EESTI MAAÜLIKOOL
Metsanduse ja inseneeria instituut

Iris Tamla

ÜHISKONDLIKU HOONE ENERGIASÄÄSTU VÕIMALUSED ERINEVATE VALGUSTITE KASUTAMISEL

ENERGY-SAVING POSSIBILITIES FOR A PUBLIC BUILDING USING DIFFERENT LIGHTING FIXTURES

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendajad: vanemlektor Janar Kalder, *PhD*
lektor Siim Küünal, *PhD*

Tartu 2023

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Iris Tamla		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Ühiskondliku hoone energiasäästu võimalused erinevate valgustite kasutamisel			
Lehekülgi: 36	Jooniseid: 10	Tabeleid: 8	Lisasid: 3
Osakond / Õppetool: Energiakasutuse õppetool ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika 4.17. Energeetikaalased uuringud T140 Energeetika Juhendajad: vanemlektor Janar Kalder, PhD, lektor Siim Küünal, PhD Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2023			
Antud bakalaureusetöö keskendub energiasäästu võimaluste uurimisele Eesti Maaülikooli ühiselamu Torn elektrienergia tarbimise kontekstis. Töös hõlmatakse põhjalikku kirjanduse ülevaadet energiasäästu kontseptsioonidest, erinevatest lahendustest ja energiapoliitika direktiividest. Lisaks analüüsitakse ühiselamu valgustuse praegust elektrienergia tarbimist ning koostatakse tasuvusanalüüs parandusmeetmete jaoks. Autori panus seisneb analüütilises lähenemises ja praktilise lahenduse väljatöötamises kõrghoone elektrienergia tõhususe parandamiseks valgustuse abil. Töö rõhutab vajadust kontrollida ja ajakohastada valgustuslahendusi vastavalt standarditele, tagamaks elanikele ergonoomilise elukeskkonna, mis toetab heaolu. Edasised uuringud ja analüüs ühiselamu "Torn" valgustingimuste vastavuse kohta standarditele on samuti olulised. Töö pakub alust magistriõppe tasemel süvendatud uurimiseks ja valgustusprojekti koostamiseks.			
Märksõnad: Energiatõhusus, valguslahendus, ühiselamu Torn			

www.emu.ee

Eesti Maaülikool

Estonian University of Life Sciences

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Iris Tamla		Curriculum: Engineering	
Title: Energy-Saving Possibilities for a Public Building Using Different Lighting Fixtures			
Pages: 36	Figures: 10	Tables: 8	Appendixes: 3
Department / Chair: Chair of Energy Application Engineering Field of research and (CERC S) code: 4. Natural Sciences and Engineering 4.17. Energetic Research T140 Energy research Supervisors: senior lecturer Janar Kalder, PhD, lecturer Siim Küünal, PhD Place and date: Tartu 2023			
This bachelor's thesis focuses on exploring energy-saving opportunities in the context of electricity consumption in the Torn dormitory of the Estonian University of Life Sciences. The thesis includes a comprehensive review of the literature on energy-saving concepts, different solutions, and energy policy directives. Additionally, the current electricity consumption of the dormitory's lighting is analyzed, and a cost-benefit analysis is conducted for potential improvement measures. The author's contribution lies in an analytical approach and the development of practical solutions to enhance the efficiency of electricity usage in the high-rise building through lighting. The thesis emphasizes the need to verify and update lighting solutions to meet standards, ensuring an ergonomic living environment that supports well-being. Further research and analysis regarding the compliance of lighting conditions in the Torn dormitory with standards are also crucial. This work serves as a foundation for further in-depth research and the development of a lighting project at the master's level.			
Keywords: Energy-saving, Torn dormitory, lighting solutions			

SISUKORD

SISSEJUHATUS 5
1. ENERGIASÄÄST JA JÄTKUSUUTLIKUS 6
1.1. Jätkusuutlik energiapoliitika Euroopa Liidus 6
1.2. Energiasäästu olemus 7
1.3. Hoonete energiatõhususe tegevuskava Eestis 8
2. VALGUSTUS JA ENERGIAKASUTUS ÜHISKONDLIKUS HOONES 9
2.1. Valgustuse mõju inimestele ühiskondlikus hoones 9
2.2. Energiatarbimise vähendamise võimalused 10
3. ENERGIATARBIMISE REGULEERIMISE VAJADUS JA EESMÄRK 12
3.1. LED- tehnoloogia eelised võrreldes traditsiooniliste valgustusviisidega 12
3.2 Automaatne hoone valgustuse reguleerimine sõltuvalt vajadustest 13
4. JUHTUMIUURING 15
4.1. Ühiskondliku hoone valgustuse analüüs 15
4.2. Elektrienergia kuluanalüüs valgustite näitel 20
4.3. Tasuvusanalüüs 24
KOKKUVÕTE 28
SUMMARY 29
KASUTATUD KIRJANDUS 31
LISAD 33
Lisa 1. Standard EVS-EN 12464-1:2021 34
Lisa 2. SubstiTUBE T8 EM Star 18.3 W/4000 K 1500 mm, luminofoorvalgusti tehnilised andmed 35
Lisa 3. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta 36

SISSEJUHATUS

Ühiskondlike hoonete suur energiakulu on laialt levinud probleem, mis vajab tähelepanu ja lahendusi. Säästev energia kasutamine ning energiatõhusus on tänapäeval üha olulisemad teemad, kuna seistakse silmitsi kliimamuutuste ja ressursikasutuse väljakutsetega. Energia kokkuhoidmine ja säästlikum energiakasutus on vajalikud sammud jätkusuutlikuma tuleviku poole.

Antud bakalaureusetöö eesmärk on uurida energiasäästu võimalusi ühiskondlikes hoonetes, keskendudes Eesti Maaülikooli ühiselamule "Torn" elektrienergia kulule. Töö esimene osa hõlmab põhjalikku kirjanduse ülevaadet energiasäästu kontseptsioonidest ja erinevatest lahendustest ning Euroopa Liidu ja Eesti energiapoliitika direktiividest. Teises osas analüüsitakse ühiselamu Torn praegust elektrienergia kulu valgustusele ning koostatakse tasuvusanalüüs võimalikule parandusmeetmele. Autori panus selle töö raames seisneb analüütilises lähenemises ja praktilise lahenduse väljatöötamises, mis aitab kaasa kõrghoone elektrienergia tõhususe parandamisele valgustuse kaudu.

Analüüsi eesmärgiks on jõuda tulemuseni, mida saab kasutada ühiselamu Torn elektrienergia kulude vähendamiseks. Autori soov on edendada ühiskonnas inimeste teadlikkust säästvast energiakasutuse tähtsusest.

1. ENERGIASÄÄST JA JÄTKUSUUTLIKUS

1.1. Jätkusuutlik energiapoliitika Euroopa Liidus

Euroopa Liit teeb aktiivselt jõupingutusi, et suunata Euroopa üleminekut vähese süsinikdioksiidi heitega ühiskonnaks. Selleks ajakohastatakse eeskirju, mis soodustavad nii era- kui ka avaliku sektori investeeringuid roheenergia kasutuselevõtuks. Eesmärgiks ei ole ainult tegutseda keskkonna säästu suunas, vaid edendada ka majandust ning läbi selle tagada tarbijatele kasu [3].

Üleminek vähese süsinikdioksiidi heitega majandusele on eesmärgiga luua jätkusuutlik energiasektor. Energiapoliitika suuniseks on majanduskasv, innovatsioon ja tööhõive edendamine. Samal ajal on eesmärgiks parandada elukvaliteeti, suurendada valikuvõimalusi ning tugevdada tarbijate õigusi. Innovatiivsed energiasäästu lahendused võimaldavad vähendada majapidamiskulusid [3].

Eesti säästva arengu strateegia rõhutab vajadust ümber korraldada riigi energiamajandus, toetades ja edendades energiasäästlikke tegevusi ning suurendades taastuvenergia osakaalu energiatootmises. Põlevkivi kasutamise järkjärguline vähendamine mõjutab otseselt nii energiatõhusust kui ka taastuvenergia osakaalu [4].

Ülemaailmse eesmärgi "Tagada taskukohane, usaldusväärne, säästev ja kaasaegne energia kättesaadavus kõigile" realiseerimine on Eestis seotud taastuvenergia osakaalu suurendamise ja üldise energiatõhususe parandamisega majanduses. Selle eesmärgi saavutamise mõõdikuteks on energiatootlikkus, energiasõltumatus, energia kulutused kodumajapidamistes ning taastuvenergia osakaal [4].

Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni 2030. aasta tegevuskava seab sihiks suurendada taastuvenergia osatähtsust energia tootmises ning parandada energiatõhusust, vähendades energiakulu sisemajanduse kogutoodangu ühiku kohta. Selleks on vajalik määratleda selged valdkonna arengusuunad ja toetada uute innovatiivsete tehnoloogiate arendust ning rakendamist. Samuti rõhutatakse Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni tegevuskavas seda, et fossiilsetekütuste kasutamise korral oleks esmaseks valikuks puhtamad energiakandjad nagu näiteks veeldatud maagaas [4].

1.2. Energiasäästu olemus

Terviklik energiavõrgu süsteem hõlmab järgmisi elemente: muundamine , energia jaotamine ning tarbimine. Energiasääst on tarbimise vähendamine, kuid see ei tähenda, et see oleks majanduslikult tasuv. Jätkusuutlikust vaatepunktist lähtudes on energiasäästmine tähtis ja keskkonnasõbralik. Samal hetkel tuleb arvestada, et energiasäästu meetodid ning keskkonnasõbralikkus võivad pidurdada majandust. Energiasäästu eesmärk on leida kompromiss nende kahe suunise vahel.

Energiakulusid on võimalik märkimisväärselt vähendada, rakendades erinevaid energiasäästlikke lahendusi, näiteks täiendav isolatsioon hoone välispiirdes, kontrollitud õhuvool läbi hoone piirdetarindite ning erinevate targa maja lahenduste rakendamine [1].

Joonis 1.1. Targa maja illustratsioon [16].

Tark maja hõlmab laiemalt hoonete tehniliste süsteemide juhtimist. Joonis 1.1-el on illustreeritud erinevaid energiat kasutavaid sõlmi elamus, mida on võimalik tänapäeval läbi hoone automaatikasüsteemide kontrollida. Näiteks, see võib hõlmata kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide koostööd ning efektiivset juhtimist. Samuti hõlmab tark maja valgustuse juhtimist. Automaatjuhtimise abil saab luua nutikaid lahendusi, mis võimaldavad süsteemidel töötada efektiivsemalt vastavalt vajadusele [1]. Põhjalikumalt on kirjeldatud targa maja automaatikasüsteeme alapeatükis 3.2

1.3. Hoonete energiatõhususe tegevuskava Eestis

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium (edaspidi energiasäästu koordinaator) seab riikliku energiatõhususe eesmärgi ning koostab riikliku energiatõhususe tegevuskava. Energiasäästu koordinaator koostab pikas perspektiivis, hõlmates kogu riiki, strateegia investeeringute tegemiseks elamu- ja ärihoonete energiatõhusamaks rekonstrueerimiseks nii avalikus kui ka erasektoris. Strateegia peab sisaldama järgmist:

1. Ülevaade kogu riigi hoonetest, mis põhineb vähemalt statistilisel valimil.
2. Asjakohased kulutõhusad rekonstrueerimismeetodid, mis arvestavad hoone tüüpi ja kliimatsooni.
3. Metoodika ja meetmed, mis soodustavad hoonete kulutõhusat täielikku rekonstrueerimist, sealhulgas etapiviisilist lähenemist.
4. Väljavaated individuaalsetele isikutele, ehitustööstusele ja finantseerimisasutustele investeerimisotsuste juhtimiseks tulevikus.
5. Tõenduspõhine hinnang oodatava energiasäästu ja laiemate hüvede kohta.

Tähtis on märkida, et energiasäästu koordinaatori strateegia on suunatud energiatõhususe suurendamisele hoonetes ning selle koostamisel võetakse arvesse erinevaid tegureid, sealhulgas hoone tüüpi, kliimatingimusi ja kulutõhusaid meetodeid. Samuti peab strateegia andma väljavaateid investeeringute juhtimiseks ning hindama oodatavat energiasäästu ja laiemaid kasusid tõenduspõhiselt [2].

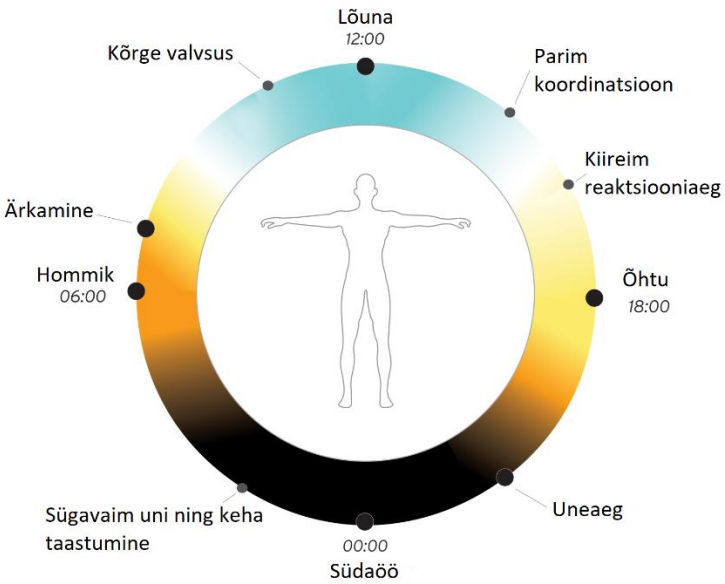
2. VALGUSTUS JA ENERGIAKASUTUS ÜHISKONDLIKUS HOONES

2.1. Valgustuse mõju inimestele ühiskondlikus hoones

Valgustuse asjakohane planeerimine on oluline elektrienergia tarbimise vähendamiseks ja kulude kokkuhoiuks. Antud regioonis on ühiskondlikes hoonetes valgustuse elektrienergia kulu oluline osa, mis on järgmine pärast soojusenergia tarbimist. Luminofoorvalgustid on siiani laialdaselt kasutusel ühiskondlikes hoonetes, kuid üha enam võib kohata ka LED-valgusteid. Avalikus- ja teenindussektoris on elektrienergia tarbimine kõige suurem. Ühiskondlikes hoonetes moodustab valgustus kuni 60% kogu energiatarbimisest [14].

Valgustuse mõju on inimesele väga tähtis. Nähtav ümbrus mõjutab meeleolu ja heaolu, kuna valgustatus omab suurt mõju, kuidas inimene tajub ümbritsevat keskkonda. Samuti on oluline arvestada inimsuhete aspektiga, sest valgustustingimused mõjutavad inimeste väljanägemist ning see omakorda mõjutab, kuidas teised inimesed nendesse suhtuvad [8].

Joonisel 2.1 on kirjeldatud graafiliselt inimese bioloogilise rütmi sõltuvust värvustemperatuurist.



Joonis 2.1. Inimese bioloogilise rütmi sõltuvus värvustemperatuurist. [18].

Füsioloogilisest aspektist lähtudes mõjutab valgus meie bioloogilist rütmi. Õige valgustus ühiskondlikus hoones võib aidata reguleerida inimeste unerütmi, energiatasemeid ja meeleolu. See võib omakorda parandada inimeste und, ärkvelolekut ja üldist tervist. Psühholoogilisest seisukohast on valgustusel suur mõju meeleolule, produktiivsusele ja keskendumisvõimele. Hästi valgustatud ühiskondlikus hoones võivad inimesed tunda end energilisemalt, motiveeritumalt ja rõõmsamalt. Valgustus mõjutab oluliselt inimese heaolu ja tervist. Õige valgustus ühiskondlikus hoones aitab luua ergonoomilise, turvalise ja meeldiva keskkonna [12].

2.2. Energiatarbimise vähendamise võimalused

Energiatõhususe termin sätestab, et eesmärk on saavutada sama soovitud tulemus kasutades vähem sisend energiat, näiteks ruumi kütmine ja valgustamine. See aitab säästa energiat ja vähendada elektrijaamade sisend energia vajadusi ning läbi selle vähendatakse üleüldiselt heitkoguseid. Tabelis 2.1 on kujutatud elumajade energiaklasside jaotust Euroopa Liidus aastani 2021.

Tabel 2.1. Maja aastase energiakulu arvestus [17]

MAJA AASTASE ENERGIAKULU ARVESTUS								
Üldpind m²	Ühik	ENERGIAKLASSID						
		D	C	B	A	A+	A++	Passiivmaja
	KWh/m²a	190	150	130	120	45	35	15
80	KWh/a	15200	12000	10400	9600	3600	2800	1200
100	KWh/a	19000	15000	13000	12000	4500	3500	1500
120	KWh/a	22800	18000	15600	14400	5400	4200	1800
150	KWh/a	28500	22500	19500	18000	6750	5250	2250
175	KWh/a	33250	26250	22750	21000	7875	6125	2625
200	KWh/a	38000	30000	26000	24000	9000	7000	3000
250	KWh/a	47500	37500	32500	30000	11250	8750	3750
300	KWh/a	57000	45000	39000	36000	13500	10500	4500

Energiamärgis, mis ulatub A-klassist kuni H-klassini, annab ülevaate hoone energiatõhususest ja sellest, kui palju energiat hoone või selle osa tarbib aastas iga köetava pinna ruutmeetri kohta. Energiamärgis võimaldab hinnata hoone koguenergiatarbimist erinevate osade kaupa, milleks on siis kas kütte-, jahutus-, ventilatsioon-, kuumavee- või valgustusenergia. Tabelisse 2.1 ei ole kuvatud energiaklassi tähist mis on madalam kui D – kuna selliseid uusi elamuid ei ole lubatud ehitada. Mida kõrgem on hoone energiatõhususe klass, seda väiksemad on selle energiaarved. Passiivelamud on kõige säästlikumad, kuna nende sisendenergia vajadus on kõige väiksem. H-klassi hooned vajavad intuitiivselt kõige rohkem sisendenergiat, et saavutada elamule sobilikud tingimused [17].

Energiatarbimise vähendamine on oluline samm säästva arengu suunas ja aitab vähendada keskkonnamõjusid ning energiakulusid. Siin on mõned võimalused, kuidas saab oma energia tarbimist vähendada:

1. Energiatõhusad valgustuslahendused: Tuleks toast lahkudes kustutada tuli, ja vahetada valgustid säästlikumate vastu, nagu LED-valgustid või tark valgustussüsteem, mis võimaldab automaatset väljalülitust või reguleerib valgust vastavalt vajadusele. Samuti võib kasutada looduslikku valgust ja optimeerida valgustuslahendusi, et vähendada tarbetut elektrienergia tarbimist.
2. Hoonete soojustamine ja õhutihendamine: Hoonete soojustamine aitab vähendada soojuse kadu talvel ja soojuse sissetungi suvel. Korralikult soojustatud ja õhutihedad hooned vajavad vähem energiat kütteks ja jahutamiseks, see aitavad hoida sisetemperatuuri stabiilsena.
3. Tõhus kütte- ja jahutussüsteem: Saab optimeerida kütte- ja jahutussüsteeme, et need oleksid tõhusad ja energiasäästlikud. Reguleerida termostaate, et hoida temperatuuri optimaalsel tasemel ning kasutada programmeeritavaid termostaate, et reguleerida kütet ja jahutust vastavalt vajadusele.
4. Energiasäästlikud seadmed ja elektri kasutus: Valida saab energiasäästlikud kodumasinad ja elektroonika, mis on märgistatud energiatõhususe sildiga. Lülitada välja elektroonilised seadmed, kui neid ei kasutata, ja kasutada energiasäästurežiime, näiteks unerežiime. Vältida tuleks ka tarbetut valgustust ja kasutada energiatõhusaid režiime pesumasinatel ja nõudepesumasinatel.
5. Ringlussevõtt ja jäätmete vähendamine: Edendada saab jäätmete ringlussevõttu ja jäätmete vähendamist. Taaskasutada pabereid, plastikuid ja klaase ning komposteerige orgaanilisi jäätmeid. Vähendada pakendite ja ühekordsete toodete kasutamist ning toetada jäätmetekke minimeerimist.
6. Säästlik transport: Eelistada tuleks säästlikke transpordiviise, nagu ühistransport, jalgrattasõit või jalutamine [6].

3. ENERGIATARBIMISE REGULEERIMISE VAJADUS JA EESMÄRK

3.1. LED- tehnoloogia eelised võrreldes traditsiooniliste valgustusviisidega

LED-tehnoloogias on mitu kuni mitusada valget valgusdioodi pindmontaažmoodulitena. Mooduli trükkplaadil võib olla üks või mitu valgusdioodi, samuti jahutusplaat. LED-valgustid vajavad alalisvoolu, kuid tavaliselt on elektrivõrgus kasutusel vahelduvvool. Vahelduvvoolu muundamiseks alalisvooluks kasutatakse tavaliselt alaldit ehk dioodsilda. Alaldi koosneb mitmest dioodist, mis lasevad voolul liikuda ainult ühes suunas ehk võimaldavad voolul voolata ainult ühes polaarsuses. See võimaldab LED-valgustitel saada vajalikku alalisvoolu toitepinget. [23].

LED-tehnoloogias ehk valgusdioodide tehnoloogia, pakub mitmeid olulisi eeliseid võrreldes traditsiooniliste valgustusviisidega. Esiteks, LED-valgustid tarbivad vähem energiat kui halogeenlambid või luminofoorlambid. Nende efektiivsus elektrienergia muundamisel valguseks on suurem, mis aitab vähendada elektrienergia kulusid. Lisaks sellele on LED valgustite tööiga kümneid tuhandeid tunde. See tähendab, et keskmise LED-valgusti eluiga on keskmiselt üle 15. aasta arvestades, et valgusteid kasutatakse keskmiselt mõned tunnid päevas. Selle tulemusena tuleb neid valgusallikaid harvemini välja vahetada ehk hooldusintervall on pikem [7]. Ajalooliselt on teada, et kõige pikema kestvusega on siiani hõõglamp valgusti [21], kuid antud valgusti on väga madala valgusviljakusega (umbes 10-20 lm/W vahemikus), ning ei sobi tänapäeval enam eluruumide efektiivseks valgustamiseks.

LED-tehnoloogia on keskkonnasõbralikum valik, kuna LED-valgustid ei sisalda elavhõbedat ega muid ohtlikke aineid, mis võiksid keskkonda jõuda ning tekitada erinevaid keskkonnakahjusid. Lisaks energiasäästule aitavad LED-id vähendada ka süsinikujalajälge ja keskkonnamõju. Seega, LED-tehnoloogia pakub mitmeid praktilisi ja keskkonnasõbralikke eeliseid valgustuse valdkonnas [7].

LED-valgustid eraldavad vähem soojust võrreldes traditsiooniliste valgusallikatega. See muudab nad efektiivsemaks ja võimaldab neid kasutada ka soojustundlikes piirkondades. Lisaks selle on valgusdioodid väiksed ja kompaktsed võrreldes tavapäraste valgustustitega,

ning see omadus annab disaineritele uuenduslikku paindlikkust valgustusdisainis ja paigalduses. See võimaldab luua kompaktsemaid ja stiilsemaid valgustuslahendusi. LED valgustite abil on väga kerge luua erineva valguse ja värvusega valguskeskkondi, mis pakub uusi võimalusi tänapäeva interjööri disaineritele [7].

LED valgustite korral on võimalik kasutada tuleohtlikke disain materjale, mille abil saab luua uusi valguslahendusi võrreldes tavapäraste valgustitega. Joonis 3.1 kujutab LED pilv valgustit.

Joonis 3.1. LED pilv valgusti [19].

Joonisel 3.1 kujutatud LED pilvlamp kasutab LED valgusteid, mis on energiasäästlikud ja madala soojuseraldusega. LED valgustid on paigutatud puuvilla massi alla, mis tagab hajutatud ja omapärase valgustuse. Selline disain on näidiseks, et LED valgustite abil on võimalik saavutada erinevaid valguse levimise ja hajumise efekte, pakkudes mitmekülgseid valgustuslahendusi [19].

3.2 Automaatne hoone valgustuse reguleerimine sõltuvalt vajadustest

Elektrienergia säästmiseks on võimalik kasutada valguspaigaldiste automaatjuhtimist, mis annab võimaluse valgusteid kontrollida vastavalt vajadusele. See tagab, et valgus süttib ja kustub automaatselt vastavalt ruumi kasutamisele, vähendades tarbetut elektrienergia tarbimist.

Koridoride ja trepikodade valgustuse juhtimine võib toimida läbi hooneautomaatika süsteemi, mis kasutab liikumisandureid, ajaprogrammi, valvestatust ning sõltuvust päevavalgusest. Lisaks peab olema võimalus valgustust käsitsi lülitada, mille jaoks tuleb paigaldada ka surunupplülitid [9].

Lisaks saab hoone valgustuse energiakulu optimeerida läbi liikumisandurite kasutusele võtmise. Kui liikumisandur aktiveerub, siis automaatikasüsteem lülitab ruumi valgustuse sisse ning kui liikumist enam ei tuvastata, lülitatakse ruumi valgustus välja [10]. Liikumisandureid on mõttekas kasutada koridorides ja lühiajaliselt kasutatavates olmeruumides.

Automaatsed valgustuse reguleerimissüsteemid võimaldavad täpsemalt kontrollida ja kohandada elektrienergia tarbimist vastavalt tegelikele vajadustele. Automaatne süsteem suudab tuvastada, kas ruumis on inimesi, ja reguleerida valgustust vastavalt. Näiteks kui tualettruum on tühi, võib süsteem vähendada valgustustase madalamale tasemele või isegi lülitada selle välja. Kui keegi siseneb ruumi, tuvastab süsteem selle ja tagab piisava valgustuse, et tagada mugavus ja ohutus. Sellised süsteemid mitte ainult ei vähenda elektrienergia kulusid, vaid aitavad ka kaasa jätkusuutliku ja energiatõhusa keskkonna loomisele ühiskondlikes hoonetes [8].

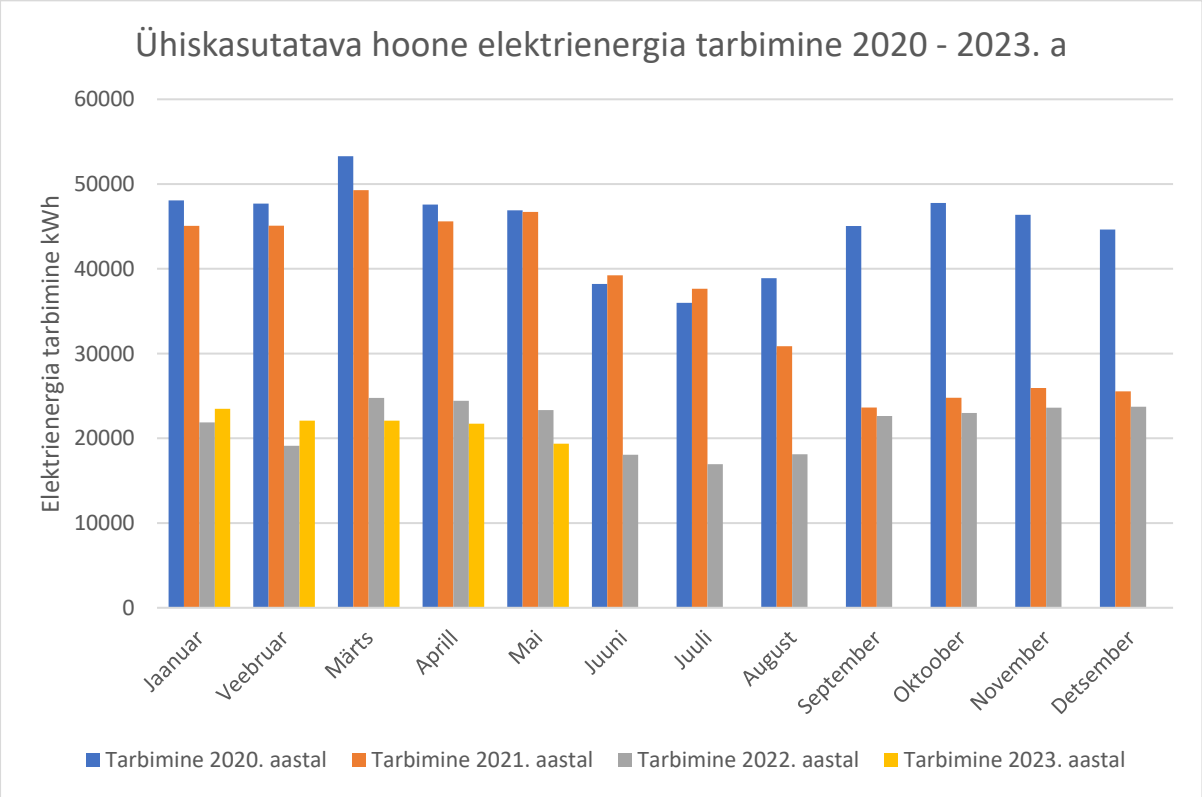
Samas tuleb meeles pidada, et automaatjuhtimine võib mõnikord olla ebatäpne või tekitada tarbetuid toiminguid. Tarbetute toimingute hulka võivad kuuluda olukorrad, kus automaatne juhtimissüsteem lülitab valgustid või seadmed sisse või välja ebasobival ajal või ebavajalikult sagedasti. Näiteks bürooruumides, kus toimub vähene liikumine ning inimesed töötavad arvutites. Selle vältimiseks on soovitatav lisaks automaatsele juhtimisele võimaldada ka käsitsijuhtimist. See võimaldab kasutajal sekkuda juhtimisprotsessi, kui automaatne süsteem ei vasta täpselt vajadustele või tekitab ebavajalikke toiminguid [8].

4. JUHTUMIUURING

4.1. Ühiskondliku hoone valgustuse analüüs

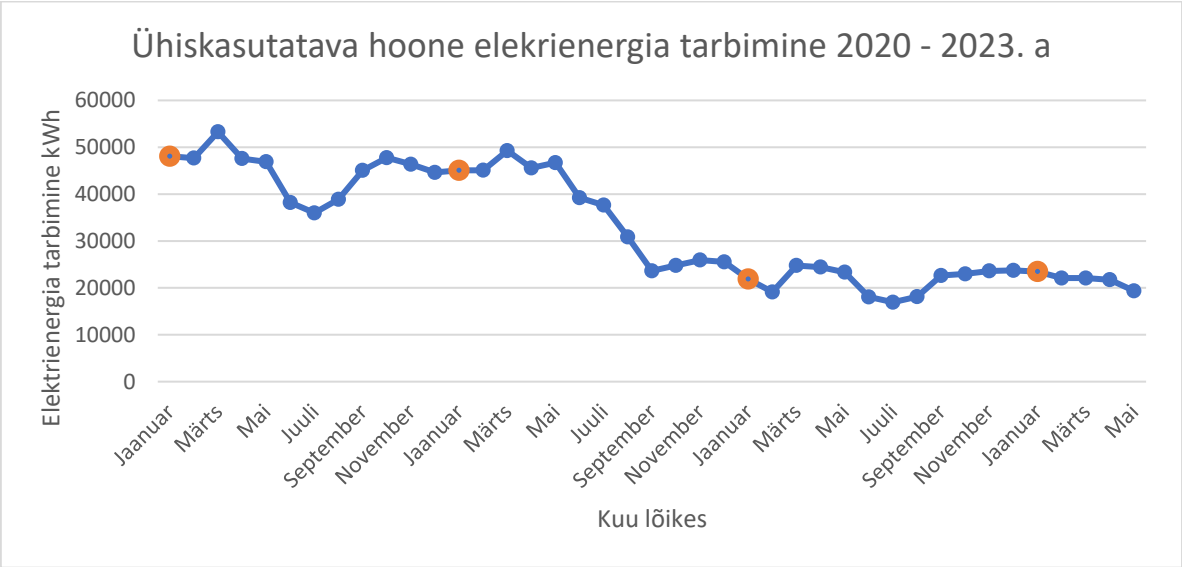
Antud analüüsis keskenduti Eesti Maaülikooli Torn ühiselamu uurimisele. Torn ühiselamu on kõrghoone, mis on spetsiaalselt ehitatud majutamaks nii Eesti Maaülikooli kui ka teiste kõrgkoolide tudengeid. Asudes Tartu linnaosas, Tähtveres, aadressil Fr.R.Kreutzwaldi 52, on Torn 16-korruseline ühiselamu. Hoone ehitati aastatel 1974–1976 ning renoveeriti 2005. aastal. Selle kõrgus maapinnast on 51,84 meetrit [11].

Mõistmaks ühiselamu Torn elektrienergia tarbimise muutusi analüüsitakse ühiselamu elektrienergia tarbimist aastatel 2020 – 2023 (joonis 4.1).



Joonis 4.1. Ühiskasutatava hoone elektrienergia tarimine aastatel 2020 – 2023.mai.

Vaadeldes joonis 4.1 aastatel 2020 - 2023, näeme, et hoone energiatarbimine on märkimisväärselt muutunud. 2020.a jaanuaris oli tarbimine kokku 48076 kWh. Aastal 2021 jaanuaris oli tarbimine 45076 kWh. Aastal 2022 jaanuaris oli tarbimine 21874 kWh. Aastal 2023 jaanuaris oli tarbimine 23479,2 kWh. Nähakse seost, kus viimasel kahel möödunud aastal on elektrienergia kuine tarbimine muutunud ligi kaks korda väiksemaks. See nähtus tekitas hulgaliselt küsimusi hoone haldajale. Nimelt uuriti hoone haldajalt, mis on muutunud elektrienergia tarbimises. Hoone haldaja tõi välja, et aastal 2021 toimus ühiselamu Tornis alajaamade ümberehitus koos elektriarvestite mõõtepunktide muutusega. Mõõtepunktide muutus on tekitanud olukorra kus on muutunud mõõdetavad väärtused. Seda erinevust on märganud ka hoone haldaja. Sellest hoolimata saab analüüsida ühiselamu Torni elektritarbimise trendi kuude ning aastate lõikes. Kogutud andmetest saab välja arvutada, et aastal 2020 elektri kogu tarbimine oli 300802 kWh, aasta 2021 elektri kogu tarbimine oli 439357 kWh ning aasta 2022 elektri kogu tarbimine oli 259572 kWh. Mõõtepunktide ning mõõteseadmete muutus on tekitanud andmevoos ligi 50 protsendilise erinevuse.



Joonis 4.2. Ühiskasutatava hoone elektrienergia tarbimine aastatel 2020 – 2023. mai.

Joonisel 4.2 on kujutatud graafiliselt energiatarbimise tsüklid kolme aasta jooksul. Märgatakse seost, et suve kuudel on elektrienergia tarbimine 30% madalam. Seda nähtust põhjustab kaks muutujat, vähenenud üürnike arv ning pikem päevane aeg. Graafikult joonistub välja algandmete muutus aastal 2021 septembri kuus. Talvekuudel tarbitakse elektrienergiat rohkem erinevatel põhjustel, üheks neist on lühenenud valge päevane aeg, mille tõttu kasutavad elanikud rohkem valgusteid.

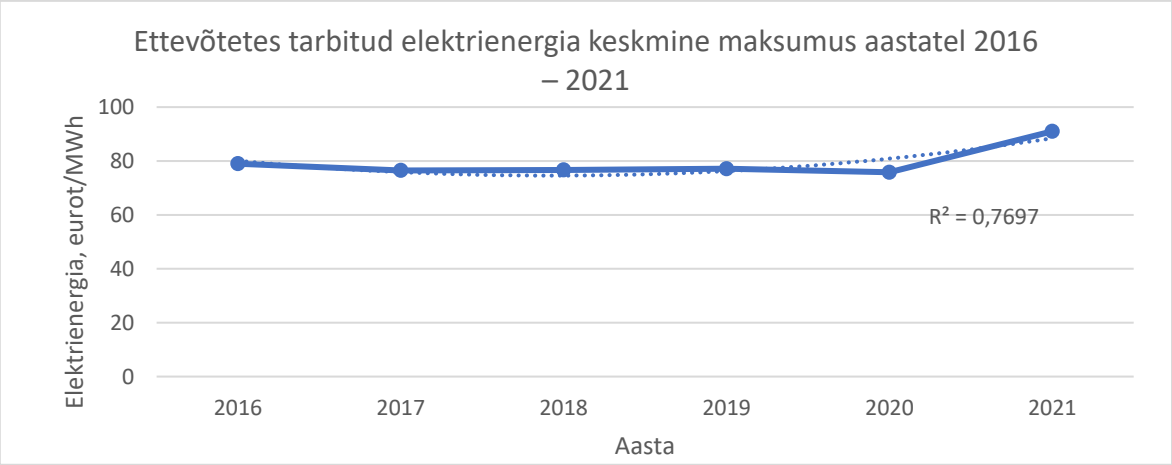
Analüüsi eesmärgiks on vaadelda milline rahaline elektrienergia tarbimise erinevus tekib hoones kui sealsed valgustid vahetada välja kõige tehnoloogilisemalt uuenduslikemate valgustite vastu. Selleks kasutatakse statistikaameti väljastatavaid andmeid elektrienergia maksumuse kohta, mis on välja toodud tabelis 4.1.

Tabel 4.1. Ettevõtetes tarbitud kütuse ja energia keskmine maksumus aastatel 2016 – 2021 [15].

Ettevõtetes tarbitud kütuse ja energia keskmine maksumus | 2016 – 2021						
	2016	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Kivisüsi. eurot/t	..	78,14	84,13	75,83	83,9	101,16
Põlevkivi. eurot/t	12,76	12,79	13,01	14,26	14,53	17,02
Tükkturvas. eurot/t	40,67	34,01	41,93	40,78	54,23	43,93
Turbabrikett. eurot/t	..	..	..	..	..	..
Küttepuud. eurot/tm	24,72	26,12	37,76	41,96	38,25	40,53
Puiduhake. eurot/m³	12,17	11,23	11,31	13,47	12,34	11,63
Puidujäätmed. eurot/m³	10,67	7,24	11,95	9,25	11,42	8,93
Maagaas. eurot/tuhat m³	261,65	289,77	325,45	328,09	262,42	422,69
Raske kütteõli. eurot/t	340,38	400,87	467,62	477,19	358,51	512,71
Põlevkiviõli (raske fraktsioon). eurot/t	286,82	336,38	381,7	381,2	326,49	467,36
Kerge kütteõli. eurot/t	487,41	601,28	586,91	572,97	425,02	495,92
Diislikütus. eurot/t	957,19	1 032.75	1 051.39	1 074.62	950,52	1 062.79
Autobensiin. eurot/t	1 142.90	1 253.78	1 278.40	1 295.21	1 318.35	1 402.62
Elektrienergia. eurot/MWh	79	76,51	76,69	77,12	75,83	91,01
Soojus. eurot/MWh	53,75	57,12	65,01	64,26	57,72	60,73

Tabel 4.1 annab ülevaate Eestis tarbitud kütuse ja energia keskmistest maksumustest ettevõtetele aastatel 2016 kuni 2021. Selle töö raames keskendutakse konkreetsele tabeli reale, nimega "elektrienergia, eurot/MWh".

Kogutud andmete põhjal koostati joondiagramm 4.3, kuhu kuvati elektrienergia maksumused ettevõtetele 2016 – 2021 aastate lõikes.



Joonis 4.3. Ettevõtetes tarbitud elektrienergia keskmine maksumus aastatel 2016 – 2021.

Joonis 4.3 graafikul on selgelt näha, et aastate 2020 kuni 2021 vahel on toimunud elektrihinna maksumuse märgatav tõus.

Elektrienergia tarbivuse maksumuse jaoks koostati põhjalik ülevaade ühiselamu Torn valgustite kohta. Tabel 4.2 on koondatud kokku erinevate kasutatavate valgustite elektrienergia kogu tarbivused.

Tabel 4.2. Tabeli vasakul pool on tegemist ühiselamu Torn ruumide jaotusega koos valgustite installeeritud võimsusega ning paremal pool hetke valgustite elektrienergia tarbivus.

Luminofoorvalgustite teoreetiline maksimum tarbimine					**Luminofoorvalgustite realistlik tarbimine**		
Ruumi kirjeldus	Tarbitav maksimaalne võimsus korteri kohta (kW)	Korruse kohta (kW)	2-15 korrus kokku (kW)		Töötsükkel 24h jooksul (%)	Tarbimine 24h jooksul keskmiselt (kWh)	Keskmine tarbimine aastas (kWh)
8 inimese korter	0,9	3,8	53,6		15	193,1	70493,5
4 inimese korter	0,4	2,3	32,8		15	118,2	43157,0
Koridor		0,4	5,5		40	53,2	19426,2
Trepikoda			1,2		50	14,0	5124,6
Liftide eesruum		0,1	2,0		50	24,2	8830,1
					Aastane elektrienergia tarbimine valgustusele		147031,3 147 MWh

Tabel 4.2 on koondatud kokku ühiselamu Torn-is olevad erinevad ruumid ning nende jaotus korruse kohta. Lahter luminofoorvalgustite teoreetiline maksimum tarbimine kujutab endas kasutusel olevate valgustite 100% töötsüklit ning maksimum aastast elektrienergia tarvet. Lahter luminofoorvalgustite realistlik tarbimine kujutab endas kasutel olevate valgustite tõepärast tarbimist arvestades loogilisi töötsükleid erinevades ruumides. Korterites on arvestatud 15% töötsükliga, mis tähendab, et valgustid on kasutusel aasta jooksul keskmiselt kokku 3,6 h päevas. Koridoris on arvestatud 40% töötsükliga mis tähendab, et valgustid on kasutusel aasta jooksul keskmiselt kokku 9,6 h ööpäevas. Trepikojas ja liftide eesruumis on arvestatud 50% töötsükliga, mis tähendab, et valgustid on kasutusel aasta jooksul keskmiselt kokku 12 h päevas. Reaalsituatsioonis on ühiselamu Torn koridorid ja liftide eesruumid valgustatud 100 % ajast, kuid lähemal vaatlusel on maja haldaja välja lülitanud 50% aktiivsetest valgustitest. Selle tõttu on tehtud ka eelnevalt mainitud lähendus.

Leides sellise situatsiooni, et üldkasutatavates ruumides on manipuleeritud valgustite töötamisega, tekitab see küsimusi, et kas projekteeritud valgustihedus on vastavuses standardiga. Vaadeldes standardit EVS-EN 12464-1:2021 leitakse, et büroohoonete fuajeedes on nõutud miinimum valgustiheduseks 200 lx. Täpsustavad andmed on leitavad LISA 1 alt. Lähtudes standardist, kasutati nutitelefoni rakendust *Valgusmõõtur*, mille abil kontrolliti ruumi valgustihedust. Antud mõõteseadme mõõtehälbed on teadmata, selle tõttu arvestatakse mõõteveaks 15%. Mõõdetud andmed on koondatud tabelisse 4.3.

Tabel 4.3 Valgustiheduse kogutud tulemused.

Ruumi kirjeldus	**Mõõdetud valgustihedus (lx)**
Ühiselamu kortereid ühendav koridor	77 ± 12
Liftide ooteala	40 ± 6
Trepikoda	32 ± 5

Leiti, et valgustihedus ühiselamu ruumides, kus on manipuleeritud valgustite töötamisega on madalam kui kehtestab Eestis kehtiv standard. Antud lõputöö käsitluses ei projekteerita uut valguslahendust, selle tõttu ei kontrollita teiste ruumide valgustuse vastavust standarditele. Tuuakse välja, et kasutusel olevate valguslahenduste vastavust tänapäeva standarditele tuleb kontrollida ning ajakohastada, et tagada elanikele ergonoomiline elukeskkond.

Arvestades tabel 4.2-es kokku kogutud valgustite elektrienergia tarvet ning kasutus intensiivsusi saadi aastaseks elektritarbeks valgustusele kokku 147 MWh. Võrreldes seda arvu aastate 2020, 2021, 2022 ühiselamu kogu elektritarbega, võib järeldada, et kokku kogutud andmed valgustite kogu elektritarbimise kohta ning tehtud lähendused on proportsionaalselt võrreldavad. Antud andmeid on võimalik kasutada elektrienergiasäästu arvutustes.

4.2. Elektrienergia kuluanalüüs valgustite näitel

Analüüsi käigus on eesmärgiks kõrvutada olemasolevate valgusallikate elektrienergia tarve, tehnoloogilisemalt moodsamate valgusallikate elektrienergia tarbega. Võrreldavaks parameetriks on samaväärne valgusvoog, et vähendada projekteerimise ning arvutamise mahtu. Tabel 4.4 on kuvatud samaväärsete valgusvoo näitajatega LED valgustite elektrienergia kogutarbed.

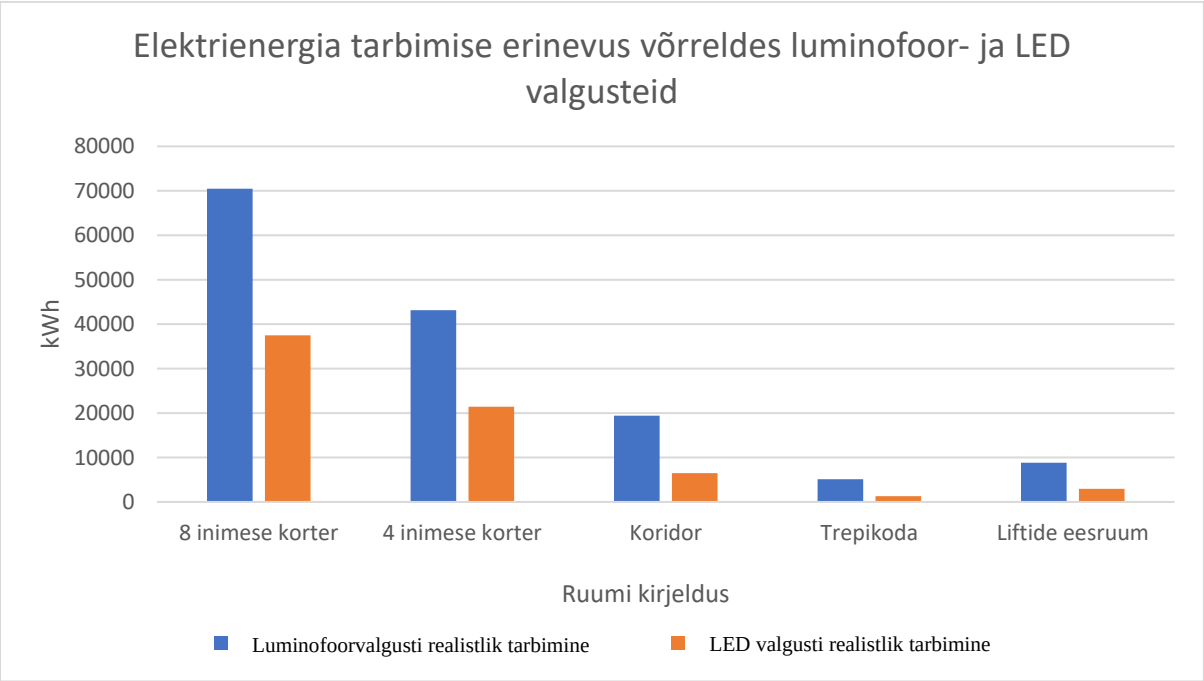
Tabel 4.4. Ühiselamu Torn ruumide jaotus koos LED valgustite installeeritud võimusega ning elektrienergia tarbivusega .

LED valgustite teoreetiline maksimum tarbimine					**LED valgustite realistlik tarbimine**		
Ruumi kirjeldus	Tarbitav maksimaalne võimsus korteri kohta (kW)	Korruse kohta (kW)	2-15 korrus kokku (kW)		Töötsükkel 24h jooksul (%)	Tarbimine 24h jooksul keskmiselt (kWh)	Keskmine tarbimine aastas (kWh)
8 inimese korter	0,51	2,0	28,5		15	102,7	37498,4
4 inimese korter	0,2	1,2	16,3		15	58,7	21435
Koridor		0,1	1,8		40	17,7	6475,4
Trepikoda			0,3		50	3,6	1309,6
Liftide eesruum		0,04	0,7		50	8,1	2943,4
					Aastane elektrienergia tarbimine valgustusele		69661,8
							69,7 MWh

Tabel 4.4 on arvutatud kokku ühiselamu jaoks eelduslikud LED-valgustite tarbimised. Lahter LED valgustite teoreetiline maksimum tarbimine kujutab endas eelduslikku valgustite 100 % töötsüklit ning maksimum aastast elektrienergia tarvet. Lahter LED valgustite realistlik

tarbimine kujutab endas eelduslikku realistlikku tarbimist arvestades samu töötsükleid erinevates ruumides nagu luminofoorvalgustite arvutuses. Arvestades eelpool kokku arvutatud andmeid saame aastaseks elektritarbeks kogutarbeks LED valgustusele 69,662 MWh.

Elektrienergia kogutarbe vahe on märkimisväärselt erinev. Joonis 4.4 kuvab graafiliselt elektrienergia kogutarbe erinevust.

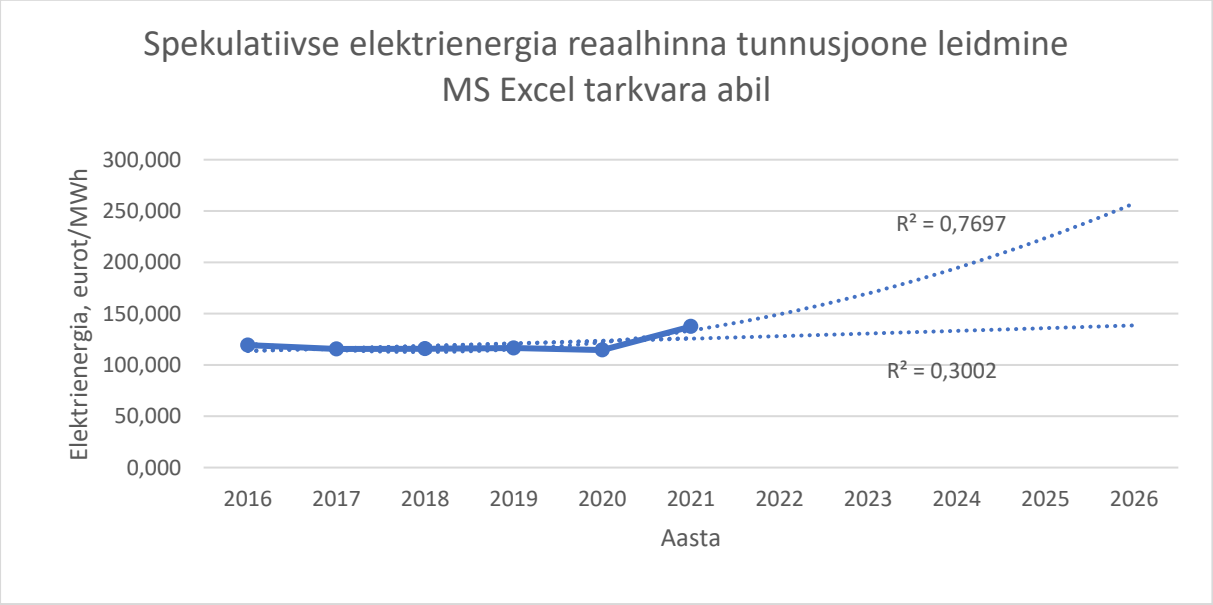


Joonis 4.4. Elektrienergia tarbimise erinevus võrreldes luminofoor ja LED valgusteid.

Joonisel 4.4 kuvatakse elektrienergia tarbimise erinevust luminofoorvalgustite ja LED valgustite vahel erinevates ruumides. Horisontaalteljel on ruumi indikatsioon, mis hõlmavad kaheksa inimese korterit, nelja inimese korterit, koridori, trepikoda ja liftide eesruumi. Valgustite elektrienergia tarbimise väärtused on väljendatud kWh-s. Luminofoorvalgustite esimeses tulbas on kaheksa inimese korteri elektrienergia tarbimine valgustusele 70493,5 kWh, samas kui LED valgustite tarbimine on 37498,4 kWh. Teises tulbas on välja toodud nelja inimese korter, kus luminofoorvalgustite elektrienergia tarbimine on 43157 kWh ja LED valgustite tarbimine on 21435 kWh. Kasutades neid väärtusi, saame arvutada protsentuaalse erinevuse mõlema valguslahenduse elektrienergia kogu tarbe vahel. Kaheksa inimese korteri puhul on LED valgustite tarbimine ligikaudu 46,8% väiksem kui luminofoorvalgustite tarbimine. Sama trend jätkub ka nelja inimese korteri puhul, kus LED valgustite tarbimine on ligikaudu 50% luminofoorvalgustite tarbimisest väiksem. Kuna koridorides, trepikojas ja

liftide eesruumides on vähendatud aktiivsete valgusallikate arvu 50% võrra, siis antud ruumidesse arvestati ka LED valgustite valgusvoogu samaväärselt. Joonis 4.4 kolmandas, neljandas ja viiendas tulbas on elektrienergia kogutarbe vahe 67 %. Antud vahe kirjeldab edukalt seda, et mida pikem on valgusti töötsükkel, seda suurem on kogu elektrienergia tarbimise vahe.

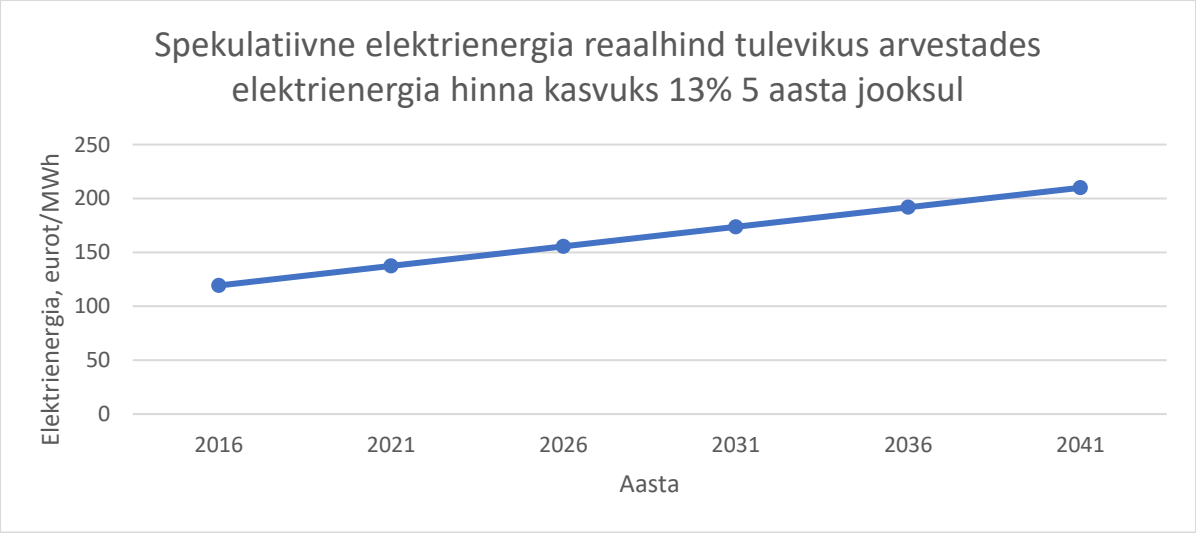
Joonis 4.3 andmete põhjal koostati MS Excel tarkvara abil elektrihinna arvutuse prognoose, mis on nähtavad joonisel 4.5.



Joonis 4.5. Spekulatiivse elektrienergia reaalhinna tunnusjoone leidmine MS Excel tarkvara abil.

Kasutades statistikaameti kodulehelt kogutud andmeid arvutati MS Excel tarkvara abil andmepunktide tunnusjoon. Lineaarne tunnusjoon on 0,3 lähendiga ning polünoomiline seos on 0,77 lähendiga algandmetele. Kahjuks on andmepunkte liiga vähe, ning nende omavaheline seos piisavalt erinev ning leitud tunnusjoone lähendid on liiga ebatäpsed. Aastal 2022 ja 2023 on toimunud elektrienergia turul väga palju muutusi, mis on mõjutanud tugevalt tarbijate käitumist [20]. Kahjuks on andmed liiga uued ning statistikaamet ei väljasta nii uusi andmeid.

Elektrihinna kasvutrendi leidmiseks kasutati seost, et kui palju on elektrienergia hind suurenenud 2016 – 2021 aastate vahemikus. Joonisel 4.6 on kujutatud lineaarse seosena elektrienergia kasvutrendi viieaastaste tsüklitega.



Joonis 4.6. Spekulatiivne elektrienergia reaalhind tulevikus arvestades elektrienergia hinna kasvuks 13% 5 aasta jooksul.

Joonisel 4.6 graafikul on kujutatud elektrienergia hinna kasvutrend. Algparameetriks on arvestatud 13% elektrienergia hinna kasvuks viie aasta jooksul. Andmed on esitatud aastatel 2016 kuni 2041. Alguspunktina on märgitud, et aastal 2016 oli elektrienergia reaalhind 119,3 eurot/MWh. Seejärel järgneb iga viie aasta tagant hinnatõus, kus elektrienergia reaalhind suureneb 13% võrra. Aastal 2021 oli elektrienergia hind tõusnud 137,4 eurot/MWh-ni. Läbi sellise lineaarse seose on aastaks 2041 spekulatiivne elektrienergia reaalhind 210 eurot/MWh. Antud spekulatiivne elektrienergia hind tundub realistlik, kuna aastal 2022 ja 2023 ollakse Eestis nähtud ka 4000 eurot/MWh elektrienergia maksumuse hinda [20].

Graafikult on näha, kuidas elektrienergia hind suureneb aja jooksul. 5-aastaste perioodide tagant toimuv 13%-ne kasv viib hindade järkjärgulise tõusuni. See annab ülevaate spekulatiivsetest muutustest elektrienergia hinnas ja võib aidata paremini mõista võimalikke tulevikustsenaariume elektrituru osas.

4.3. Tasuvusanalüüs

Tasuvusanalüüs on oluline, kuna see aitab hinnata erinevate investeeringute majanduslikku mõju ning võimaldab teha majanduslikult tasuvaid otsuseid. See aitab mõista investeeringute tasuvust, arvestades investeeringu mahtu, olemasolevaid kulusid, teoreetilisi vähendatud kulusid ning tasuvusperioodi.

Antud tasuvusanalüüsi eesmärk on hinnata ühiselamus kasutatavate valgustite väljavahetamise majanduslikku mõju. Selleks analüüsiti valgustite tehnilisi näitajaid, nagu võimsus, valgusviljakuse näitaja ja valgusvoog. Andmeid koguti uurides reaalsete valgustite tehnilisi parameetreid erinevates ruumides. Tehtud arvutused ning lähendused on leitavad tabel 4.5-st.

Tabel 4.5 Ühiselamus kasutatavate valgustite tehnilised näitajad

Kasutatav valgusti võimsus (W)	Valgusti valgusviljakus näitaja (lm/W)	Valgusti valgusvoog (lm)
36	60 [22]	2160
8,5	60 [22]	510
15	60 [22]	900
9	60 [22]	540
18	60 [22]	1080
12	60 [22]	720

Analüüsides tabelis 4.5 esitatud andmeid, hinnati erinevate valgustite omadusi ja võrreldi nende valgusvoogu. Näha on, et valgusti tarbitav võimsus varieerub 8,5 W-st kuni 36 W-ni. Valgusviljakuse näitaja valiti kirjanduse põhjal [22], kuna valgustid on kohati rohkem kui 10 aastat vanad kasutati lähendust ning määrati kõigile kasutusel olevatele valgustitele sama näitaja, mis on ka efektiivsuselt üks madalamaid näitajaid. Antud toodete andmelehti on praktiliselt võimatu leida, kuna sellise versiooniga valgusteid ei ole enam saadaval. Täpsemate arvutuste teostamiseks on vaja korrektsetes tingimustes mõõta iga lambi valgusvoog, arvutada mõõtehälbed ning neid andmeid kõrvutada alternatiivsete valgustite tehniliste näitajatega.

Selles analüüsis uuriti alternatiivseid valgusteid, mis on kergesti asendatavad olemasolevate valgustitega. Eesmärgiks oli leida valgustid, mis on võrreldavate valgusvoo näitajatega ning mida saaks kasutada olemasolevates valgustites asendus valguskehadena.

Tabel 4.6 annab ülevaate LED valgustite tehnilistest näitajatest ja nendega seotud kuludest. See aitab võrrelda erinevate valgustite tehnilisi omadusi ja kulusid, mis omakorda võimaldab teha majanduslikult läbimõeldud otsuseid.

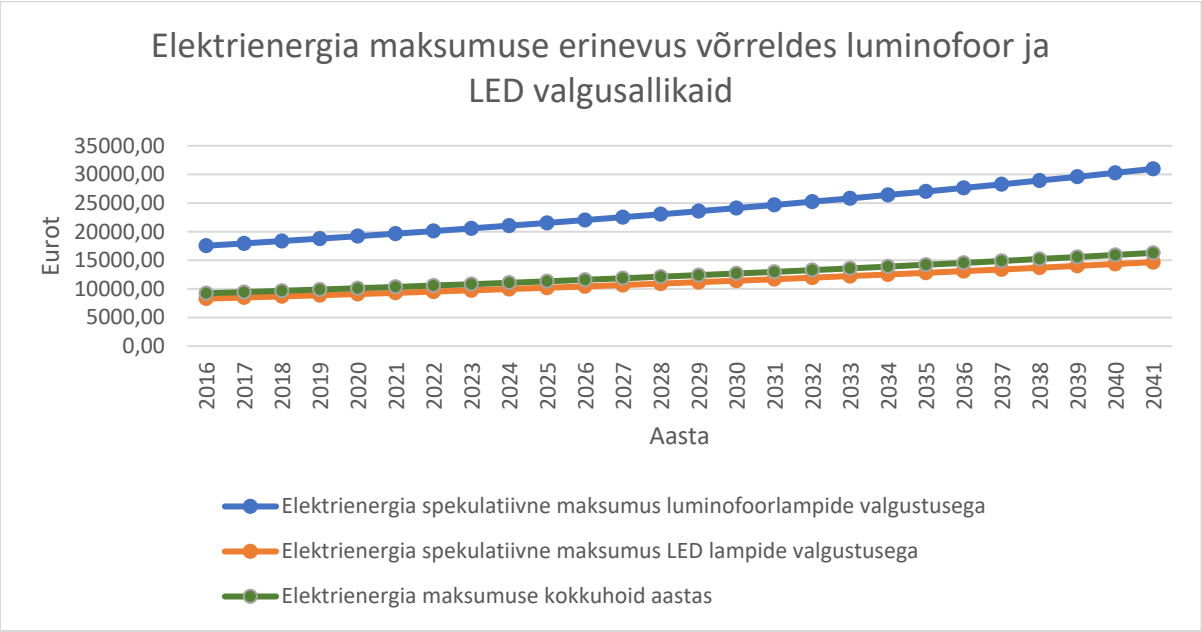
Tabel 4.6 LED valgustite tehnilised näitajad koos nende maksumusega

Kasutatav valgusti võimsus (W)	**Valgusti valgusviljakus näitaja (lm/W)**	**Valgusti valgusvoog (lm)**	**Valgusti hind (eurot)**	**Vajaminev kogus tervele hoonele (tk)**	**Maksumus (eurot)**
18,3	120	2196	15	224	3360
6	85	520	3,7	280	1036
9	90	800	5,6	42	235,2
8	80	512	5	84	420
12	85	1000	14,3	462	6606,6
4,6	130	670	40,9	65	2658,5
				LED valgustite kogumaksumus	**14316,3**

Müügil on erineva valgusviljakusnäitajaga LED valgustid. Siiski ei tähenda see, et LED valgustid on alati efektiivsemad kui teised valgustid. Valgusviljakusnäitaja kirjeldab valgusti efektiivsust energia muundamisel valguseks, kuid LED valgustite puhul võib olla erinevaid valgusviljakusnäitajaid, sõltuvalt konkreetsest mudelist või tootjast.

Tabel 4.6 käigus leiti luminofoorvalgustitele asendused, võttes arvesse valgusti valgusvoogu. Valgusti valgusvoog kirjeldab valgusti poolt toodetud koguvalgust, mis on oluline tegur valgustite valikul. Selle lähenemisviisi kohaselt otsiti LED valgusteid, mille kogu valgusvoog vastaks või ületaks luminofoorvalgustite poolt toodetud valguse hulka. See tähendab, et uued valgustid peavad suutma pakkuda sama või paremat valgustust kui luminofoorvalgustid. Tasuvusanalüüsi jaoks on vajaminevad näitajad LED valgustite tarbitavad võimsused ning nende maksumus. Kuna tegemist on kõrghoonega, ning valgusteid on palju, on tasuvusanalüüsi jaoks tähtis ka valgustite vajaminev kogus. Antud andmete põhjal leiti, et LED valgustite investeeringu kogumaksumus on 14316 eurot.

Elektrienergia hind Eestis on tõusutrendis. See tähendab, et aja jooksul on elektrienergia hind suurenenud. See on oluline aspekt, mida tuleb arvestada tasuvusanalüüsis, kuna kõrgemad elektrienergia hinnad mõjutavad investeeringute tasuvust. Joonis 4.7 on graafiline kujutus, milles on kuvatud elektrienergia kogumaksumuse tõuse aastate lõikes.



Joonis 4.7. Elektrienergia maksumuse erinevus graafiliselt, võrreldes luminofoorvalgustite ja LED valgustite elektrienergia kogutarbimist ning arvestades 13% hinnatõusu viie aastaste tsüklitena.

Graafikul on näha, et erinevus elektrienergia kogumaksumuses aastate lõikes suureneb. See tähendab, et kulude erinevus kasvab aja jooksul.

Joonis 4.7 andmete põhjal arvutati välja elektrienergia maksumuse protsentuaalne erinevus luminofoorvalgustite ja LED valgustite näitel aastatel 2024 ja 2038. Mõlemal juhul on protsentuaalne erinevus ligikaudu 47%. See tähendab, et LED valgustite töötamisele kulub konstantselt 53% vähem raha. Graafikult joonistub välja, et aastaks 2041 on olemasoleva valguslahenduse rahaline kulu kaks korda suurem võrreldes 2016. aasta kuluga. Samuti joonistub graafikult välja, et LED valguslahenduse elektrienergia rahaline kulu ei saavuta aastaks 2041 sama taset, mis oli luminofoorvalgustitega aastal 2016.

Eelpool leitud andmete põhjal koostati tasuvusanalüüsi tabel 4.7, mis võimaldab hinnata luminofoorvalgustite ja LED-valgustite majanduslikku tasuvust.

Tabel 4.7 Lihtsustatud tasuvusanalüüs.

Tasuvusanalüüs		
LED valgustite maksumus	14316,3	eurot
Teostatava ehitustöö teoreetiline maksumus	28632,6	eurot
Valgustite eluiga (25000-30000h)	14	aastat (20%)
Elektrienergia kogumaksumuse erinevus aastaks 2038 (14 aastat)	195656	eurot
Tasuvusaeg	4,6	aastat

Tabel 4.7-sse on koondatud vajaminevad andmed. LED valgustite hinnad on leitud laiatarbekaubandusest, võttes arvesse 2023. aasta maikuud. LED valgustite maksumus peegeldab olemasolevate valgustite asendamise kulu.

Ehitustöö hinna arvutamisel on võetud arvesse seost, et materjalide maksumus moodustab 30% teostatavate remonttööde kogumaksumusest. Seega on ehitustöö teoreetiline maksumus arvutatud, võttes aluseks LED valgustite maksumust.

Valgustite eluiga on oluline tegur, mis mõjutab valgustite pikaajalist toimimist. Keskmiseks valgusti elueaks on arvestatud 25000 h, antud andmed on leitavad LISA 2 alt. Samuti on arvutustes võetud arvesse töötsüklit, mille puhul valgustid on sisse lülitatud teatud ajaperiood. Eeldades, et töötsükkel on 20%, on arvutatud välja keskmine valgustite oodatav tööaastate arv, milleks on 14 aastat.

Elektrienergia kogumaksumuse kokkuhoiu analüüsimisel on lähtutud valgustite elueast, mis on 14 aastat, ning hinnaaluseks on võetud periood 2024–2038. Selle ajavahemiku jooksul on arvutatud valgustite elektrienergia kogumaksumuse erinevus, milleks on 195656 eurot. See arvutus võtab arvesse elektrienergia tarbimise muutusi ning elektrienergia hinna muutusi ajas. Antud arvutuste põhjal leiti, et investeeringu tasuvusajaks on 4,6 aastat.

KOKKUVÕTE

Antud bakalaureusetöö eesmärk oli uurida energiasäästu võimalusi ühiskondlikes hoonetes, keskendudes Eesti Maaülikooli ühiselamule Torn elektrienergia kulule. Töö esimene osa hõlmab põhjalikku kirjanduse ülevaadet energiasäästu kontseptsioonidest ja erinevatest lahendustest ning Euroopa Liidu ja Eesti energiapoliitika direktiividest. Teises osas kirjeldati kõrghoone Torn praegust elektrienergia kulu valgustusele ning analüüsiti võimalikku parandusmeetodit.

Mõistmaks ühiselamu Torn elektrienergia tarbimist, analüüsiti ühiselamu viimase kolme aasta elektritarbimise trendi. Et anda väärtus nendele andmetele analüüsiti Eestis aastate 2016 – 2021 elektrienergia maksumuse hinda. Lisaks sellele koguti andmeid ühiselamus kasutatavate valgustite kohta, et leida seos valgustite tarbitava energia ja ühiselamus kuluva elektrienergia vahel. Nende andmete põhjal arvutati välja praegune elektrienergia kulu valgustusele. Kuna kasutatav valguslahendus on aastas 2005, nenditi, et tänapäeval on olemas märkimisväärselt paremad alternatiivsed valgustid mille abil ühiselamu ruume valgustada. Analüüsi lisaväärtus hõlmab endas osa, milles otsiti välja laiatarbe kaubandusest saadavad LED valgustid, mille abil ühiselamu ruume valgustada. Antud valgustite põhjal koostati tasuvusanalüüs, milles arvestati alternatiivse valguslahenduse elektrienergia maksumust, valgustite maksumust ning tehtavate remonttööde maksumust. Tasuvusanalüüsi tulemus näitab, et rakendades energiasäästu meetmeid ühiselamus Torn, on võimalik saavutada märkimisväärne kokkuhoid elektrienergia kogumaksumuses aastaks 2038. Tasuvusaeg nende meetmete rakendamiseks on arvutuste kohaselt 4,6 aastat.

Selles töös ei projekteerita uut valguslahendust ega kontrollita ruumide valgustuse vastavust standarditele. Siiski tõstetakse esile vajadust kontrollida ja ajakohastada kasutusel olevate valgustuslahenduste vastavust tänapäevastele standarditele. Selleks, et tagada elanikele ergonoomiline elukeskkond, mis toetab nende heaolu ja mugavust. Lisaks sellele, on oluline jätkata uuringuid ning analüüsida põhjalikumalt ühiselamu Torn valgustingimuste vastavust standarditele. Antud temaatika põhjalik uurimine ja valgustusprojekti koostamine pakub autori lõputööle jätku magistriõppe tasemel.

SUMMARY

The aim of this bachelor's thesis was to investigate energy-saving opportunities in public buildings, focusing on the Torn dormitory of the Estonian University of Life Sciences and its electricity consumption. The first part of the thesis includes a comprehensive review of the literature on energy-saving concepts and various solutions, as well as European Union and Estonian energy policy directives. The second part describes the current electricity consumption for lighting in the Torn high-rise building and analyzes a potential improvement method.

To understand the electricity consumption of the Torn dormitory, the electricity consumption trend of the dormitory over the past three years was analyzed. To give value to this data, the electricity cost price in Estonia for the years 2016-2021 was analyzed. In addition, data was collected on the lighting fixtures used in the dormitory to find a connection between the energy consumed by the fixtures and the electricity consumed in the dormitory. Based on this data, the current electricity consumption for lighting was calculated. Since the lighting solution used dates back to 2005, it was noted that there are significantly better alternative lighting fixtures available today to illuminate the dormitory rooms. The added value of the analysis includes a section where LED lighting fixtures available in the retail market were identified for illuminating the dormitory rooms. Based on these fixtures, a cost-benefit analysis was conducted, considering the electricity cost of the alternative lighting solution, the cost of the fixtures, and the cost of repair work. The result of the cost-benefit analysis shows that by implementing energy-saving measures in the Torn dormitory, significant savings in the total cost of electricity can be achieved by the year 2038. The payback period for implementing these measures is calculated to be 4.6 years.

This thesis does not involve designing a new lighting solution or checking the compliance of the lighting in the rooms with standards. However, the need to check and update the compliance of the existing lighting solutions with modern standards is emphasized. This is to ensure an ergonomic living environment that supports the well-being and comfort of the residents. Additionally, it is important to continue research and further analyze the compliance of lighting conditions in the Torn dormitory with standards. In-depth research on this topic and the

development of a lighting project offers opportunities for the author's future master's level studies.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Energiasääst. [veebimaterjal]. https://s.science-sd.com/pdf/2013/2/24108.pdf (06.05.2023)
2. Energiamajanduse korralduse seadus. (vastu võetud 16.06.2016, viimati jõustunud 15.07.2016, osaliselt 01.10.2016 ja 01.01.2017). – *Riigi teataja* https://www.riigiteataja.ee/akt/101072017003 (06.05.2023)
3. Euroopa Liit. Euroopa säästva energia tulevik. [veebileht] https://european-union.europa.eu/priorities-and-actions/actions-topic/energy_et (06.05.2023)
4. Eesti statistika. Jätkusuutlik energia. [veebileht] https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/saastev-areng/7-jatkusuutlik-energia (07.05.2023)
5. Euroopa Liit. Euroopa Liidu meetmed energiatarbimise vähendamiseks. [veebileht] https://www.europarl.europa.eu/news/et/headlines/society/20221128STO58002/energiasaast-eli-meetmed-energiatarbimise-vahendamiseks (07.05.2023)
6. Energiatalgud. Energiasääst kodus. [veebileht] https://energiatalgud.ee/hoiamekokku (07.05.2023)
7. Sitelogiq. LED valgusti eelised. [veebileht] https://www.sitelogiq.com/blog/10-advantages-led-lighting/ (08.05.2023)
8. Ruumi tehisvalgustuse mõju tööviljakusele. (2017). Tartu: Eesti Maaülikooli tehnikainstituut. https://www.rkas.ee/sites/default/files/inline-files/RUUMI%20TEHISVALGUSTUSE%20M%C3%95JU%20T%C3%96%C3%96VILJAKUSELE.pdf (10.05.2023)
9. Riigi kinnisvara. Tugevvool. [veebileht] https://nouded.rkas.ee/tugevvool (15.05.2023)
10. Thomasnet. Motion Light Sensor. [veebileht] https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/light-motion-sensors/ (15.05.2023)
11. Eesti Maaülikool. (s.a). Ühiselamu „Torn“. [veebileht] https://dorm.emu.ee/fotogalerii/uhiselamu-torn/ (16.05.2023)
12. ScienceDirect. The effect of lightning environment on task performance in buildings. [veebileht] https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778820318405#b0075 (17.05.2023)
13. Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. Energiakriis. [veebileht] https://mkm.ee/hoiamekokku (19.05.2023)
14. Levašov. S. 2014. Ühiskondliku hoone üldvalgustus ja selle energiaefektiivsuse parandamine. Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituut. Tallinn. 129 lk.

15. Eesti statistika. Energeetika. [veebileht] https://www.stat.ee/et/avasta-statistikat/valdkonnad/energia-ja-transport/energeetika (20.05.2023)
16. Akaabel. Tark maja. [veebileht] https://www.akaabel.ee/tark-maja/ (20.05.2023)
17. Acovara. Energiaklassid majadel. [veebileht] https://www.arcovara.ee/et/blogi/118-kasulik-teada-head-vihjed/115295-kuidas-erinevad-kuettekulud-eri-energiaklassi-majadel (21.05.2023)
18. LightningEurope. Valgustuse tähtsus. [veebileht] https://europeanlightingpriorities.eu/the-importance-of-lighting.html (31.05.2023)
19. Autodesk Instructables. LED valgusti. [veebileht] https://www.instructables.com/Cotton-Candy-LED-Clouds/ (25.05.2023)
20. Delfi. Elektrihind. [veebileht] https://arileht.delfi.ee/artikkel/120052390/mitu-eurot-maksab-tana-elektri-rekordhinnaga-koduseadmete-kasutamine (25.05.2023)
21. Guinness World Records. Longest burning light bulb. [veebileht] https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/longest-burning-light-bulb (31.05.2023)
22. ScienceDirect. Luminous efficacy. [veebileht] https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/luminous-efficacy (31.05.2023)
23. ElectricianExp. LEDi omadused ja tüüpide üksikasjalik kirjeldus. [veebileht] https://need.electricianexp.com/et/svetovye-pribory/svetodiody/oboznachenie-i-raznovidnosti (01.06.2023)

LISAD

Tabel 35 (*järg*)

Esitus-nr	Töö- või tegevuspiirkonna liik	$\bar{E}_m$ lx		U_0	R_a	R_{UGR}	$\bar{E}_{m,max}$ lx	$\bar{E}_{m,min}$ lx	$\bar{E}_{m,avg}$ lx	Erinõuded
		nõutud[a]	muudetud[b]				$U_0 \geq 0,10$			
35.5	Riietusruum	300	500	0,4	90	–	–	–	–	Näo esiletoomiseks tagada peegli ette vertikaalne valgustus ja varjumoodustus.

[a] Nõutav: miinimumväärtus.
[b] Muudetud: võtab arvesse jaotises 5.3.3 esitatud erijuhtumeid.

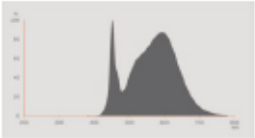
Tabel 36 — Avalikud asutused. Üldpiirkonnad

Esitus-nr	Töö- või tegevuspiirkonna liik	$\bar{E}_m$ lx		U_0	R_a	R_{UGR}	$\bar{E}_{m,max}$ lx	$\bar{E}_{m,min}$ lx	$\bar{E}_{m,avg}$ lx	Erinõuded
		nõutud[a]	muudetud[b]				$U_0 \geq 0,10$			
36.1	Fuajeed	100	200	0,40	80	22	50	50	30	R_{UGR} normitakse üksnes rakendatavuse korral.
36.2	Riidehoiud	200	300	0,40	80	25	75	75	50	
36.3	Ooteruumid, jalutussaalid	200	300	0,40	80	22	75	75	50	
36.4	Kassaruumid	300	500	0,60	80	22	75	75	50	

[a] Nõutav: miinimumväärtus.
[b] Muudetud: võtab arvesse jaotises 5.3.3 esitatud erijuhtumeid.

Lisa 2. SubstiTUBE T8 EM Star 18.3 W/4000 K 1500 mm, luminofoorvalgusti tehnilised andmed

PRODUCT DATASHEET



Light technical data

Beam angle	190 °
Warm-up time (60 %)	‹ 0.50 s
Starting time	< 0.5 s
Rated beam angle (half peak value)	190.00 °

Dimensions & Weight

Overall length	1513.00 mm
Diameter	26.70 mm
Tube diameter	26,7 mm
Maximum diameter	27 mm
Product weight	230.00 g

Temperatures & operating conditions

Ambient temperature range	-20...+45 °C
Maximum temperature at tc test point	65 °C

Lifespan

Lifespan	30000 h
Number of switching cycles	200000
Lumen maintenance at end of serv	0.70
Rated lamp survival factor at 6,000	≥ 0.90

Additional product data

Base (standard designation)	G13

© 2022, LEDVANCE GmbH. All rights reserved.

Lisa 3. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, _____Iris Tamla_____,

(*autori nimi*)

sünniaeg _____10.02.2001_____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

_____
ÜHISKONDLIKU HOONE ENERGIASÄÄSTU VÕIMALUSED ERINEVATE VALGUSTITE KASUTAMISEL
_____,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on___ vanemlektor Janar Kalder, PhD ja lektor Siim Küünal, PhD _____,

(*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____/*digitaalselt*/_____
(*allkiri*)

Tartu, ____02.06.2023_____
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

_____Janar Kalder_ */digitaalselt*/_____ ____02.06.2023_____
(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)

_____Siim Küünal_ */digitaalselt*/_____ ____02.06.2023_____
((*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)