	35	7	0,245
	Vahehoone kontorid	Ei	4x18 W, T8	G13	72	60	4,32
	Koridor	Jah	1x36 W, T8	G13	36	8	0,288
		Ei	1x36 W, T8	G13	36	11	0,396
		Ei	1x54 W, T5	G5	54	3	0,162
	Lifti šaht	Ei	2x11 W	2G7	22	1	0,022
	Kohvik	Jah	2x26 W	G24-q3	52	6	0,312
		Ei	2x26 W	G24-q3	52	26	1,352
	Sanitaar ruum	Ei	2x18 W	G24q-2	36	28	1,008
		Ei	1x14 W, T5	G5	14	4	0,056
	Laborid	Ei	2x36 W, T8	G13	72	98	7,056
		Jah	2x36 W, T8	G13	72	5	0,36
	Kontorid	Ei	4x18 W, T8	G13	72	51	3,672
2.korrus	Vahehoone koridor	Jah	1x35 W, T5	G5	35	6	0,21
		Ei	1x35 W, T5	G5	35	5	0,175
	Vahehoone kontorid	Ei	4x18 W, T8	G13	72	90	6,48
	Koridor	Jah	1x36 W, T8	G13	36	9	0,324
		Ei	1x36 W, T8	G13	36	11	0,396
	Lifti šaht	Ei	2x11 W	2G7	22	1	0,022
	Sanitaar ruum	Ei	2x18 W	G24q-2	36	24	0,864
		Ei	1x14 W, T5	G5	14	4	0,056
	Laborid	Ei	2x36 W, T8	G13	72	120	8,64
		Jah	2x36 W, T8	G13	72	7	0,504
	Kontorid	Ei	4x18 W, T8	G13	72	56	4,032
		Jah	4x18 W, T8	G13	72	1	0,072
3.korrus	Koridor	Jah	1x36 W, T8	G13	36	9	0,324
		Ei	1x36 W, T8	G13	36	11	0,396
	Lifti šaht	Ei	2x11 W	2G7	22	1	0,022
	Sanitaar ruum	Ei	2x18 W	G24q-2	36	28	1,008
		Ei	1x14 W, T5	G5	14	4	0,056
	Laborid	Ei	2x36 W, T8	G13	72	125	9
		Jah	2x36 W, T8	G13	72	12	0,864
		Ei	1x54 W, T5	G5	54	2	0,108
		Ei	1x30 W, T8	G13	30	2	0,06
	Kontorid	Ei	4x18 W, T8	G13	72	77	5,544
		Jah	4x18 W, T8	G13	72	7	0,504
4. korrus	Koridor	-	1x58 W, T8	G13	58	34	1,972
		-	1x58 W, T8	G13	58	11	0,638
		-	1x75 W	G9	75	23	1,725
	Sanitaar ruum	-	50W, halogeen	Gx5,3	50	13	0,65
		-	1x36 W, T8	G13	36	3	0,108
	Kontorid	-	2x58 W, T8	G13	116	7	0,812
		-	1x58 W, T8	G13	58	38	2,204
	Laborid	-	2x36 W, T8	G13	72	96	6,912

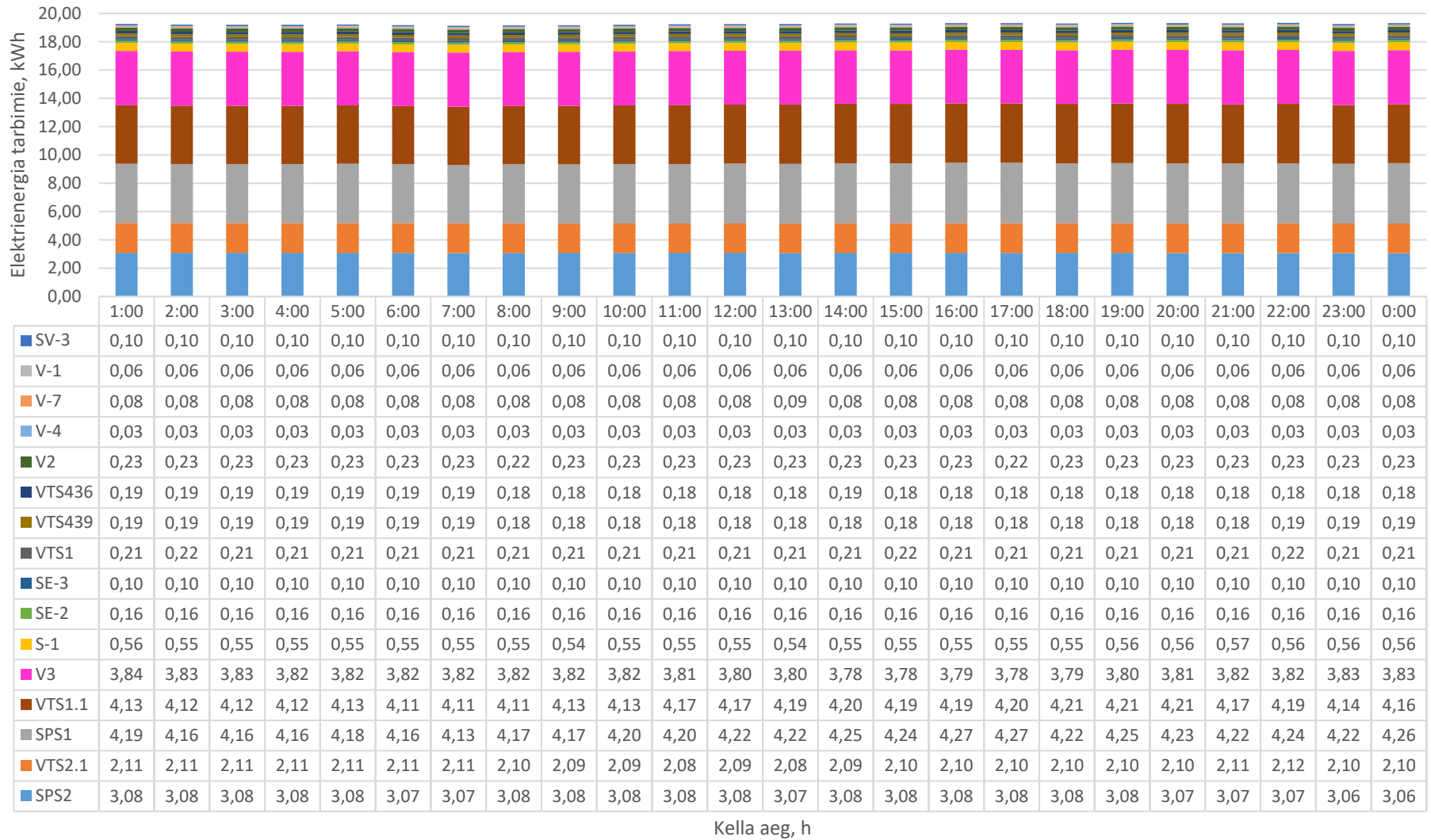
Lisa 4 Ventilaatorite üldised mõõtetulemused

Tarbija nimi	Mõõteperiood	Tunnid, h	Keskmine võimsus, kW	Tarbitud elektrienergia, kWh	
S-1	20.03.2019 13:00 - 29.03.2019 08:00	211	0,46	97,06	
SE-1	20.03.2019 13:00 - 29.03.2019 08:00	211	0	0	
SE-2	20.03.2019 13:00 - 29.03.2019 08:00	211	0,134	28,274	
SE-3	20.03.2019 13:00 - 29.03.2019 08:00	211	0,62	130,82	
SV-2	20.03.2019 13:00 - 29.03.2019 08:00	211	0	0	
SV-3	20.03.2019 13:00 - 29.03.2019 08:00	125	0,1	21,1	
		86	2,2	464,2	
V-9	20.03.2019 13:00 - 29.03.2019 08:00	211	0	0	
S-2	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00	166	0	0	
S-3	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0	0	
V-1	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0,23	38,18	
V-2	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0,229	38,014	
V-3	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		3,88	644,08	
V-4	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0,03	4,98	
V-5	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0	0	
V-6	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0	0	
V-7	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0,08	13,28	
V-8	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0	0	
VTS1	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0,214	35,524	
VTS2	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0	0	
VTS436	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0,18	29,88	
VTS439	29.03.2019 09:00 - 05.04.2019 07:00		0,18	29,88	
SPS1	05.04.2019 15:00 - 12.04.2019 12:00		165	4,2	693
SPS2	05.04.2019 15:00 - 12.04.2019 12:00			3,05	503,25
VTS1.1	05.04.2019 15:00 - 12.04.2019 12:00	4,16		686,4	
VTS2.1	05.04.2019 15:00 - 12.04.2019 12:00	2,12		349,8	

Lisa 5 Ventilaatorite keskmine tööpäeva tarbimine

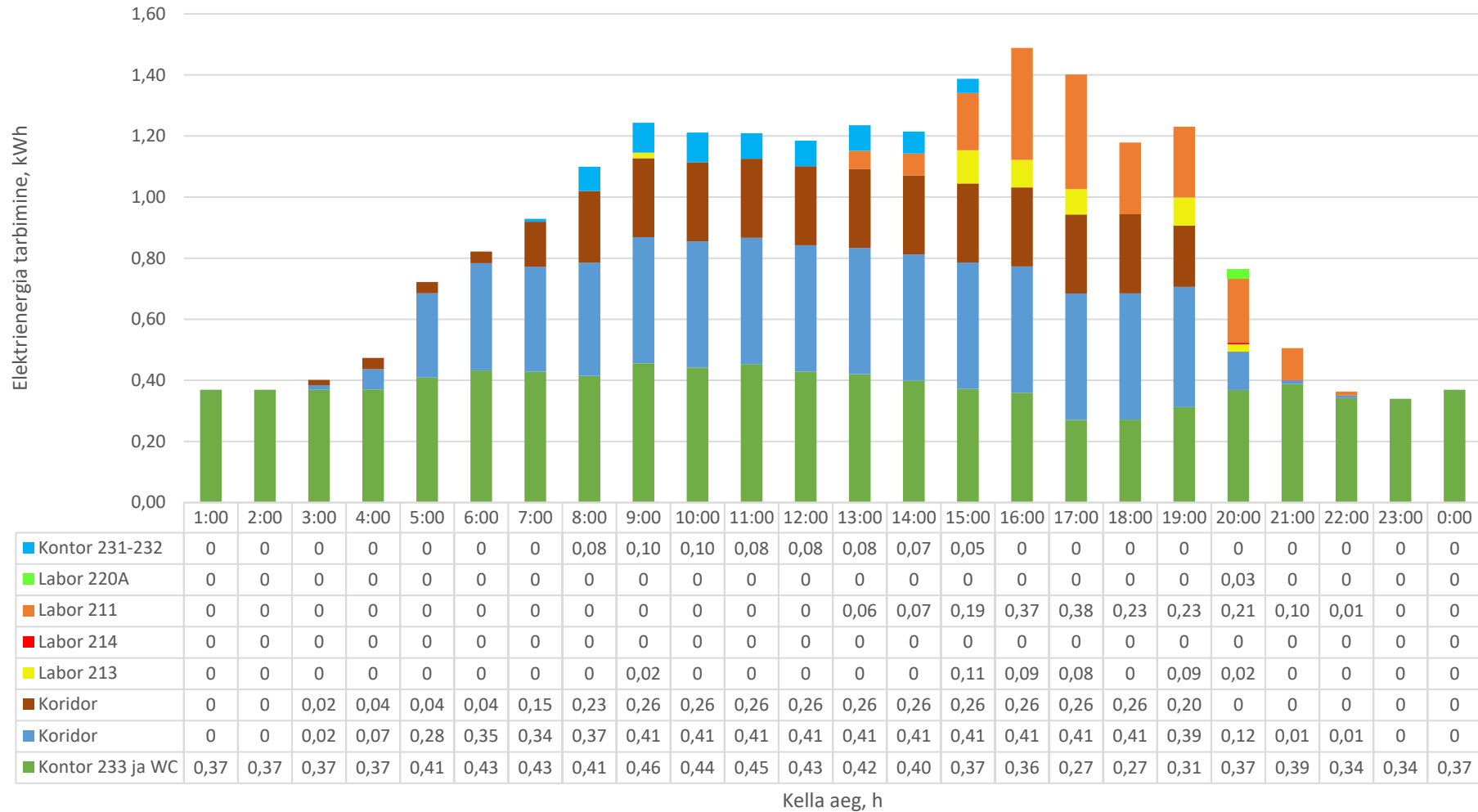


Lisa 6 Ventilaatorite keskmine puhkepäeva tarbimine

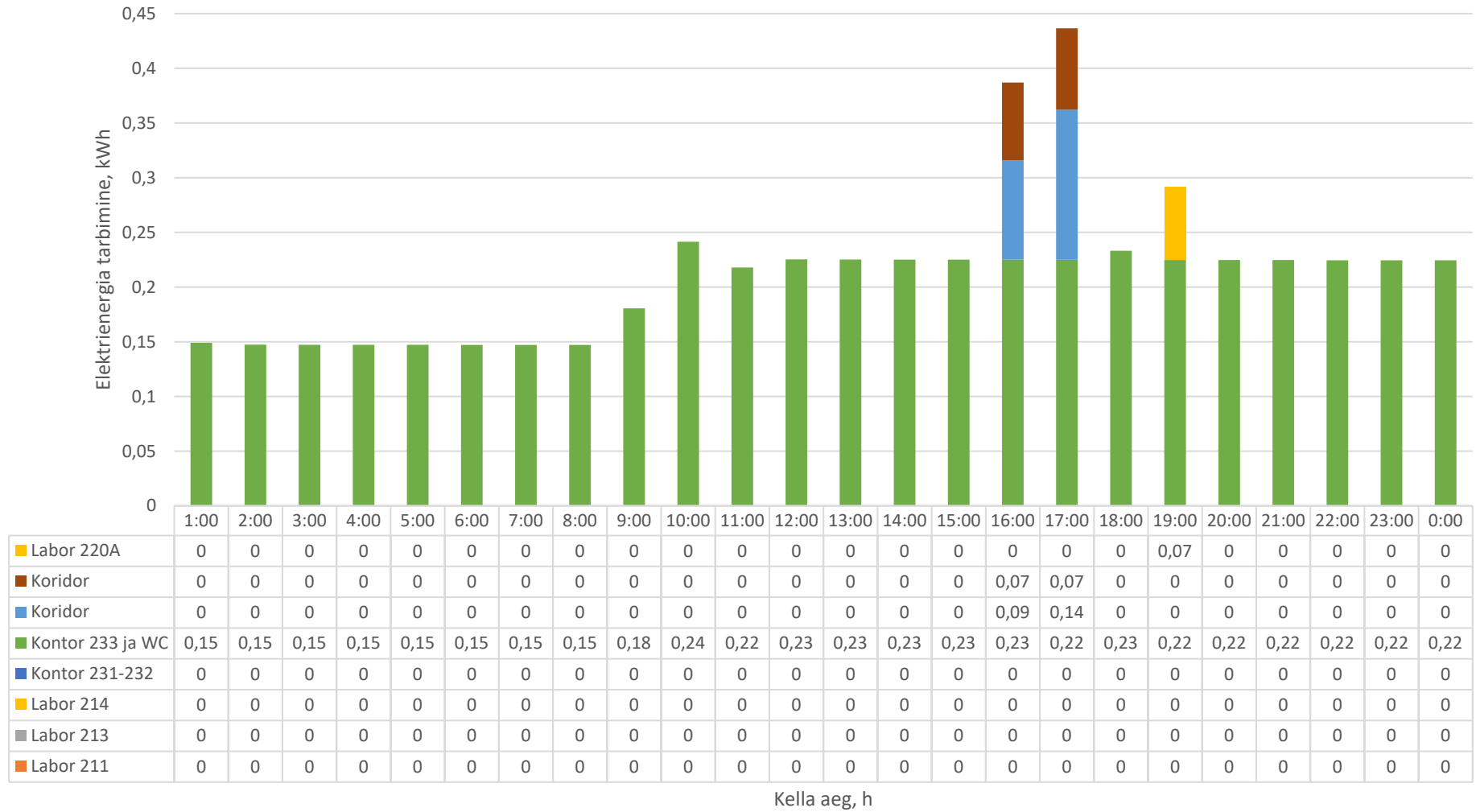




Lisa 7 Valgustuse keskmine tööpäevane tarbimine



Lisa 8 Valgustuse keskmine puhkepäeva tarbimine



Lisa 9 Tasuvusaja arvutuse tulemused

	Koridori valgustus					Labori valgustus		
	Luminofoor toru	LED lamp	LED lamp koos liikumisanduritega	Osram Substitute	Osram Substitute koos liikumisanduritega	Luminofoor toru	LED lamp	Osram Substitute
Valgustite arv, tk	175					1058		
Ühe valgusti maksumus, €	2	10	10	15	15	2	10	15
Paigalduskulu, €	0	1750	1750	0	0	0	5300	0
Lisa kulud	0	0	400	0	400	0	0	0
<b>Investeering kokku, €</b>	<b>350</b>	<b>3500</b>	<b>3900</b>	<b>2625</b>	<b>3025</b>	<b>2116</b>	<b>15880</b>	<b>15870</b>
<b>Erinevus</b>		<b>3150</b>	<b>3550</b>	<b>2275</b>	<b>2675</b>		<b>13764</b>	<b>13754</b>
Ühe valgusti energiakulu, W	36	18	18	18	18	36	18	18
Elektrienergia hind, €/kWh	0,05					0,05		
Töötunnid aastas, tundi	3380	3380	3177	3380	3177	780	780	780
Valgusallika eluiga, tundi	15000	30000	30000	50000	50000	15000	30000	50000
Lambivahetuse kulud, €	2	10	10	15	15	2	10	15
<b>Kulud kokku aastas, €</b>	<b>1143,57</b>	<b>729,52</b>	<b>685,7</b>	<b>709,8</b>	<b>667,17</b>	<b>1595</b>	<b>1017,8</b>	<b>990,3</b>
<b>Erinevus, €</b>		<b>414,05</b>	<b>457,87</b>	<b>433,76</b>	<b>476,4</b>		<b>577,67</b>	<b>605,18</b>
<b>Tasuvusaeg, aastat</b>		<b>7,6</b>	<b>7,7</b>	<b>5,2</b>	<b>5,6</b>		<b>23,8</b>	<b>22,7</b>

	Kommentaariid [15, 17]
Valgustite arv, tk	Ligikaudne lampide arv valitud grupis
Ühe valgusti maksumus, €	Lambi keskmine poehind
Paigalduskulu, €	Elektriku tunnitasu 20 €/tund
Lisa kulud	Ühe liikumisanduri hind 10 (€)+ elektritöö maksumus
Ühe valgusti energiakulu, W	Lambi passi andmed
Elektrienergia hind, €/kWh	Tänase elektrienergia hind (börsihind+vahendustasu)
Töötunnid aastas, tundi	Koridorides valgustus põleb 260 päeva aastas, 13 tundi päevas. Laborites valgustus põleb 130 päeva aastas, 6 tundi päevas. Kontorites valgustus põleb 130 päeva aastas, 8 tundi päevas. Sanitaarruumides valgustus põleb 260 päeva aastas, 14 tundi päevas. Kohvikus valgustus põleb 260 päeva aastas, 8 tundi päevas.
Valgusallika eluiga, tundi	Lambi passi andmed
Lambivahetuse kulud, €	Sisaldab ühe lambi poehind

	Kontori valgutus			Sanitaarruumi valgutus			Kohviku valgutus	
	Luminofoor toru	LED lamp	Osram Substitute	Luminofoor lamp	LED	LED lamp ja liikumisandurid	Luminofoor lamp	LED lamp
Valgustite arv, tk	1420			120			64	
Ühe valgusti maksumus, €	1,5	10	15	5	15	15	5	15
Paigalduskulu, €	0	3550	0	0	0	0	0	0
Lisa kulud	0	0	0	0	0	400	0	0
<b>Investeering kokku, €</b>	<b>2130</b>	<b>17750</b>	<b>21300</b>	<b>600</b>	<b>1800</b>	<b>2200</b>	<b>320</b>	<b>960</b>
<b>Erinevus</b>		<b>15620</b>	<b>19170</b>		<b>1200</b>	<b>1600</b>		<b>640</b>
Ühe valgusti energiakulu, W	18	10	10	18	6,5	6,5	18	6,5
Elektrienergia hind, €/kWh	0,05			0,05			0,05	
Töötunnid aastas, tundi	1040	1040	1040	3640	3640	1820	2080	2080
Valgusallika eluiga, tundi	15000	30000	50000	20000	30000	30000	20000	30000
Lambivahetuse kulud, €	1,5	10	15	5	15	15	5	15
<b>Kulud kokku aastas, €</b>	<b>1476,8</b>	<b>1231</b>	<b>1181,44</b>	<b>502,32</b>	<b>360,36</b>	<b>180,18</b>	<b>206,336</b>	<b>133,12</b>
<b>Erinevus, €</b>		<b>246</b>	<b>295,36</b>		<b>141,9</b>	<b>322,14</b>		<b>73,216</b>
<b>Tasuvusaeg, aastat</b>		<b>63,5</b>	<b>65</b>		<b>8,45</b>	<b>5</b>		<b>8,7</b>

	Kommentaariid [15, 17]
Valgustite arv, tk	Ligikaudne lampide arv valitud grupis
Ühe valgusti maksumus, €	Lambi keskmine poehind
Paigalduskulu, €	Elektriku tunnitasu 20 €/tund
Lisa kulud	Ühe liikumisanduri hind 10 € + elektritöö maksumus
Ühe valgusti energiakulu, W	Lambi passi andmed
Elektrienergia hind, €/kWh	Tänase elektrienergia hind (börsihind+vahendustasu)
Töötunnid aastas, tundi	Koridorides valgustus põleb 260 päeva aastas, 13 tundi päevas. Laborites valgustus põleb 130 päeva aastas, 6 tundi päevas. Kontorites valgustus põleb 130 päeva aastas, 8 tundi päevas. Sanitaarruumides valgustus põleb 260 päeva aastas, 14 tundi päevas. Kohvikus valgustus põleb 260 päeva aastas, 8 tundi päevas.
Valgusallika eluiga, tundi	Lambi passi andmed
Lambivahetuse kulud, €	Sisaldab ühe lambi poehind