

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ENERGIATÕHUSATE VÄLISVALGUSTUSE LAHENDUSTE JUHISED KOHALIKELE OMAVALITSUSTELE

INSTRUCTIONS TO ESTABLISHING ENERGY EFFICIENT OUTDOOR LIGHTING
SOLUTIONS FOR LOCAL MUNICIPALITIES

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Tanel Rooba

Üliõpilaskood: 183006

Juhendaja: Toivo Varjas, doktorant-nooremteadur

Tallinn, 2020

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.

“.....” mai 2020

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” mai 2020

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” mai 2020

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Tanel Rooba

Lõputöö liik: Magistritöö

Töö pealkiri: Energiatõhusate välisvalgustuse lahenduste juhised kohalikele omavalitsustele

Kuupäev: 20.05.2020

94 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Toivo Varjas, Taavi Möller

Töö konsultant (konsultandid): Alar Vörk

Sisu kirjeldus:

Magistritöö eesmärgiks oli luua energiatõhusate välisvalgustuse lahenduste juhised kohalikele omavalitsustele. Lisaks oli lõputöö eesmärgiks mõõta välisvalgustuse leedvalgusteid, mille garantiiperiood on läbi. Analüüsiti, kas peale garantiiperioodi lõppu leedvalgustid valgustavad sõiduteed kehtivate standardite järgi ning kas valgustite omadused garantii perioodi jooksul on halvenenud või mitte.

Magistritöös analüüsiti kaasaegseid energiatõhusaid välisvalgustuse lahendusi, mitmeid koht- ja kaugjuhtimise süsteeme. Samuti koostati juhtimissüsteemidele majanduslik analüüs, millest selgus, et kõige rohkem on võimalik elektrienergiat säästa radaranduritega juhtimissüsteemiga. Lisaks analüüsiti ja toodi välja kohalikele omavalitsustele juhised arengukava koostamiseks ning ka tehnilised tingimused välisvalgustusega seotud hangete läbiviimiseks.

Töö käigus mõõdeti Tartu linnas kolmel erineva valgustusklassiga tänaval heledust, kuhu oli paigutatud leedvalgustid, mille garantiiperiood on nüüdseks läbi. Neid lõike oli lisaks varasemalt 2013. aasta sügisel mõõdistatud. Magistritöö käigus tehtud heledusmõõtmistest selgus, et kahel tänaval kolmest olid mõõtmistulemused paranenud, mis on tingitud sõiduteekatte uuendamisest.

Märksõnad: leedvalgustus, juhtimissüsteemid, tänavavalgustus, arengukava, hanked.

ABSTRACT

<i>Author:</i> Tanel Rooba	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Instructions to establishing energy efficient outdoor lighting solutions for local municipalities	
<i>Date:</i> 20.05.2020	<i>94 pages</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> Toivo Varjas, Taavi Möller	
<i>Consultant(s):</i> Alar Võrk	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>The aim of the master's thesis was to create guidelines for energy efficient outdoor lighting solutions for local municipalities. In addition, the aim of the thesis was to measure the outdoor lighting LED luminaires with an expired warranty period. It was analysed whether after the warranty period the LED luminaires illuminate the road according to the applicable standards and whether the characteristics of the luminaires have deteriorated during the warranty period.</p> <p>The master's thesis analysed modern energy efficient outdoor lighting solutions and several local and remote-control systems. An economic analysis was also prepared for the control systems, which showed that it is possible to save the most electricity with the control system with radar sensors. In addition, instructions for local municipalities for the preparation of a development plan were analysed and presented, as well as the technical conditions for conducting procurements related to outdoor lighting.</p> <p>During the work, the brightness was measured on three streets in Tartu with different lighting classes, where LED luminaires were placed, the warranty period of which was over. These sections had previously been measured in autumn 2013. The brightness measurements made during the master's thesis revealed that the measurement results on two of the three streets had improved, which was due to the renewal of the road surface.</p>	
<i>Keywords:</i> LED lighting, control systems, street lighting, development plan, procurements.	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Energiatõhusate välisvalgustuse lahenduste juhised kohalikele omavalitsustele
Lõputöö teema inglise keeles:	Instructions to establishing energy efficient outdoor lighting solutions for local municipalities
Üliõpilane:	Tanel Rooba, 183006 AAVM
Eriala:	Energiasüsteemide digitaliseerimine
Lõputöö liik:	Magistritöö
Lõputöö juhendajad:	Toivo Varjas ja Taavi Möller
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	01.06.2020
Lõputöö esitamise tähtaeg:	20.05.2020

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Tänapäeval, kus elektrienergia hinnad on küllaltki kõrged, on kohalikel omavalitsustel tänavavalgustuse elektritarbimise kulud märkimisväärselt suured. Selle tõttu soovivad kohalikud omavalitsused vahetada välja vananevat tänavavalgustust uue säästlikuma leedvalgustitega lahenduse vastu, mille eesmärgiks on saada energiatõhus valgustuslahendus. Kahjuks paljudel omavalitsustel puudub tänavavalgustuse spetsialist ning lisaks ei ole saadaval erapooletuid juhiseid energiatõhusate välisvalgustuse lahenduste loomiseks. Sellest tulenevalt vajavad omavalitsused nõu, milline tänavavalgustuse lahendus on kõige mõistlikum, mida tuleb nõuda välisvalgustuse hangetes ning lisaks, miks on oluline tänavavalgustuse mõõdistamine peale uue tänavavalgustuse lahenduse ehitamist.

Lõputööga luuakse kohalikele omavalitsustele ülevaade, kuidas energiatõhusaid lahendusi hinnata, mida tuleb arvesse võtta hangete koostamisel ning juhtimissüsteemide valikul. Kuna praegusel hetkel puudub ülevaade, milliseid tänavavalgustuse juhtimise lahendusi on mõistlik kasutada, siis lõputöö käigus uuritakse erinevaid pakutavaid juhtimissüsteeme ning analüüsimise tulemusel luuakse selged juhised omavalitsustele nende valikul. Magistritöös uuritakse ka tänavavalgustuse digitaliseerimise võimalusi. Töös tuuakse välja, milliseid juhtimissüsteeme on mõistlik kasutada erinevate mootorliikluspiirkondadega (M) valgustusklasside korral ning mida tuleb nõuda hangetes,

et saavutada energiatõhus välisvalgustuse lahendus. Lõputöös teostatakse välisvalgustuse mõõdistamised, et analüüsida, kas peale garantiiperioodi lõppu valgustid tegelikult ka valgustavad sõiduteed kehtivatele standarditele ning kas leedvalgustite omadused garantiiperioodi jooksul on halvenenud või mitte. Selle jaoks planeeritakse teha uurimistööd kohaliku omavalitsusega. Vaja on kaardistada välisvalgustuse kitsaskohad, kus siis korraldatakse välisvalgustuse mõõdistamised. Magistritöö on tulevikus kohalikele omavalitsustel abiks energiatõhusate välisvalgustuse lahenduste loomisel.

2. Töö eesmärk

Magistritöö eesmärgiks on luua energiatõhusate välisvalgustuse lahenduste juhised kohalikele omavalitsustele. Lisaks on lõputöö eesmärgiks mõõta välisvalgustuse leedvalgusteid, mille garantiiperiood on läbi, et analüüsida, kas peale garantiiperioodi lõppu leedvalgustid valgustavad sõiduteed kehtivatele standarditele ning kas valgustite omadused garantiiperioodi jooksul on halvenenud või mitte.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Kuidas teha valikuid energiatõhusate välisvalgustuslahenduste rakendamiseks kohalikele omavalitsustele hangetega?
2. Milliseid välisvalgustuse juhtimissüsteeme saab kasutada erinevatel mootorliikluspiirkondadega (M) valgustusklasside korral?
3. Milleks on vaja kohalikele omavalitsustele tänavavalgustuse arengukava?
4. Mida tuleb nõuda tänavavalgustuse hangetes?
5. Kas ja kuidas muutuvad leedvalgustite omadused peale garantiiperioodi lõppemist?

4. Lähteandmed

Kohalikele omavalitsustele tänavavalgustuse arengukava koostamise juhiste kohta plaanitakse uurida lähiriikide omavalitsuste/linnade erinevaid arengukavasid, analüüsida nende võimalikke lahendusi ülekantuna Eesti konteksti ning samuti analüüsida Eestis loodud arengukavasid. Erinevate välisvalgustuse juhtimissüsteemide analüüsimiseks saadakse infot nii kirjandusest kui tänavavalgustuse juhtimissüsteemide pakkujatelt. Lõputöös plaanitakse kasutada Eesti ühe suurema omavalitsuse, Tartu linna, üldarengukavas püstitatud eesmärke ja linna välisvalgustuses seni arendatut ning kasutada seda teistele kohalikele omavalitsustele näitena. Infot Tartu linna välisvalgustuse kohta saab intervjuust, mis korraldatakse Tartu linna välisvalgustuse spetsialistidega, kui ka Tartu linna tänavavalgustuse haldaja Elektrilevi OÜ esindajatega.

5. Uurimismeetodid

Lõputöö tulemusteni jõudmiseks tuleb esmalt läbi töötada olemasolevad kohalike omavalitsuste arengukavad, kehtivad standardid, läbiviidud tänavavalgustuse hanked ning teemale kohane kirjandus. Seejärel analüüsitakse magistritöö käigus olemasolevat välisvalgustuse olukorda Tartu linna välisvalgustuse näitel, viies läbi intervjuu Tartu linna välisvalgustuse spetsialistidega ning Tartu linna tänavavalgustuse haldaja Elektrilevi OÜ esindajatega. Korraldatud intervjuu alusel analüüsitakse, mis on probleemsed kohad kohalike omavalitsuste välisvalgustusega. Lõputöös uuritakse tänapäeval pakutavaid välisvalgustuse juhtimissüsteeme ja uurimise tulemusel analüüsitakse erinevaid juhtimissüsteemide omadusi ning seejärel luuakse juhised, milliseid juhtimissüsteeme tuleb kasutada erinevate mootorliikluspiirkondadega (M) valgustusklasside korral. Viimasena viiakse läbi Tartu linnas välisvalgustuse mõõtmised, misjärel saadud mõõtmistulemusi analüüsitakse, et teada saada, kas ja kuidas on leedvalgustite omadused muutunud peale garantiiperioodi lõppemist. Uurimustöös plaanitakse rakendada kaasaegset tänavavalgustust mõõtvat heleduse mõõtekaamerat, millega kaardistada kohalike omavalitsuste kõige probleemsemad kitsaskohad, mida on plaanis lõputöös analüüsida.

6. Graafiline osa

Välisvalgustuse mõõtmise tulemused kajastatakse nii graafiliselt kui tabelitena ning neid kajastatakse töö põhiosas, et anda lugejale parem ülevaade mõõtmise tulemustest. Tänu sellele on magistritöö lugejatele info paremini mõistetav. Suuremamahuline mõõtmiste võrdlustabel kajastatakse eraldi lisana.

7. Töö struktuur

Sissejuhatus

1. Energiatõhus välisvalgustus

- 1.1. Tänavavalgustuse ülesanne
- 1.2. Leedvalgustid
- 1.3. Valgustussüsteemide hooldus
- 1.4. Muu välisvalgustus

2. Juhtimissüsteemid

- 2.1. Juhtimissüsteemi roll
- 2.2. Kohtjuhtimise süsteemid
- 2.3. Kaugjuhtimise süsteemid
- 2.4. Juhtimissüsteemide majanduslik analüüs
- 2.5. Juhtimissüsteemide valik erinevate mootorliikluspiirkondade puhul

- 2.6. Juhtimissüsteemide digitaliseerimine
- 3. Välisvalgustuse arengukava
 - 3.1. Välisvalgustuse arengukava vajadus
 - 3.2. Eeldused arengukava koostamiseks
 - 3.3. Arengukava osad
- 4. Välisvalgustuse hangete läbiviimine
 - 4.1. Standardid ja normdokumendid
 - 4.2. Välisvalgustite nõuded
 - 4.3. Juhtimissüsteemid
- 5. Välisvalgustuse mõõdistamine
 - 5.1. Kasutatav mõõtevahend ning mõõtmistulemuste analüüsimise tarkvara
 - 5.2. Mõõtmislõikude valik
 - 5.3. Mõõtmiste läbiviimine
 - 5.4. Mõõtmistulemuste analüüsimine
 - 5.5. Mõõtmistulemuste kokkuvõte

Kokkuvõte

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Lähtematerjali ja teooriat leitakse erialastest õpikutest, olemasolevatest tänavavalgustuse arengukavadest, õppematerjalidest, internetist, standarditest, tootelehtedest, teadusartiklitest, Elektrilevi OÜ-lt ning Tartu Linnavalitsusest.

Peamised kirjanduse allikad, mida lõputöös kasutatakse:

- Teevalgustus. Osa 1: Valgustusklasside valiku juhised;
- Teevalgustus. Osa 2: Toimivusnõuded;
- Teevalgustus. Osa 3: Toimivuse arvutamine;
- Teevalgustus. Osa 4: Valgusliku toimivuse mõõtemetodid;
- Teevalgustus. Osa 5: Energiatõhususnäitajad;
- Jalakäijate ülekäiguradade valgustamine lisavalgustusega. Osa 1: Kvaliteedi üldnäitajad ja juhisväärtused;
- Jalakäijate ülekäiguradade valgustamine lisavalgustusega. Osa 2: Arvutamine ja mõõtmine;
- T. Tamm, Valgustehnika I. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2009;
- T. Tamm, Tänavavalgustite tehnilised tingimused ja valgustite juhtimisvõimaluste tutvustus.

9. Lõputöö konsultandid

Lõputöö konsultandiks on Cityntel OÜ juhatuse liige Alar Võrk.

10. Töö etapid ja ajakava

Kirjanduse läbitöötamine ja lähtematerjali kogumine (01.03.2020)

Teoreetilise osa kirjutamine (12.04.2020)

Välisvalgustuse mõõdistamine (19.04.2020)

Välivalgustuse mõõtmistulemuste analüüsimine ja järelduste kirjutamine (26.04.2020)

Kokkuvõtte koostamine (01.05.2020)

Töö esmane versioon valmis (09.05.2020)

Töö lõplik versioon valmis (19.05.2020)

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	5
EESSÕNA.....	13
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	14
SISSEJUHATUS	16
1. ENERGIATÕHUS VÄLISVALGUSTUS	18
1.1 Tänavavalgustuse ülesanne	18
1.1.1 Ajalugu.....	18
1.2 Leedvalgustid	19
1.2.1 Ajalugu.....	19
1.2.2 Ehitus.....	21
1.2.3 Leedvalgustite eelised ja valiku juhised	24
1.3 Valgustussüsteemide hooldus	27
1.4 Muu välisvalgustus.....	28
2. VÄLISVALGUSTUSE JUHTIMISSÜSTEEMID	30
2.1 Juhtimissüsteemi roll	30
2.2 Kohtjuhtimise süsteemid	30
2.2.1 Kilbipõhine hämaralülitiga juhtimissüsteem koos astronoomilise kellaga	30
2.2.2 Astronoomilise kellaga leedvalgustid.....	31
2.2.3 Juhtsoonega hämardamine.....	33
2.3 Digitaalsed kaugjuhtimise süsteemid	35
2.3.1 Kilbikontrolleriga juhtimine.....	35
2.3.2 Valgustikontrolleritega juhtimine	35
2.3.3 DALI juhtimine	38

2.3.4 Liikumisradaritega juhtimine	39
2.4 Juhtimissüsteemide majanduslik analüüs.....	40
2.4.1 Kilbipõhine hämaralülitiga juhtimissüsteem koos astronoomilise kellaga	40
2.4.2 Astronoomilise kellaga leedvalgustid.....	41
2.4.3 Juhtsoonega hämardamine.....	42
2.4.4 Liikumisradaritega juhtimine	43
2.4.5 Juhtimissüsteemide majandusliku analüüsi kokkuvõte	43
2.5 Juhtimissüsteemide valik erinevate mootorliikluspiirkondade puhul	44
2.6 Juhtimissüsteemide digitaliseerimine.....	46
2.6.1 Tehniline lahendus	47
3. VÄLISVALGUSTUSE ARENGUKAVA	49
3.1 Välisvalgustuse arengukava vajadus.....	49
3.2 Eeldused arengukava koostamiseks	50
3.3 Arengukava osad.....	51
3.3.1 Olemasolev olukord	52
3.3.2 Valgustite väljavahetamine uute energiatõhusate leedvalgustite vastu	52
3.3.3 Tänavavalgustuse liinide korrastamine.....	53
3.3.4 Amortiseerunud mastide asendamine.....	53
3.3.5 Välisvalgustuse juhtimissüsteemid	55
3.3.6 Kaamerate, andurite ning loendurite liitmine tänavavalgustuse võrguga.....	55
3.3.7 Laadimisseadmete vajadus ning nende liitmine tänavavalgustuse võrguga	56
3.3.8 Võõrtarbijate toide tänavavalgustuse võrgust.....	57
3.3.9 Linnale kuuluvate hoonete ja rajatiste fassaadide valgustamine tänavavalgustuse võrgust ning pühadeaegne valgustus.....	57
3.3.10 Eelarve.....	58
4. VÄLISVALGUSTUSE HANGETE LÄBIVIIMINE	59

4.1 Standardid ja normdokumendid	59
4.2 Välisvalgustite nõuded	60
4.3 Juhtimissüsteemid	62
4.3.1 Nõuded kilbikontrollerile	63
4.3.2 Nõuded valgustikontrolleritele	64
4.3.3 Nõuded juhttarkvarale	65
5. VÄLISVALGUSTUSE MÕÕDISTAMINE	66
5.1 Kasutatav mõõtevahend ning mõõtmistulemuste analüüsimise tarkvara	66
5.2 Mõõtmislõikude valik.....	66
5.3 Mõõtmiste läbiviimine	67
5.4 Mõõtmistulemuste analüüsimine.....	68
5.4.1 Kaunase puiestee	68
5.4.2 Roopa tänav	72
5.4.3 Riia tänav.....	75
5.5 Mõõtmistulemuste kokkuvõte.....	78
KOKKUVÕTE	80
SUMMARY	83
KASUTATUD KIRJANDUS	86
LISAD	94
Lisa 1 Mõõtmistulemuste võrdlustabel	94

EESSÕNA

Magistritöö teema valiti koostöös lõputöö autori ja juhendaja Toivo Varjasega. Suurem osa lõputöö algandmetest ja infost koguti lõputöö autori enda poolt. Lisaks abistasid algandmete ja infoga magistritöö autorit juhendaja Toivo Varjas, kaasjuhendaja Taavi Möller, konsultant Alar Võrk ning Andrus Reinmann.

Magistritöö autor soovib avaldada tänu Tallinna Tehnikaülikooli doktorant-nooremteadur Toivo Varjasele, insenerile Taavi Möllerile, Cityntel OÜ juhatuse liikmele Alar Võrgule ja Tartu Linnavalitsuse teedeteenistuse tänavavalgustuse peaspetsialistile Andrus Reinmannile, kelle abiga valmis magistritöö.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

Tähised

$\cos \phi$	võimsustegur
E [lx]	valgustustihedus
f [Hz]	sagedus
I [cd]	valgustugevus
L [cd/m ²]	heledus
\bar{L} [cd/m ²]	keskmine heledus
P [W]	võimsus
T [K]	värvsustemperatuur
U_i	sõidutee pinna heleduse pikiühtlus
U_o	sõidutee pinna heleduse üldühtlus
η [lm/W]	valgusviljakus

Lühendid

API (*application program interface*) – rakendusliides, mis võimaldab kahel tarkvaraprogrammil omavahel suhelda.

CRI (*color rendering index*) – on värviesitusindeksi mõõt, mis näitab, kuidas näevad värvid valgusallika all välja võrreldes päikesevalgusega. Mõõt on vahemikus 0 kuni 100 ning täiuslik oleks 100, mis näitab, et valgusallika all olevad värvid tunduvad samad, mis loodusliku päikesevalguse korral.

DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) – digitaalselt adresseeritav valgustuse juhtimisliides. DALI on andmesideprotokoll, mis on digitaalsel juhtimisel põhinev intelligentne valgustuse juhtimissüsteem, mis annab igale valgustile oma aadressi ja võimaluse neist igaüht juhtida lähtuvalt vajadusele. Juhitakse vaid eraldi kahe-suunalist digitaalsignaali edastavat juhet.

GIS (*geographic information system*) – geoinfosüsteem, mis on geograafiliste ruumiliste andmete süsteem.

IoT (*Internet of Things*) – asjade internet, mis võimaldab seadmeid kaugelt jälgida ning juhtida.

KOV – kohalik omavalitsus.

REST (*representational state transfer*) – veebiteenuste arendamise arhitektuuristiil.

Mõisted

Heledus (*luminance*) – iseloomustab valgustugevuse näivat tihedust peegeldaval või valgustandval pinnal ehk valgustatud ala heledust, mis jõuab vaataja silma. Heleduse mõõteühik on kandela ruutmeetri kohta (cd/m^2).

Lamp (*lamp*) – on optilise, enamasti nähtava kiirguse loomiseks valmistatud kiirgusallikas. Lambi all mõistetakse tehisvalgusallikat, mis koosneb: valgusallikat tootvast elemendist, seda ümbritsevast klaaskolvist ning metallsooklist, mis tagab elektrilise kontakti ja kaitseb lambipesas lampi ennast.

Valgusallika valgustugevus (*luminous intensity*) – on valgusallika võime toota valgust etteantud suunda. Teisisõnu on see valgustugevus valgusallika poolt antud suunda sisaldavasse lõpmata väiksesse ruuminurka kiiratava valgusvoo ja ruuminurga suhe. Valgusallika valgustugevuse mõõtühik on kandela (cd).

Valgusdiod (*LED*) – on pooljuhtdiod, milles laengukandjate rekombineerimisel tekkinud energia eraldub valguskiirgusena.

Valgusti (*luminaire*) – on seade, mis jaotab, filtreerib või muundab lambi valgust. Valgusti sisaldab peale lampide kõiki osi, mis on vaja lampide kinnitamiseks, kaitsmiseks ning ühendamiseks toitevõrguga.

Valgusviljakus (*luminous efficacy*) – on valgusallikka valgusvoo ja tarbitava võimsuse suhe.

SISSEJUHATUS

Täna sel päeval, kus elektrienergia hinnad on küllaltki kõrged, on kohalikel omavalitsustel tänavavalgustuse elektritarbimise kulud märkimisväärselt suured. Selle tõttu soovivad kohalikud omavalitsused vahetada välja vananevat tänavavalgustust uue, säästlikuma leedvalgustitega lahenduse vastu, mille eesmärgiks on saada energiatõhus valgustuslahendus. Uuringud näitavad, et uute leedvalgustitega tänavavalgustus hoiab kokku 30% kuni 50% elektrienergiat [1]. Kahjuks paljudel omavalitsustel puudub tänavavalgustuse spetsialist ning lisaks ei ole saadaval juhiseid energiatõhusate välisvalgustuse lahenduste loomiseks. Selle tõttu vajavad omavalitsused erapooletut nõu, milline tänavavalgustuse lahendus on kõige mõistlikum, mida tuleb nõuda välisvalgustuse hangetes ning lisaks, miks on oluline tänavavalgustuse mõõdistamine peale uue tänavavalgustuse lahenduse ehitamist.

Magistritöö eesmärgiks on luua energiatõhusate välisvalgustuse lahenduste juhised kohalikele omavalitsustele, mis luuakse Eesti ühe suurema omavalitsuse, Tartu linna, üldarengukava püstitatud eesmärkide ja linna välisvalgustuses seni arendatu näitel. Lisaks on lõputöö eesmärgiks mõõta välisvalgustuse leedvalgusteid, mille garantiiperiood on läbi ning mida on varasemalt mõõdistatud. Selle tulemusena analüüsitakse, kas peale garantiiperioodi lõppu leedvalgustid valgustavad sõiduteed kehtivatele standarditele ning kas valgustite omadused garantii perioodi jooksul on halvenenud või mitte.

Esimene peatükk magistritöös toob esmalt välja tänavavalgustuse rolli tänapäevases ühiskonnas, kus on kirjeldatud tänavavalgustuse üldist arengut nii maailmas kui Eestis. Seejärel räägitakse energiatõhusast välisvalgustusest, milleks tänapäeval on leedvalgustus. Kirjeldatakse leedvalgustite ehitust ning nende võimekust luua ühest valgustist mitmeid, kui mitte kümneid erinevaid valgusjaotuskõveraid. Välja tuuakse leedvalgustite erinevused võrreldes teiste laialt kasutusel olevate tänavavalgustitega ning leedvalgustite valiku juhised. Esimeses peatükis kirjeldatakse ka tänavavalgustuse hooldust ning energiatõhusa valgustuse kasutamist hoone fassaadide kui ka rajatiste valgustamiseks, et luua meeoleolu pimedas ning kujundada keskkonna kuvandit.

Teine peatükk keskendub välisvalgustuse juhtimissüsteemidele, kus tuuakse välja erinevad juhtimissüsteemid, nende kirjeldused ning head ja vead. Lisaks juhtimissüsteemide kirjeldusele töötatakse välja juhised, millised välisvalgustuse juhtimissüsteemid sobivad kasutamaks erinevate mootorliikluspiirkondade korral. Juhtimissüsteemide peatükis tuuakse ka välja erinevate juhtimissüsteemide kui ka üldise tänavavalgustusvõrgu digitaliseerimise võimalus. Selle eesmärgiks on nii kohalikule omavalitsusele kui ka tänavavalgustuse hooldajale luua ühine

tööriist, et saada ülevaade KOV-ile kuuluvast tänavavalgustuse võrgust. Juhtimissüsteemide peatüki all tuuakse välja ka majanduslik analüüs, kui palju millise juhtimissüsteemi tüübiga on võimalik elektrienergiat säästa.

Välisvalgustuse arengukavasid Eestis magistritöö koostamise hetkel on väga vähe, mistõttu näeb lõputöö autor vajadust välja tuua kohalikele omavalitsustele välisvalgustuse arengukava koostamise juhised, mida kajastatakse kolmandas peatükis. Kolmandas peatükis tuuakse välja erinevad arengukava peatükid, mida peaksid KOV-ide välisvalgustuse arengukava sisaldama ning milliseid sisendeid on arengukava koostamiseks vaja. Arengukava kohustuslike peatükkide vajadused kirjutatakse lahti ühe Eesti suurima omavalitsuse, Tartu linna, näitel.

Selleks, et kohalik omavalitsus saaks üldse endale energiatõhusa välisvalgustuse, tuleb korraldada vähemalt kolm erinevat välisvalgustusega seotud riigihanget. Läbi tuleb viia välisvalgustuse projekteerimise hanget, välisvalgustuse ehitustööde hanget ja selleks, et kontrollida ehitustöid ja esindada KOV-i ehitustöödel, tuleb korraldada välisvalgustuse ehitustööde omanikujärelevalve hanget. Kui kohalikul omavalitsusel puudub hangete spetsialist ja/või puudub tänavavalgustuse spetsialist, siis võib ette tulla ka, et tuleb korraldada kolme hanke asemel neli hanget ehk lisandub projektijuhtimise teenuse osutamise hanget. Projektijuht koostab KOV-ile välisvalgustuse projekteerimise, ehitustööde ning omanikujärelevalve hanke dokumendid ja viib hanked läbi ning annab nõu välisvalgustuse osas omavalitsusele. Kuna paljudel KOV-idel puudub tänavavalgustuse spetsialist, siis on neljandas peatükis välja toodud tingimused, mida kindlasti peab kohalik omavalitsus hangetes nõudma nii standardite kui valgustite ja juhtimissüsteemide osas, et saavutada soovitud lõpptulemus – energiatõhus välisvalgustus.

Viiendas peatükis viiakse läbi Tartu linnas välisvalgustuse mõõtmised heleduse mõõtekaameraga. Esmalt antakse ülevaade vajaminevast mõõtetehnikast, millega viiakse mõõtmisi läbi ning kasutatavast tarkvarast, millega hakatakse saadud mõõtmistulemusi analüüsima. Seejärel tuuakse välja lõigud, mida magistritöö käigus mõõdetakse ning mille pärast just need lõigud välja valiti. Järgmisena kirjeldatakse mõõtmiste läbiviimist, millele järgneb mõõtmistulemuste analüüsimine ning lõpuks lõpetatakse mõõtmistulemuste kokkuvõttega.

Viimaseks peatükiks on magistritöö kokkuvõte, kus tuuakse magistritöö tähtsamad osad lühidalt ja kokkuvõtlikult välja.

1. ENERGIATÕHUS VÄLISVALGUSTUS

1.1 Tänavavalgustuse ülesanne

Tänavavalgustuse roll ühiskonnas on tagada kodanike tervis ja heaolu, mis on iga kohaliku omavalitsuse eesmärgiks. Valgustus aitab inimestel näha pimedas ning tunda end turvaliselt tänavatel. Uuenduslikud välisvalgustuslahendused võivad parandada inimeste füüsilist aktiivsust seeläbi, et inimestel on võimalus minna ka pimedal ajal õue kõndima, jooksma, rattaga sõitma või mõnda muud spordiala harrastama. Tänu välisvalgustusele on tagatud inimeste nähtavus teistele liiklejatele ning eesolevatele ohtudele [2].

Uuringutest tulenevalt selgub, et tänavavalgustuse paigaldamine kohtadesse, kus kuritegevus on laialt levinud, on peale välisvalgustuse paigaldamist mõnevõrra vähenenud. Seega on tänavavalgustus abiks olnud vandalismi ära hoidmises ning ka kuritegevuse vähenemises. Teisisõnu – tänavavalgustus aitab hoida avalikku korda [3]. Lisaks tekitab tänavavalgustus inimestes kindlustunnet, minnes üksi oma kodudest välja tänavatele jalutama või sporti harrastama [4].

Valgustus tänavatel on inimeste baasvajadus asulates elades. Omavalitsused peavad tagama võrdsed õigused kõikidele kodanikele, sõltumata nende sotsiaalsest staatusest. [5]

1.1.1 Ajalugu

Tänavavalgustuse ajalugu ulatub aastasse 1417, kui Londoni linnapea Henry Barton kehtestas seaduse, et talvekuudel peavad kõikide majade juures rippuma laternad, mis valgustaksid nii tänavaid kui ka hoove. Pariisi tänavaid valgustati esimest korda 1524. aastal, mil nõuti, et igal majal, mis on otse tänava ääres, oleks aknal valgusti, kui nad seisavad silmitsi tänavatega [6].

Efektivsema tänavavalgustuse ajastu algas 1802. aastal, kui William Murdock süütas esmakordselt esimese kivisõegaasil töötava gaasilambi. Pärast seda ehitati 1807. aastal Londonis esimene tänav välja gaasvalgustuse lahendusega. 1816. aastal võeti Ameerika Ühendriikides esmakordselt Baltimore linnas kasutusele gaas tänavavalgustuses. Sama tehti 1820. aastal Pariisis [6].

1878. aastal võeti Pariisis kasutusele esimene elektrilise toitega kaarlahendusega tänavavalgusti. Aastaks 1881 oli paigutatud Pariisi umbes 4000 kaarlahendusega tänavavalgustit gaaslaternate asemele. Kaarlahendusega lampide kasutamise käigus tuli välja aga kaks peamist puudust. Selleks oli väga tugev valgus ning valgustite lühike eluiga, mistõttu asendati kaarlahendusega valgustid

ajapikku hõõgvalgustitega. Ühtlasi olid uued valgustid odavamad ning nende eluiga oli pikem. Kaarlahendusega valgustid aga ei kadunud päriselt ära, neid jäadi kasutama tööstustes [6].

Eestis sai tänavavalgustuse rajamine alguse juba 1710. aastal, kui igale turult väljuva tänava nurgale paigutati laternad. 18. sajandi lõpu poole ilmusid Tallinna linna tänavatele ka esimesed statsionaarsed valguspunktid ehk tõmmati risti üle tänavate köied, mille külge riputati ühe või kahe õlilambiga laternad. Õlilampide süütamise ja kustutamise töö kuulus kaheteistkümnne öövahi tööülesannete hulka. Sellised õlilamp-laternad olid üsna viletsa valgustusvõimega ning suurema tuule korral kustusid ära. Noored avastasid ka, et köite allalaskmine öösel on põnev nali, mida võiks lõpmata korrata. Selle vältimiseks paigutati laternad puupostidele ja majaseinte külge. 18. ja 19. sajandi vahetusel võeti kasutusele Šveitsi lambivabrikandi Argandi uued täiustatud silindrilise õõnestahiga õlilambid, mille põlemiseks vajalik õhk pääses juurde tahi seest. [7]

1865. aastal rajati Tallinnasse gaasivabrik ning koheselt alustati tänavavalgustuse üleviimist gaasilaternatele. Sajandivahetuseks oli Tallinnas paigaldatud 538 gaasilaternat ning 920 petrooleumlampi. Olemas olid ka üksikud elektrivalgustid, mida aga kasutati üsna vähe. Elektrivalgusteid kasutati peamiselt suuremate pidulike sündmuste puhul. Esimene Tallinna linnale kuuluv elektrivalgusti pandi tänavale üles 1922. aastal ning peale seda hakkas nende arv tasapisi kasvama. 1926. aastal oli tänavate valgustamiseks üles seatud 15 kilomeetrit õhuline ja üks kilomeeter kaabelliine, mis toitsid kokku 159 valgustit. [7]

1963. aastal oli Tallinnasse paigaldatud üle 8496 tänavavalgusti, millest 71 olid kõrgrõhulambid ning ülejäänud olid hõõglambid. Alles 1994. aastal paranes Tallinna linna tänavavalgustite kvaliteet, kui otsustati hakata kasutama elavhõbe-kõrgrõhuvalgustite asemel naatrium-kõrgrõhuvalgusteid. [8]

1.2 Leedvalgustid

1.2.1 Ajalugu

Leedvalgustite tähtsamad ajaloo etapid:

- 1) Valgusdiodi ajalugu saab alguse 1907. aastal, kui H. J. Roun avastas elektroluminestsentsi. [9]
- 2) 1927. aastal Venemaa teadlane Oleg Losev tegeles raadiosaatjatega, kui ta konstrueeris esimese valgusdiodi. Tegemist oli roheline tulega, mida valgusdiod tekitas, kui alalisvool juhiti läbi ränikarbiidi. Oleg Losev oli esimene, kes koostas valgusdiodi avastamise ja tööpõhimõtte kohta raporti. [10]

- 3) 1962. aastal töötas Nick Holonyack General Electricus, kus ta lõi esimese nähtava valgusspektriga (punase) valgusdiodi. Punased valgusdiodid võeti kasutusele indikaatorvalgustitena, mida leidis palju elektroonikas, kalkulaatorites, äratuskellades ning CD-mängijates. [10]
- 4) Alles 1993. aastal lõi Shuji Nakumara esimese sinise valgusdiodi. Sinine valgusdiod oli väga oluline, sest seda oli võimalik kombineerida kollase fosforiga, saades nii leedi värvustemperatuuriga mängida. [10]
- 5) 21. sajandi alguses hakkas valgusdiodide kasutusele võtmine levima laialdaselt. Valgusdioode hakati kasutama isegi valgusfoorides. [10]

Kuna leedevalgusteid kasutati pikka aega ainult märgutuledena, siis alles 2006. aasta märtsist tehti pilootprojekt Ann Arbori linnas Ameerika Ühendriikides, kus paigaldati ühed esimesed leedtänavavalgustid tänavat valgustama. Pilootprojektis kasutati Relume Technologies leedevalgusteid, mis on toodud joonisel 1.1. [11]



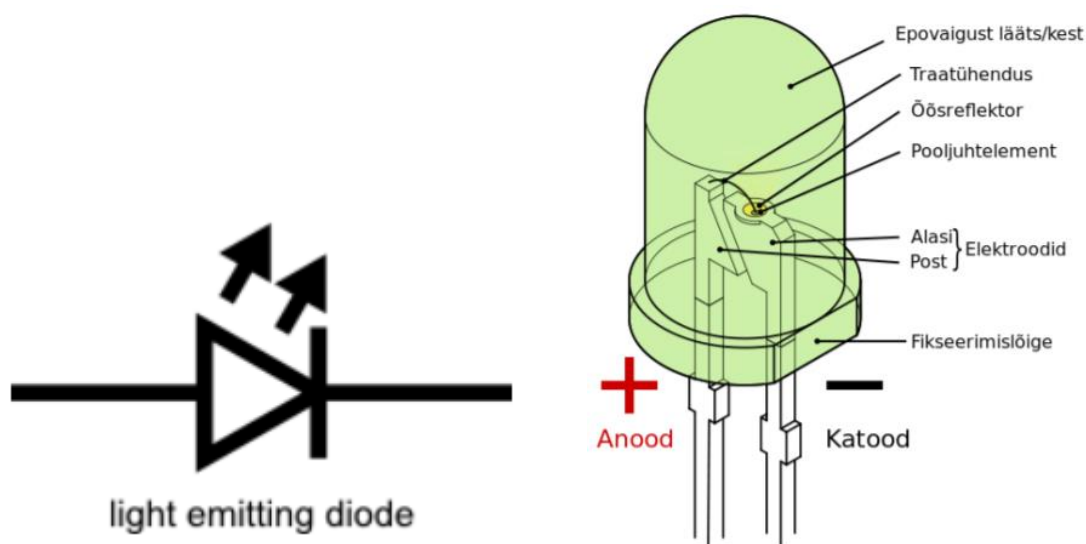
Joonis 1.1 Relume Technologies esimesed leedevalgustid tänavavalgustitena [11]

Tegemist oli eduka pilootprojektiga ning seetõttu vahetati veel 1000 olemasolevat tänavavalgustit leedevalgustite vastu [11]. Peale seda hakati leedevalgusteid tänavavalgustitena kasutama laialdasemalt. Näitena võib välja tuua, et 2009. aastal Los Angeleses alustati viieaastast tänavavalgustuse renoveerimise projekti, mille käigus vahetati 140 000 tänavavalgustit leedevalgustite vastu [12].

1.2.2 Ehitus

Valgusdiod on tegemist pn-siirdega pooljuhtdiodiga, mis muundab elektrienergiat nähtavaks valguseks ja ka optiliseks kiirguseks spektri infrapunases või ultravioletses osas [13].

Joonis 1.2 toob välja valgusdiodi tähise elektriskeemidel.



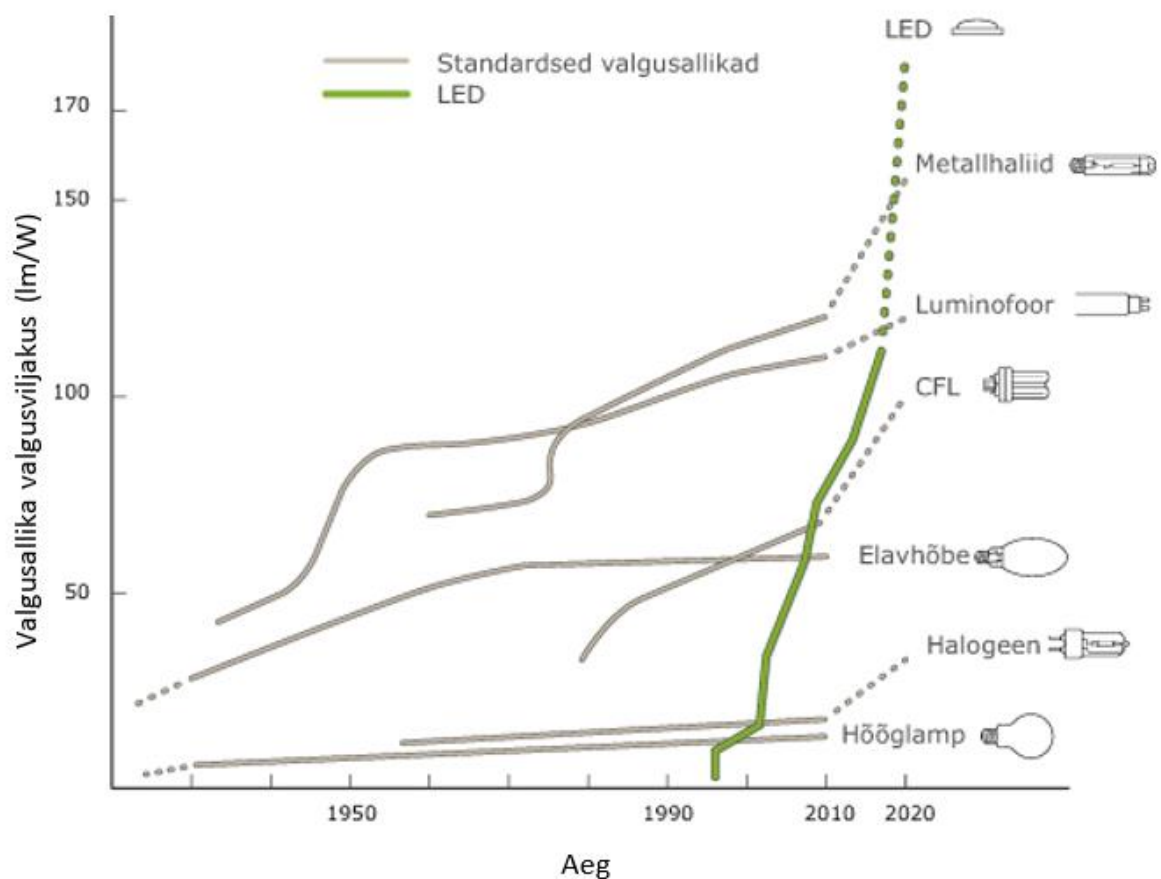
Joonis 1.2. Valgusdiodi tähis [13]

Joonis 1.3 Valgusdiodi konstruktsioon [14]

Joonis 1.3 kujutab valgusdiodi ehitust, kust selgub, et valgusdiod koosneb kahest elektroodist ja pooljuhtmaterjalist, mis paikneb tavaliselt epoksüvaigu, polümetüülmetakrülaadi või silikoon keetas [15].

Valgusdiodi tööpõhimõte põhineb elektroluminesentsil, mis tekib elektriliselt ergastatud elektronide ja aukude rekombinatsioonil. Rekombinatsioon võib esineda mitmesuguseid (nii kiirguslike, kui ka mittekiirguslike) kanaleid mööda. Rekombinatsioonil eralduv energia võib kuluda valguskvandi (footoni) tekitamiseks, mõne teise juhtivustsooni elektroni energia suurendamiseks või kristalli võnkekvandi ergastamiseks. [16]

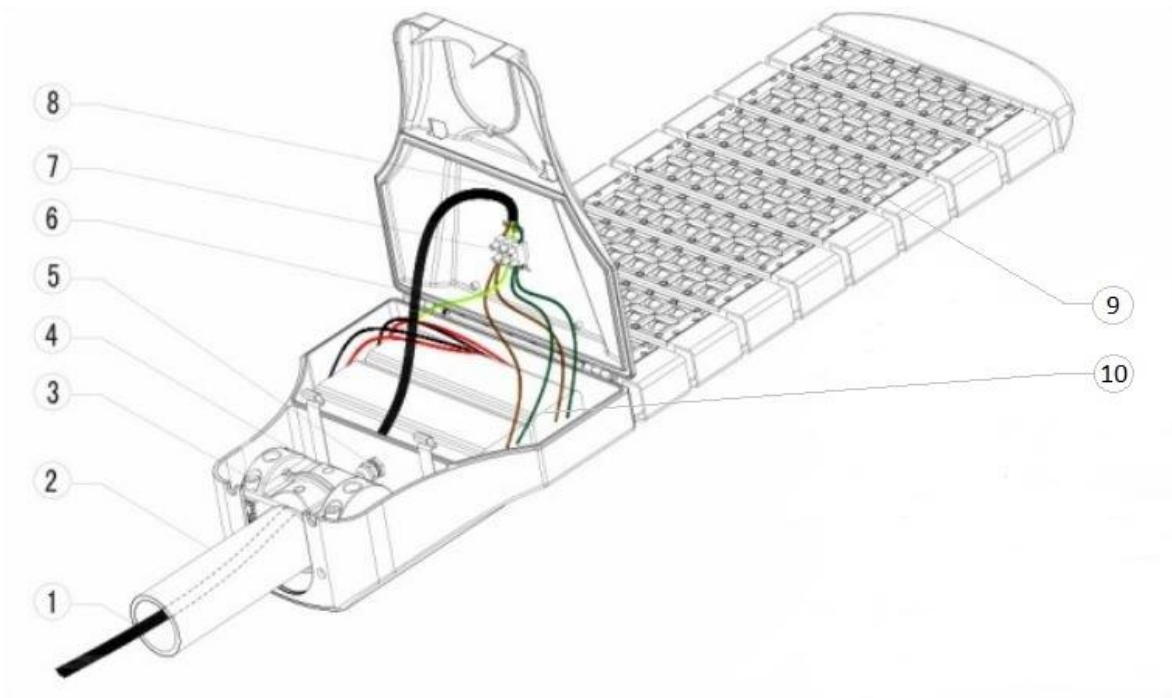
Praegusel ajal on leedvalgustitest väljuv valgusviljakus ligikaudu 160 lm/W [17]. Joonisel 1.4 on toodud erinevat tüüpi valgustite valgusviljakuse arengud ajas.



Joonis 1.4 Leedvalgustite ja muude valgustite valgusviijakuse areng [17]

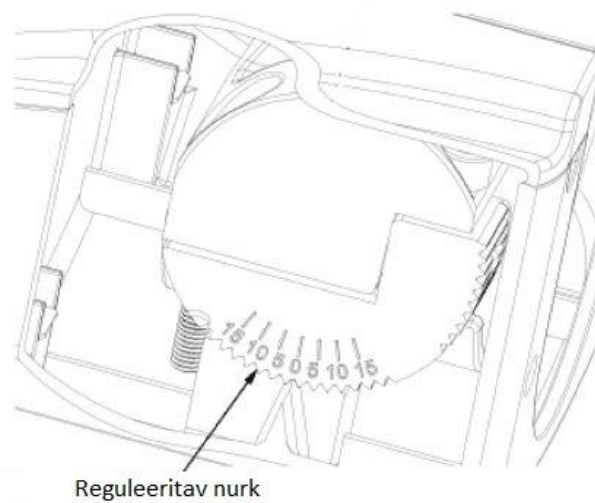
Valge valgus luuakse sinise diodi või kiibi abil, millele tavaliselt kantakse kollast fosforit. Variant on valge valgus luua ka punase, sinise ja roheline diodi valguste segamise teel. Fosforit kasutatakse väga laialdaselt valgustuse tööstustes, sest see on tõhus ja tootmisviis on suhteliselt paindlik. Fosforit on näiteks võimalik lisada ka otse diodidele, millega saavutatakse sõltuvalt fosforkihist kas omapärane värvusspekter või leedi spektraalne võimsusjaotus. [17]

Leedtänavavalgusti konstruktsioon on toodud joonisel 1.5. Leedtänavavalgusteid on tänapäeval võimalik saada väga erineva disainiga, kuid põhimõtteliselt on ülesehitus neil sama. Joonisel 1.5 on tegemist Philipsi leedvalgustiga. Täpselt samasuguse välimusega Philipsi leedvalgustit toodetakse erinevate võimsustega ja optikatega. Valgusdiodide kaitseks on valgustil kaitseklaas, mis kaitseb diode mustumise eest ning lisaks võivad kaitseklaasid olla ka valgusti valgusvoo muutmiseks.



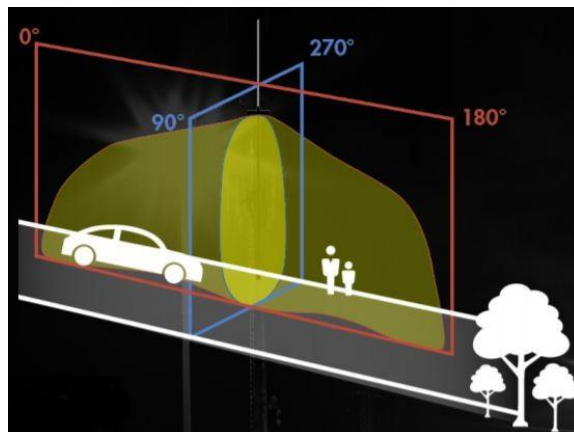
Joonis 1.5 Leedvalgusti ehitus (1 – toitekaabel, 2 – vars masti külge kinnitamiseks, 3 - M8 kruvi, 4 - M10 kruvi, 5 – veekindel kaabli läbiviik, 6 – maandusjuhe, 7 – kaabli ühendusklemmid, 8 – korpus, 9 – valgusdiodid ja optika, mida katab kaitsev klaas, 10 – liiteseadis) [18]

Mõningatel juhtudel on tänavavalgustuse mastid sõiduteest piisavalt kaugel, siis võib tulla ette olukordi, kus projekteerija näeb simulatsioonis ette, et valgustid tuleb paigutada masti otsa väikese nurga all selleks, et valgustid valgustaksid sõiduteed piisavalt hästi. Selle tõttu on enamus leedvalgustid varustatud reguleerimise nurgaga (joonis 1.6), kus on kraadides peale märgitud, kuidas saaks reguleerida valgusti õige nurga alla.



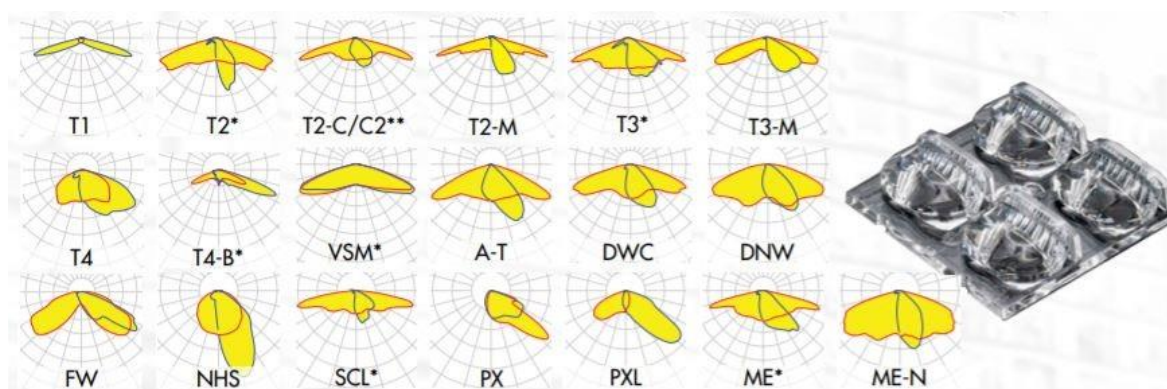
Joonis 1.6 leedvalgusti reguleeritav nurk [18]

Optika leedvalgustite puhul võib olla väga erinev, mis tähendab, et valgusteid on võimalik saada erinevate valgusjaotuskõveratega. Valgusjaotuskõvera puhul on tegemist ristkoordinaatteljestikuga, kus valgustugevuse jaotus on kujutatud risttasandil ja pikitasandil, nagu on näidatud joonisel 1.7.



Joonis 1.7. Valgustite tinglikud tasandid valgusjaotusdiagrammil, kus punane joon tähistab pikitasandit ja sinine risttasandit [19]

Leedvalgustil võib olla väga palju erinevaid valgusjaotuskõveraid, mis olenevad valgustis olevatest valgusdioodide arvust ja optikast. Näitena võib tuua, et LEDil poolt pakutaval nelja valgusdioodiga välisvalgusti puhul on kokku 19 erinevat valgusjaotuskõverat tänu erinevale optika valikule, mis on toodud joonisel 1.8. Mida rohkem on valgusdioode valgustis, seda rohkem on võimalusi kombineerida erineva valgusjaotuskõveraga optikaid.



Joonis 1.8 Valgusjaotuskõverad [19]

1.2.3 Leedvalgustite eelised ja valiku juhised

Arvestades fakti, kui energiasäästlikud on leedvalgustid võrreldes metallhalogeniidega, kõrgrõhunaatriumlampidega või mõne muu tänavavalgustusena kasutatava valgustitega, siis pole enam kahtlust, et praegusel ajal ja lähitulevikus on mõistlik tänavavalgustuse rajamisel või renoveerimisel kasutada leedvalgusteid.

Kuna leedvalgustite kasutamine tänavavalgustitena Eestis hakkas laialt levima alles 2013 – 2014. aastatel, siis on siiani väga palju kasutusel metallhalogeniid ning kõrgrõhu-naatriumvalgusteid. Leedvalgustite omadused võrreldes teiste laialdaselt kasutatavate tänavavalgustitega on toodud tabelis 1.1.

Tabel 1.1 Enam levinud tänapäeval kasutatavate tänavavalgustite omadused [20] [21]

	Metallhalogeniidlamp	Kõrgrõhu-naatriumlamp	Leedvalgustid
Valgusviljakus η, lm/W	80 kuni 115	90 kuni 140	70 kuni 110 ja isegi enam
Eluiga, h	10 000 kuni 20 000	10 000 kuni 40 000	Kuni 100 000
Värviesitusindeks CRI	60 kuni 90	20 kuni 30	70 kuni 90
Värvustemperatuur T, K	3000 kuni 7300	2000	2500 kuni 10 000
Käivitusae, minut	5	3	0

Nagu tabelist 1.1 selgub, siis leedvalgustitel on lisaks energiasäästmisele veel üks suur eelis. Leedvalgustite eluiga on kuni 100 000 töötundi ehk kui arvestada, et keskmiselt põleb tänavavalgusti Eestis 4000 tundi aastas, siis leedvalgusti eluiga on 25 aastat, mis on 4 korda pikem kui metallhalogeniid valgustil ja 2,5 korda pikem kui kõrgrõhu-naatriumvalgustil. Lisaks on leedvalgustitel veel rida eeliseid nagu näiteks:

- valgusti heledust saab reguleerida ehk valgusteid on võimalik hämardada, et saavutada veelgi suurem energiasääst;
- leedvalgusti saavutab oma täisvalgusvoo ilma viivitusega ehk koheselt sisse lülitades;
- valgustid ei tekita ultraviolet- ja infrapunakiirgust;
- tänu leedvalgusti optikale on võimalik luua väga palju erinevaid valgusjaotuskõveraidsid.

Kohalikul omavalitsusel on soovituslik paika panna järgmised tingimused leedvalgustitega:

1. Leedvalgustite värvustemperatuur – selle tingimuse määramise eesmärgiks on, et üle kogu asula või linnaosade kaupa oleks ühtne värvustemperatuur. Soovituslik oleks ka, et ülekäiguradade valgustid oleksid tänavavalgustite värvustemperatuurist 1000 K kõrgem. Selline tingimus tagab, et ülekäigurada tuleb tänavapildis paremini esile ning nii näeb sõidukijuht juba kaugelt ära, et tulemas on ülekäigurada. Seeläbi oskab sõidukijuht end ette valmistada, et ülekäigurajale võib jalakäija astuda. Lisaks toob kõrgem värvustemperatuuriga ülekäiguraja valgusti inimese kuju ülekäigurajal paremini esile.
2. Valgustite disain – eesmärk on luua kas üle kogu asula või linnaosade kaupa ühtne keskkond. Erilist rõhku tuleb omavalitsustel valgustite disaini valikul panna just vanalinna

- piirkondades, et uued leedvalgustid sobituksid keskkonda ega rikuks vanalinna miljööd. Nagu valgustite disaini valiku puhul, tuleb ka valgustite mastid valida keskkonda sobivad.
- Mastide kõrgused – eesmärgiks on samuti luua ühtne keskkond, et tänavavalgustid ei oleks võõrkehad tänavapildis. Tänavavalgustite kõrguse järgi saab välisvalgustuse projekteerija panna paika mastide kaugused üksteisest, konsooli kalded ning pikkused.
 - Mootorliikluspiirkondade (M) ning jalakäijate ja aeglaselt liikuvate sõidukite piirkondade (P) valgustusklassid – selle eesmärgiks on ära märgistada KOV sõiduteede ja tänavate valgustusklassid ning need anda projekteerijale, et projekteerija teaks, milliseid valgusteid tuleb mingile lõigule projekteerida. KOV-idele valgustusklasside valiku juhised on toodud standardis CEN/TR 13201-1:2014/AC:2016 Teevalgustus. Osa 1: Valgustusklasside valiku juhised [22].
 - Valgustite hämardamisväärtused valgustusklasside kaupa – valgusteid hämardatakse kohaliku omavalitsuse soovitud kellaaegade järgi. Nii tagatakse, et üle kogu asula, linna või valla on kasutusel ühtsed välisvalgustuse hämardamise väärtused. Näitena on toodud Tallinna linna välisvalgustuse hämardamise režiimid joonisel 1.9. Valgustite hämardamisel tuleb arvestada asjaoluga, et hämardamise korral võib valgustusklassi muuta vaid ühe klassi võrra. Selleks tuleb KOV-il tellida heleduse mõõtmised, et kontrollida, kas hämardatud tänavavalgustus vastab kehtivale standardile.

	Kellaaeg, algav tund																			
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	
Valgustusklass M	Hämardamisel alles jääv valgustustase protsentides																			Valgustusklasside muutumine
M1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	75	75	100	100	100	M1 - M2 - M3 - M2 - M1
M2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	75	75	100	100	100	M2 - M3 - M4 - M3 - M2
M3	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100	M3 - M4 - M5 - M4 - M3
M4	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100	M4 - M5 - M6 - M5 - M4
M5	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100	M5-M6-P5-M6-M5
M6	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	M6-P6-M6
Valgustusklass P																				
P1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	75	75	100	100	100	P1 - P2 - P3 - P2 - P1
P2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	75	75	100	100	100	P2 - P3 - P4 - P3 - P2
P3	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100	P3 - P4 - P5 - P4 - P3
P4	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100	P4 - P5 - P6 - P5 - P4
P5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	P5
P6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	P6
P7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	P7

Joonis 1.9 Välisvalgustuse hämardamise režiimid valgustusklasside kaupa [23]

Täpsemad nõuded, mida kindlasti tuleb leedvalgustite puhul nõuda, on välja toodud peatükis 4.2.

1.3 Valgustussüsteemide hooldus

Tänavavalgustuse eluea pikendamiseks tuleb välisvalgustust hooldada regulaarselt. Välisvalgustuse hooldajate tavapäraseks ülesanneteks on tagada igapäevane valgustuspaigaldiste nõuetekohane talitlus, osutada ööpäevaringselt juhtimis- ning operaatorteenust ning tegeleda rikete kõrvaldamise ja muude tänavavalgustusega seotud töökorralduslike inseneritöödega [24].

Kohalikel omavalitsustel tuleb tänavavalgustuse hooldusettevõtetega kokku leppida täpsed juhised ning fikseerida, mis on välisvalgustuse hooldaja ülesanded ja mis mitte. Tänavavalgustuse hooldajatega sõlmitavates lepingutes on soovituslik kindlaks määrata erinevate välisvalgustusega seotud rikete likvideerimise tähtajad. Rikked ja nendele reageerimisajad peaks kvalifitseerima rikkelisuse järgi, mille kohane näide on toodud tabelis 1.2. Kindlasti tuleb hooldustööde lepingus tähelepanu juhtida, et rikete likvideerimise tähtajad algavad alates rikke/rikete teadasaamise hetkest, et vältida erinevaid lepingu tõlgendamise viise.

Tabel 1.2 Rikete likvideerimise tähtajad [24]

Olukorra staatus	Reageerimisaeg	Kirjeldus
0 – korras	-	Tähistab, et kõik on korras. Tähistab lisaks ka rikke likvideerimise ning hooldustöö lõppu.
1 – õnnetus	Kohene	Avarii, õnnetus, väga suur oht inimesele või varale. Kui on tulnud selline info kohalikult omavalitsuselt või kolmandalt isikult, siis selle kohaselt on kohustus koheselt tänavavalgustuse hooldaja objektile sõit ning likvideerida oht.
2 – suur oht	Kuni 6 h	Viga, mis tuleb likvideerida vähemalt 6 tunni jooksul. Näiteks kogu tänav või piirkond (üle kolme valgusti) on pime kaitsme/kaitsmete rakendumise tõttu.
3 – võimalik oht	Kuni 24 h	Olukord, mis võib suurendada võimalusi õnnetuste tekkimiseks. Näiteks valgustite vale süttimis- või kustumisaeg.
4 – parandus	Kuni 72 h	Olukorrad, kus valgusti ei põle, üks faas on väljas või juhtimissüsteem ei toimi.
5 – kontroll	Kuni 120 h	Valgustikontrollerite infovahetus ei toimi või on juhtumiste registreerimine häiritud.
6 – rike	Kuni 7 päeva	Õhuliini, maakaablirike või on mast viltu.
7 – hooldustöö	-	Hooldaja või kohaliku omavalitsuse poolt määratud ajavahemik tavapärase hooldustöö või võrgu vea paranduste tegemiseks. Välisvalgustuse hooldustöid tehakse tavaliselt iga-aastaselt ning jaotuskilpide kaupa.

1.4 Muu välisvalgustus

Kui maanteedel on välisvalgustuse roll ainult nähtavuse ja liiklusohutuse tagamine, siis asulates on lisaroll välisvalgustusel atmosfääri loomine [25]. Välisvalgustusega on võimalik keskkonda kujundada väga erinevatel viisidel. Kuna tänapäeval on leedvalgustite hinnad tarbijatele jõukohased ning tarbivad võrreldes teiste valgustitega märgatavalt vähem elektrienergiat, siis on hakatud väga laialdaselt valgustama hoonete välisfassaade ning rajatisi.

Hoonete välisfassaadide valgustamine hõlbustab inimestel linnades orienteerumist, edastada sõnumeid ja emotsioone ning lisaks äratavad inimeste tähelepanu objektidele. Hoone fassaadide ja rajatiste valgustamisega luuakse kaasaegsed valgustuslahendused, mis tõstavad kohalike omavalitsuste lisandväärtust. Leedvalgustid võimaldavad valgustada rajatisi ning fassaade erinevate värvidega. Nii hoonete kui rajatiste valgustamisel tuleb luua võimalikult säästvad valgustuslahendused, vältida tuleb tarbetut valgusreostust ning lisaks tuleb tähele panna, et välisvalgustus ei pimestaks ega tekitaks kuidagi ohtlikke olukordi liikluses osalejatele [26]. Asulates tупpa tungiv valgus ei lase inimestel end korralikult välja puhata ning selle eest kaitsevad ainult paksud kardinad [27].

Vanalinna tänavavalgustus kui ka vanalinna hoonete ja ehitiste fassaadivalgustused peavad moodustama ühtse, teineteist täiendava ning harmoneeruva terviku. Lisaks peab fassaadivalgustus looma valge ja inimsõbraliku, oma lahendustelt sobiva miljöö, välistama suured kontrastid ning valgustuse üksiklahenduste räiguse (silmade pimestamise) mistahes vaatepunktist. Vanalinna hoonete ja rajatiste fassaadivalgustus on kohaliku omavalituse valgustusidentiteedi kujundamise ja ajaloo- ning arhitektuuriväärtuste eksponeerimise põhilisi vahendeid [27]. Tartu linna näitel on mitmete hoonete välisfassaadid valgustatud kesklinna ja vanalinna piirkonnas selleks, et kujundada keskkonda ja luua meeleolu. Joonisel 1.10 on toodud Tartu Kaubamaja välisfassaadi valgustus.

Lisaks hoonete välisfassaadide valgustamisele on väga levinud erinevate rajatiste (monumendid, sillad, platvormid jne) valgustamine. Tartu linnas väärrib märkimist kaarsilla valgustuslahendus, kus Eesti Vabariigi aastapäeval oli sild valgustatud Eesti riigi lipu värvidega – sinise, musta ja valgega (joonis 1.11). Tartu kaarsilla leedvalgustus on igal nädalapäeval eri tonaalsuses ning lisaks kostuvad iga päev sünkroonis raekoja kellamänguga kaarsillalt viie helikunstniku teosed, mida saadavad valguskujundused kaarsillal [28].



Joonis 1.10 Tartu kaubamaja välisfassaadi valgustus



Joonis 1.11 Tartu kaarsilla valgustus

Valgustatud arhitektuur kujundab linnapilti ning annab sellele isikupära. Hoonete või rajatiste välisvalgustusel on ka positiivne mõju turistide reisirühmadele nagu seda võib välja tuua Tartu kaarsilla puhul, kus igal täistunnil silla valgustus mängib kõlaritest tulevate teosele kaasa [26].

2. VÄLISVALGUSTUSE JUHTIMISSÜSTEEMID

2.1 Juhtimissüsteemi roll

Välisvalgustuse juhtimissüsteemi põhiliseks ülesandeks on hoida kokku elektrienergiat, lülitades valgustid välja valgel ajal, kui valgustid ei pea põlema ja lülitades valgustid sisse pimedal ajal, kui on vaja luua pimedas nähtavust. Välisvalgustuse juhtimissüsteemi ülesandeks ei ole ainult tänavavalgustust sisse ja välja lülitada, vaid eesmärgiks on ka vähendada elektrienergia tarbimist ehk hämardada valgusteid. Elektrienergiat kokku hoides säästetakse keskkonda, sest siis eraldub keskkonda vähem süsihappegaasi, metaani, lämmastikoksiidi, vääveldioksiidi ja elavhõbeda saastaineid. Kõik see vähendab kasvuhooneefekti ja ka happevihmade tekkimist. [29]

Tänapäeva targa tänava (*smart street*) välisvalgustuse juhtimissüsteemide rolliks võib lugeda ka võimalust koguda erinevaid andmeid tänaval toimuvast ja teha selle alusel erinevat statistikat. Näitena võib siinkohal välja tuua, et Eestis on tehtud targa tänava juhtimissüsteemi projekt. Tegemist on Tallinna linnas Kalaranna tänaval Eliko poolt paigaldatud juhtimissüsteemiga, mis võimaldab jälgida, mitu sõiduautot ja inimest liigub tunnis, kui täis on prügikastid, mis on tänavavalgustite energiakulu. Lisaks on võimalik jälgida, mis on kõnnitee temperatuur. Kõik need andmed saadakse kätte SmartELI valgustuse juhtimissüsteemist reaalaajas, mille on loonud Eliko Tehnoloogia Arenduskeskus OÜ. [30]

Tänapäeval kasutatavaid välisvalgustuse juhtimissüsteeme võiks liigitada kahte peamisesse gruppi:

- kohtjuhtimise süsteemid – nagu nimigi ütleb, siis välisvalgustuse juhtimine käib kohapealt ehk juhtimiskilbist, kuhu on paigutatud juhtimisseadmed. Kohtjuhtimise süsteemid sobivad kasutamiseks valgustuspaigaldistes, mis paiknevad asulates väljaspool (teed, ristmikud, sillad) ning asulates olevates magalarajoonides [31];
- digitaalsed kaugjuhtimise süsteemid – kaugelt juhitud juhtimissüsteem, mis tähendab, et juhtimiskäsud edastatakse juhtimiskeskusest. Kaugjuhtimise süsteemid sobivad kasutamaks asulates ning suurema liiklustihedusega sõiduteedel.

2.2 Kohtjuhtimise süsteemid

2.2.1 Kilbipõhine hämaralülitiga juhtimissüsteem koos astronoomilise kellaga

Astronoomilise kellaga juhtimissüsteemi puhul on tegemist tänavavalgustite juhtimisega, kus välisvalgustid lülitatakse sisse-välja paigutava asukoha laiuskraadide järgi päikese tõusule ning

loojumisele. Astronoomiline kell on paigutatud tänavavalgustuse toitekilbis paikneva hämaralüliti järele. Hämaralüliti eesmärgiks on lülitada tänavavalgustuse toitevõrgule toide järgi siis, kui õues läheb piisavalt pimedaks ehk kui valgustustihedus E väheneb. Astronoomilise kella eesmärgiks on vältida olukordi, kui pimedal ajal valgustavad sõidukite tuled hämaralüliti valgusandurit ning selle peale hämaralüliti lükkab pimedal ajal toite valgustitele välja.

Eelised:

- lihtne tehniline lahendus;
- ei nõua kaabelduse väljavahetamist;
- võrdlemisi odav võrreldes teiste juhtimissüsteemidega.

Puudused:

- kui juhtimissüsteemiga ühendatud tänavavalgustitest üks valgusti lakkab töötamast, siis tänavavalgustuse hooldaja saab sellest teada ainult kodanike tagasisidest või tänava paikvaatlusega;
- ei saa tänavavalgustuse võrgus hoida toidet taga 24/7;
- valgusteid ei saa hämardada.

Leidub ka lahendusi, kus on kasutusel ainult astronoomilise kellaga juhtimissüsteeme ilma hämaralülitita, aga sellisel juhul lähevad valgustid automaatselt tööle ja kustu siis, kui saabub astronoomilisele kellale etteantud kellaajad. Ainult astronoomilise kellaga juhtimissüsteem nõuab iga aastast kella kalibreerimist käsitsi, sest astronoomiline kell jääb iga aasta reaalsest kellaajast maha või läheb ette vähesel määral.

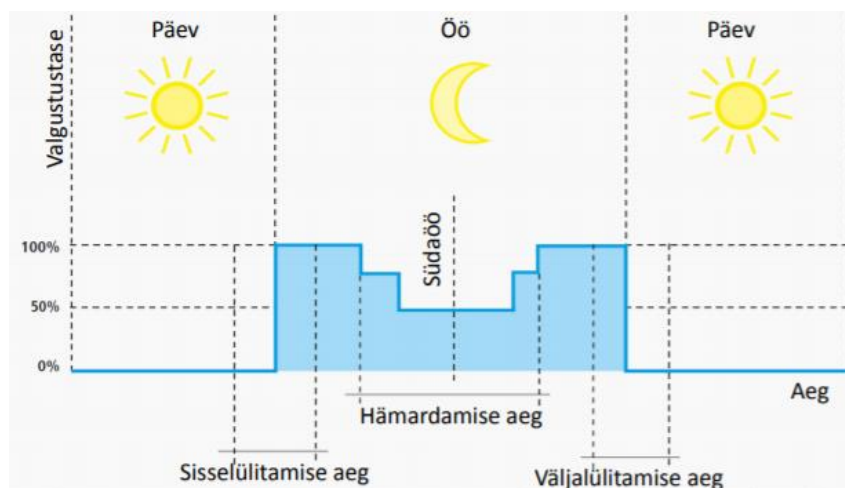
Kilbipõhine hämaralülitiga juhtimissüsteem koos astronoomilise kellaga sobib kasutamiseks nii vanemate valgustite nagu metallhalogeenid- ja kõrgrõhu-naatriumlampide juhtimiseks kui ka leedvalgustite juhtimiseks.

2.2.2 Astronoomilise kellaga leedvalgustid

Astronoomilise kellaga valgustite korral on juhtimissüsteem kilbi osas samasugune nagu toodud peatükis 2.2.1, mõningatel juhtudel puudub astronoomiline kell juhtimiskilbist. Kuid astronoomilise kellaga leedvalgusti juhtimise korral on lisaks kilbis olevale juhtimissüsteemile leedvalgustitel endal astronoomiline kell tehases valgusti liiteseadise sisse programmeeritud. Astronoomilise kellaga varustatud valgustite liiteseadised on mõeldud leedvalgustite hämardamiseks autonoomselt, aidates säästa elektrienergiat ning vähendada valgusreostust [32].

Astronoomiline kell liiteseadises võimaldab valgustit hämardada erinevatele astmetel nagu näiteks (joonis 2.1):

- kella 17.00st kuni 21.00ni töötavad leedvalgustid 100% võimsusega;
- kella 21.00st kuni 23.00ni töötavad leedvalgustid 75% võimsusega;
- kella 23.00st kuni 05.00ni töötavad leedvalgustid 50% võimsusega;
- kella 05.00st kuni 06.00ni töötavad leedvalgustid 75% võimsusega;
- kella 06.00st kuni 08.00ni töötavad leedvalgustid 100% võimsusega.

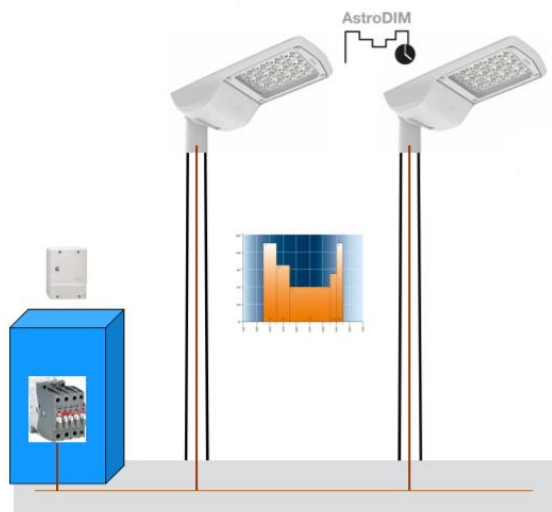


Joonis 2.1 Astronoomilise kellaga leedvalgustite hämardamise astmed [20]

Tehases seadistatud hämardamise astmeid on hiljem võimalik muuta. Seda saab teha ühe valgusti kaupa kui ühendada valgusti arvutiga ja muuta läbi programmi valgusti liiteseadises paika pandud hämardamise astmeid. Selleks, et hämardamise astmeid peale tehaseseadistust muuta, on vaja spetsiaalset leedvalgusti tootja programmi (Osrami liiteseadistega valgustite puhul on vaja spetsiaalset 3DIM seadet ja Signify ehk endise Philipsi liiteseadiste puhul OneTouch programmi) [32]. Lisaks, et hämardamise astmete ümber programmeerimine läheks kiiremini, on soovituslik igale valgustile ühendada programmeerimisväljundisse kaks lisa soont ja need tuua valgustist alla masti teenindusluugini [33]. Nii ei ole vaja tõstukit, kui peaks tekkima tulevikus vajadus hämardamise astmeid hiljem ümber programmeerida. Erinevatel tootjatel on erinevad nimetused astronoomilise kellaga valgustite juhtimiseks. Osrami astronoomilise kellaga leedvalgustite nimetus on AstroDIM, mille töötamise lahendus on toodud joonisel 2.2. Philips pakub samuti astronoomilise kellaga leedvalgusteid, mis kannavad nime Dynadimmer [34].

Astronoomilise kellaga leedvalgustite alghäälestamisel on leedvalgustid 3 ööd õppimisrežiimil, mis tähendab, et 3 ööpäeva peale paigaldust valgusteid ei hämardata. Kui päeval ajal

valgustitele lülitatakse toide sisse, siis samamoodi on valgustid 3 ööd õppimisrežiimil, mil neid ei hämardata.



Joonis 2.2 Osram AstroDIM juhtimine [33]

Eelised:

- lihtne tehniline lahendus;
- võrdlemisi odav võrreldes teiste juhtimissüsteemidega, astronoomilise kellaga funktsioon valgustit kallimaks ei tee;
- ei vaja kaabelduse välja vahetamist;
- võimaldab elektrienergiat säästa veelgi enam tänu valgusti hämardamisele.

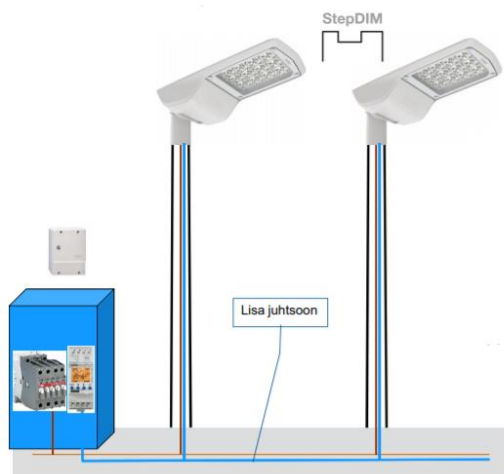
Puudused:

- kui juhtimissüsteemiga ühendatud tänavavalgustitest üks valgusti lakkab töötamast, siis tänavavalgustuse hooldaja saab sellest teada ainult kodanike tagasisidest või tänava paikvaatlusega;
- ei saa tänavavalgustuse võrgus hoida toidet taga 24/7;
- valgustite hämardamise astmeid saab ümber programmeerida ainult valgustite kaupa ja selleks on vaja spetsiaalset liiteseadise tootja seadet või programmi.

2.2.3 Juhtsoonega hämardamine

Juhtsoonega hämardamist pakub Osram näiteks StepDIM nimega. Lisaks pakuvad ka teised valgustitootjad juhtsoonega hämardamise võimalust. Juhtsoonega hämardamine eeldab, et on olemas eraldi lisason ehk juhtsoon valgustite juhtimiseks, mis võimaldab ühe astme võrra valgusteid hämardada (joonis 2.3). Selline lahendus on eriti sobilik, kui tänavalõikudel esineb vahetevahel öiseid üritusi, sest siis on võimalik tänavavalgustid täisvõimsusega tööle panna

ööseks, et oleks tagatud nähtavus ja turvalisus tänavatel. Nagu AstroDIM puhul, seadistatakse ka StepDIM funktsiooniga valgusti hämardamiseaste tehases [32]. StepDIM funktsiooni kasutamiseks on sobilik näiteks ARLC kaabel, mis on ühe lisasoonega [35]. Juhtsoonega juhtimise puhul antakse lisasoonele 230 V peale ning kõik leedvalgustid hämardatakse hetkeliselt ettemääratud võimsuse peale.



Joonis 2.3 StepDIM juhtimine [33]

Nagu jooniselt 2.3 on näha, paikneb kilbis hämaralüliti koos astronoomilise kellaga. Sellise lahenduse puhul saab tänavavalgusteid 100% võimsusega tööle panna ainult kilbist, lülitades astronoomilise kella välja. Kui kohalikul omavalitsusel on soov seda teha läbi arvuti ehk juhtimistarkvara, ilma kilbi juurde minemata, siis on võimalik juhtimiskilpi paigutada kilbikontroller, mis võimaldab hämardamisaegasid ehk hämardamise algust ja lõppu paindlikult muuta läbi pilvepõhise kasutajaliidese [33].

Eelised:

- võimaldab elektrienergiat säästa tänu valgusti ühele hämardamise astmele;
- töökindel ja paindlik lahendus.

Puudused:

- kui kilbikontrollerit ei ole ja juhtimissüsteemiga ühendatud tänavavalgustitest üks valgusti lakkab töötamast, siis tänavavalgustuse hooldaja saab sellest teada ainult kodanike tagasisidest või tänava paikvaatlusega;
- StepDIM lahendus on kallim kui AstroDIM, sest eeldab olemasoleva kaabelduse väljavahetamist lisasoonega kaabli vastu;
- kilbikontrolleriga StepDIM lahendus on tavalisest juhtsoonega juhtimisest kallim;
- ei saa tänavavalgustuse võrgus hoida toidet taga 24/7;

- valgustite hämardamise astmeid saab ümber programmeerida ainult valgustite kaupa ja selleks on vaja spetsiaalset valgusti liiteseadise tootja seadet või programmi.

2.3 Digitaalsed kaugjuhtimise süsteemid

2.3.1 Kilbikontrolleriga juhtimine

Kilbikontrolleritega juhtimissüsteemi puhul on juhtimiskilpi paigutatud kontrollid, mis juhivad eraldi fiidrite sisse- ja väljalülitamisi, jälgib energiakasutust ning rikke tuvastamisel teavitab sellest juhtimissüsteemi tarkvara. Kilbikontrolleril on tavaliselt varutoide, juhiks, kui peaks kilbi elektritoide ära kaduma. Varutoite funktsiooniks on jaotuskilbi ukseanduri ja häire töös hoidmine. Kilbikontroller võimaldab lisada erinevaid andureid juurde, nagu näiteks ukseandur, mis annab teada, kui kilbi uks lahti tehakse. Lisaks on võimalik lisada temperatuuri ja veetaseme andureid ning muid andureid. Samuti võimaldab kilbikontroller liidestada elektriarvesti, et jälgida energiatarbimist. Kilbikontrolleri juhtimine toimub kas serveri käsuga (juhtimistarkvara käsuga) või autonoomselt ehk lülitab valgustite fiidrid sisse astronoomilise kella või hämaralülitiga. Kilbikontroller võimaldab ka juhtsoonega hämardamist ehk kilbikontroller hämardab valgusteid ühe astme võrra, nagu on välja toodud peatükis 2.2.3.

Eelised:

- ei nõua kaabelduse väljavahetamist;
- rikestest saab infot e-kirja või SMS teel, mis võimaldab hoida tänavavalgustuse hooldaja aega kokku rikke otsimisel;
- seirab energiakasutust;
- võimaldab lisada erinevaid andureid.

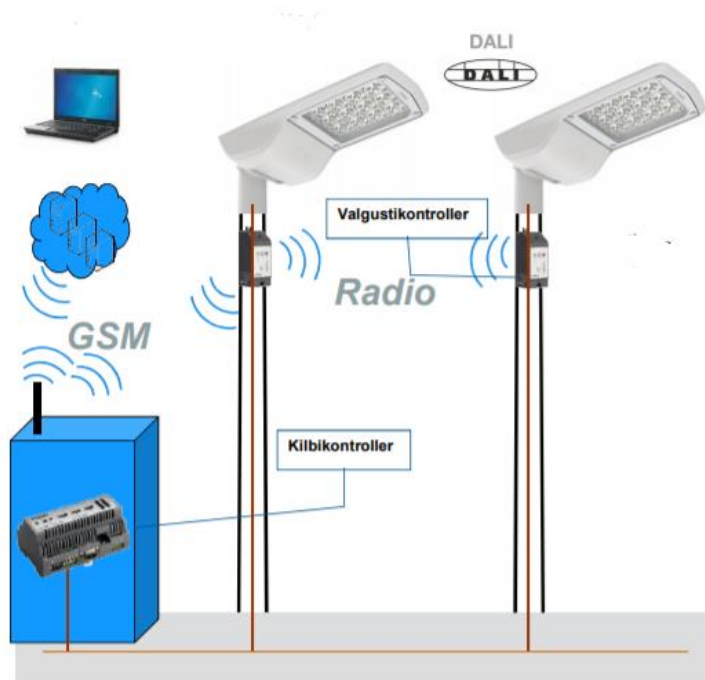
Puudused:

- kilbikontroller on kallim kui hämaralüliti ja astronoomiline kell;
- ei saa tänavavalgustuse võrgus hoida toidet taga 24/7.

2.3.2 Valgustikontrolleritega juhtimine

Valgustikontrolleritega leedvalgustite juhtimine on kõige paindlikum juhtimise viis, sest saab valgusteid juhtida valgustipõhiselt või gruppina. Leedvalgusteid on võimalik juhtida valgustikontrolleritega, mis võivad olla sobilikud kas Nema või Zhaga standarditega pistikutega ja mis kasutavad IoT (*Internet of things*) tehnoloogiat, mis võimaldab seadmeid kaugelt jälgida ning juhtida. Nema ja Zhaga standarditega soklid on ülemaailmselt tunnustatud. Erinevus Nema ja Zhaga vahel on kinnituspesa valgusti korpusel, sest Nema standardiga soklid on välja arenenud

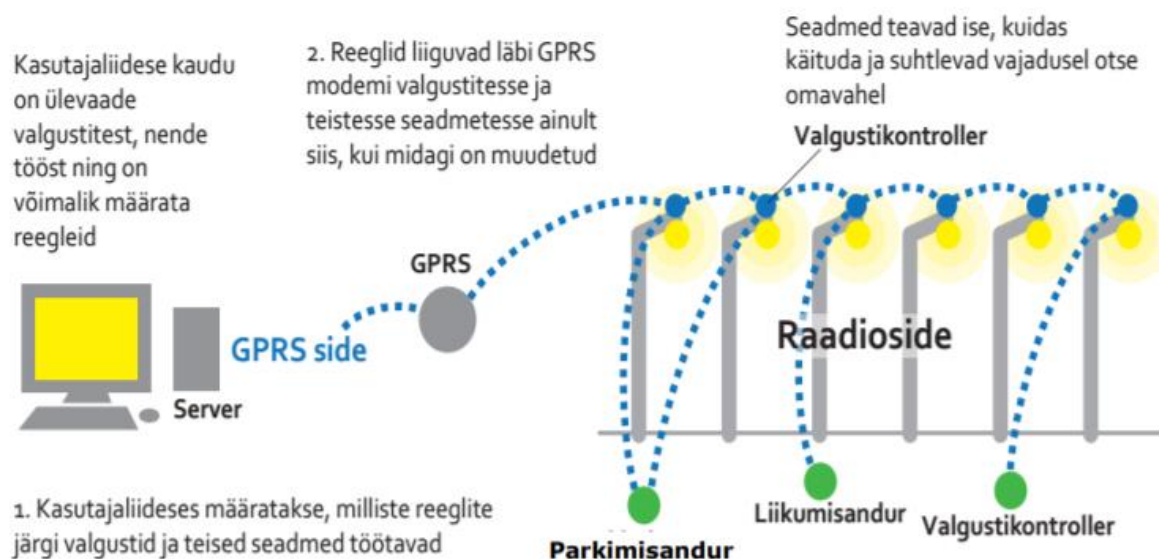
Põhja-Ameerika valgustustööstusest aga Zhaga soklid on Euroopa valgustustööstusest. [36] Zhaga pistikupesaga valgustikontrollerid on tunduvalt odavamad kui Nema kontrollerid, sest Nema kontrollerid on mõeldud kasutama vahelduvvoolu, mis tähendab, et pistik peab vastama vahelduvvoolu ohutusnõuetele ning valgustikontroller peab omama voolumuundurit, mis muudab vahelduvvoolu elektroonikale sobivaks alalisvooluks. Selle tulemusel tõuseb lahenduse kogumaksumus. Zhaga standardile tehtud valgustikontroller töötab 24 V alalisvoolu toitel, mis teeb ta odavamaks võrreldes Nemaga, sest ei ole vaja eraldi toitemuundurit, kuna kõik muud komponendid valgustikontrolleris töötavad alalisvoolu pealt. Turul pakutakse ka valgustikontrollereid, mis ei vaja eraldi Zhaga või Nema kinnituspesasid, vaid need ühendatakse eraldi valgustiga, paigutades kontrolleri kas masti külge või valgusti sisse (joonis 2.4). Sellised kontrollerid, mis suhtlevad raadiosidega, vajavad eraldi antenni, mis tuleb paigutada valgusti külge. Kui antenni ei paigalda valgusti tootja ise, siis suure tõenäosusega kaotab ka valgusti oma garantii. Nema ja Zhaga standardiga kinnituspesadega valgustikontrollerite ühendamine on väga lihtne, need tuleb lihtsalt keerata valgusti peal olevasse kinnituspesasse.



Joonis 2.4 Valgustikontrolleriga juhtimine [33]

Valgustikontrollerid suhtlevad teineteisega digitaalselt läbi raadioside ning võimaldavad valgustipõhist juhtimist (joonis 2.5) ehk igat valgustit on võimalik erinevate astmetega ja erinevatel kellaegadel hämardada. Valgustikontrolleritega varustatud valgustite hämardamisastmeid on lihtne muuta läbi juhtimissüsteemi tarkvara. Lisaks saab luua eraldi valgustigruppe, tuvastada rikkeid ning saada teavitusi rikestest, kas siis meili või lühisõnumi ehk

SMS-i (*Short Message Service*) teel. Võimalik on ka jälgida kogu süsteemi ning iga valgusti energiakulu. [33] Valgustikontrolleritega juhtimise puhul peab kilbis olema kilbikontroller, mis läbi ruuteri (*gateway*) suhtleb valgustikontrolleritega ning hoiab valgustikontrollerid ühenduses serveriga. Sellise juhtimissüsteemi korral, kui valgustikontrollerid ühendatakse valgustiga, kuvatakse valgustid koheselt GIS-i (*geographic information system*) ehk geoinfosüsteemi kaardile.



Joonis 2.5 Valgustikontrollerite suhtlemine omavahel ning koos teiste anduritega, mida on võimalik tänavavalgustuse külge ühendada [37]

Eestis pakub Nema ja Zhaga kinnituspesasse paigutavaid valgustikontrollereid näiteks Gridens, Cityntel, Cityntelly jne.

Eelised:

- suurim eelis teiste juhtimissüsteemide ees on, et valgustikontrolleritega juhtimissüsteemi korral on võimalik hoida toidet tänavavalgustusvõrgus sees 24/7;
- valgustipõhine juhtimine;
- ei nõua kaabelduse väljavahetamist;
- rikest saab infot meili või SMS-i teel, mis võimaldab hoida tänavavalgustuse hooldaja aega kokku rike otsimisel;
- valgustikontrolleritega varustatud valgusteid saab jälgida GIS kaardil.

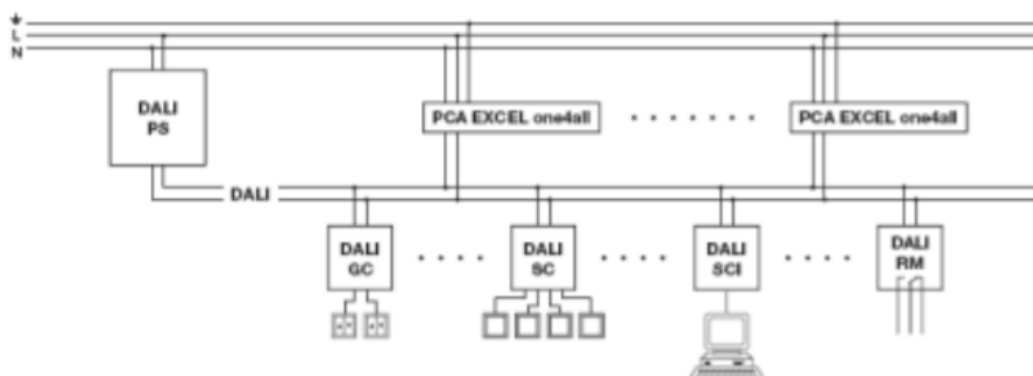
Puudused:

- juhtimissüsteemi rajamine on küllaltki kallis, sest valgustid, millel on valgustikontrolleri pistikupesa, on kallimad ning valgustikontroller hind on samuti märkimisväärne.

2.3.3 DALI juhtimine

DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) on andmesideprotokoll, mis on digitaalsel juhtimisel põhinev intelligentne valgustuse juhtimissüsteem, kus igale valgustile antakse oma aadress. Nii saab igat valgustit eraldi juhtida, juhtides vaid eraldi kahesuunalist digitaalsignaali edastavat lisasoont. DALI juhtimine on kilbipõhine, mis vajab kilbikontrollerit kilpi ning lisaks peab valgustitel olema kahe lisasoonega nõrkvoolu kaabel, mis võimaldaks DALI juhtimist rakendada. DALI võimaldab suhelda korraga kõigi leedvalgustite liiteseadistega, liiteseadiste gruppidega (kuni 16 gruppi) või üksikute liiteseadetega (kuni 64 liiteseadet). Lisaks on DALI ülesandeks veel valgusteid hämardada ning sisse-välja lülitada, mis tähendab, et ei ole eraldi lüliteid vaja. Liiteseadiste gruppide jaoks on võimalik seada erinevaid stsenaariumeid ehk erinevaid hämardamise astmeid. [38]

DALI juhtimisel antakse igale valgustile oma aadress ja nagu eelmises lõigus toodi välja, saab ühte gruppi ühendada kuni 64 valgustit [39]. DALI juhtimisskeem on toodud joonisel 2.6.



Joonis 2.6 DALI juhtimisskeem [39]

Eelised:

- valgustipõhine juhtimine;
- rikestest saab infot meili või SMS teel, mis võimaldab hoida tänavavalgustuse hooldaja aega kokku rikke otsimisel.

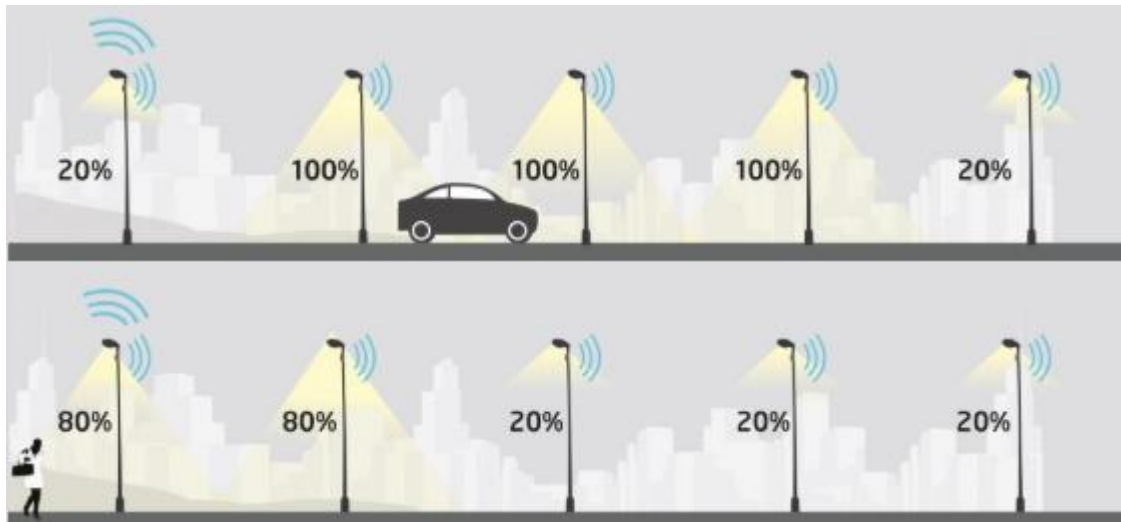
Puudused:

- juhtimissüsteemi rajamine on küllaltki kallis, sest DALI juhtimine vajab kahe lisasoonega nõrkvoolu kaablit;
- kui tänavavalgustite toitefiidrid on pikemad, kui 300 meetrit, tuleb paigutada lisaks kilbikontrollerile iga 300 m tagant DALI juhtimissignaali võimendajad masti külge, mis tõstavad samuti juhtimissüsteemi maksumust, sest sellised seadmed on päris kallid;

- DALI juhtimissüsteem välisvalgustuses ei ole väga levinud, pigem kasutatakse seda rohkem sisevalgustuses.

2.3.4 Liikumisradaritega juhtimine

Liikumisradariga juhtimissüsteem aktiveerub automaatselt niipea, kui piirkonnas on tuvastatud liikumine ehk kas tänaval kõnnib inimene või sõidab auto. Kui liikumist ei ole, siis põlevad leedvalgustid nii-öelda ooterežiimis ca 20-30% võimsusega ja koheselt, kui liikumisradar avastab liikumise, lähevad leedvalgustid põlema täisvõimsusega objekti liikumise suunas. Lihtsustatult öeldes liigub valgus objekti liikumisega tänaval kaasas. [40] Liikumisradari toimimise näide on toodud joonisel 2.7. Liikumisradarid suhtlevad omavahel, koos valgustikontrolleritega ning kilbikontrolleriga läbi raadioside.



Joonis 2.7 Liikumisradari toimimise näide [40]

Eestis on tehtud viis pilootprojekti liikumisradaritega, kus on kasutusel Comlight liikumisradarid ja juhtimissüsteem. Comlight on esimene ettevõtte, kes patenteeris liikumisradaritega juhtimissüsteemi [41]. Eestis on ka teiste ettevõtete poolt tehtud liikumisradaritega tänavavalgustuse lõikusid.

Eelised:

- liikumisradar aitab säästa täiendavalt elektrienergiat.

Puudused:

- liikumisradarite suurimaks puuduseks on nende kõrge hind, mis teeb tänavavalgustuse juhtimissüsteemi kalliks. Kallid on nad sellepärast, et liikumisradar on mõeldud ikkagi

välitingimustesse ehk korpus peab olema UV kindel ning kaitseaste võõrkehade, tolmu- ja veekindluse vastu peab olema minimaalselt IP66;

- jalakäijad võivad hakata vältima liikumisradaritega lõikusid, sest jalakäija ei näe piisavalt kaugele, siis tunneb ta ennast ebakindlalt ning kaitsetuna, sest ei näe võimalikke ohtusid nii selgelt;
- saab kasutada lõikudel, kus öösiti on väike liikluskoormus, sest kui valgustid pidevalt lähevad täisvõimsusega põlema või isegi põlevad koguaeg, siis ei taga radariandurid mingit elektrienergia säästu.

2.4 Juhtimissüsteemide majanduslik analüüs

Selles peatükis tuuakse välja, kui palju on võimalik säästa elektrienergia kuludelt peatükkides 2.2 ja 2.3 toodud erinevate juhtimissüsteemidega. Majandusliku analüüsi tegemiseks kasutatakse vabavarana kättesaadavat välisvalgustuse kokkuhoiu kalkulaatorit. Tegemist on Inteli LIGHT poolt loodud välisvalgustuse kalkulaatoriga, mis arvestab minuti täpsusega päikesetõusu ja -loojangut geograafilistele koordinaatide järgi, elektrihinda, paika pandud hämardamisastmeid, välisvalgustite võimsusi ning koguseid [42].

Analüüsi tehakse 100 leedvalgusti kohta ning valgustite võimsus on 70 W. Tähele tuleb panna, et tegu on näidisarvutustega ja kuna hämardamisprofiilid on kohaliku omavalitsuse otsustada, siis sõltub tegelikus kasutuses elektrienergia sääst omavalitsuse poolt valitud tegelikest hämardamisprofiilidest. Analüüsis on kasutatud viimase viie (2015-2019) aasta keskmist madalpinge elektrihinda lõpptarbijale Eestis, milleks on 0,1284 €/kWh [43]. Kuna magistritööd kirjutati Tallinnas, siis välisvalgustuse kalkulaator kasutas kõige lähemal oleva linna ehk Tallinna linna geograafilisi koordinaate, mille põhjal kalkulaator arvestab päikesetõusu ja -loojangut. Analüüsis eeldatakse, et valgustid lülitatakse sisse viis minutit enne päikese loojangut ning välja viis minutit peale päikesetõusu. Valgustite valgustusklass on M4 ning selle järgi on hämardamisastmed valitud jooniselt 1.9.

2.4.1 Kilbipõhine hämaralülitiga juhtimissüsteem koos astronoomilise kellaga

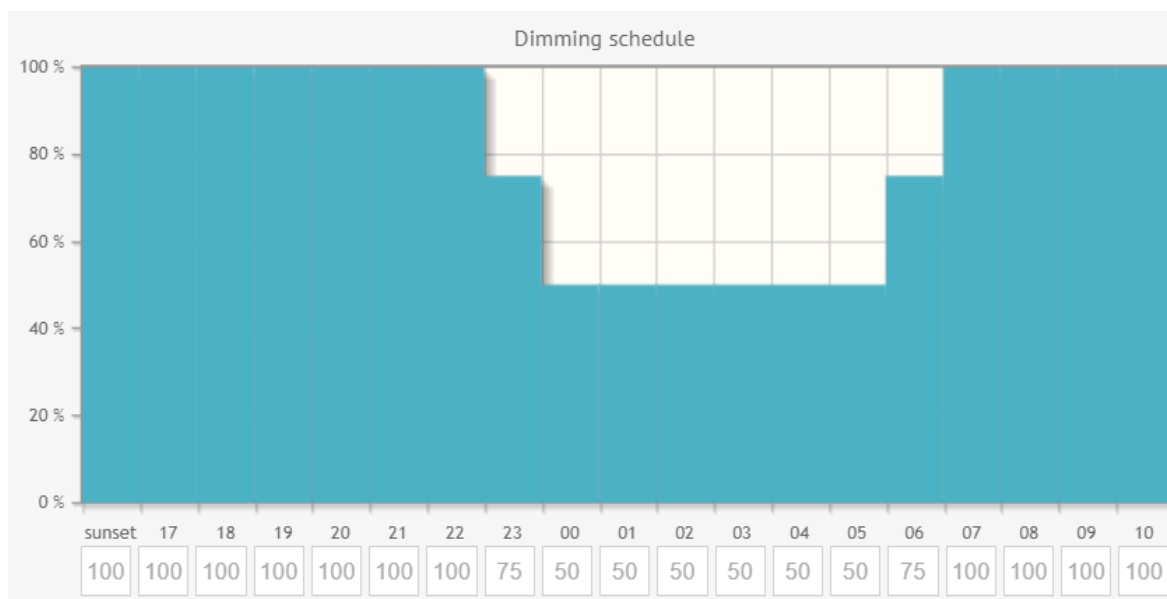
Valgusteid ei hämardata antud juhtimise korral, siis leedvalgustid põlevad pimedal ajal täisvõimsusega ja seetõttu mingit säästu juhtimissüsteem ei anna. Sellise juhtimise korral tänavavalgustus kulutab 33 266 kWh elektrienergiat aastas ja kulu elektrienergiale on 4271 eurot aastas (tabel 2.1).

Tabel 2.1 Elektrienergia sääst kilbipõhise hämaralülitiga juhtimissüsteem korral koos astronoomilise kellaga

Juhtimine	Elektrienergia, kWh/aastas	Kulu, €/aastas
Ilma juhtimissüsteemita	33 266	4271
Juhtimissüsteemiga	33 266	4271

2.4.2 Astronoomilise kellaga leedvalgustid

Valgustite hämardamise astmed on toodud joonisel 2.8 ning sellise juhtimissüsteemi korral saavutatav elektrienergia sääst on toodud tabelis 2.2.



Joonis 2.8 Hämardamise astmed astronoomilise kellaga leedvalgustite juhtimise puhul [43]

Tabel 2.2 Elektrienergia sääst astronoomilise kellaga leedvalgustite juhtimise korral

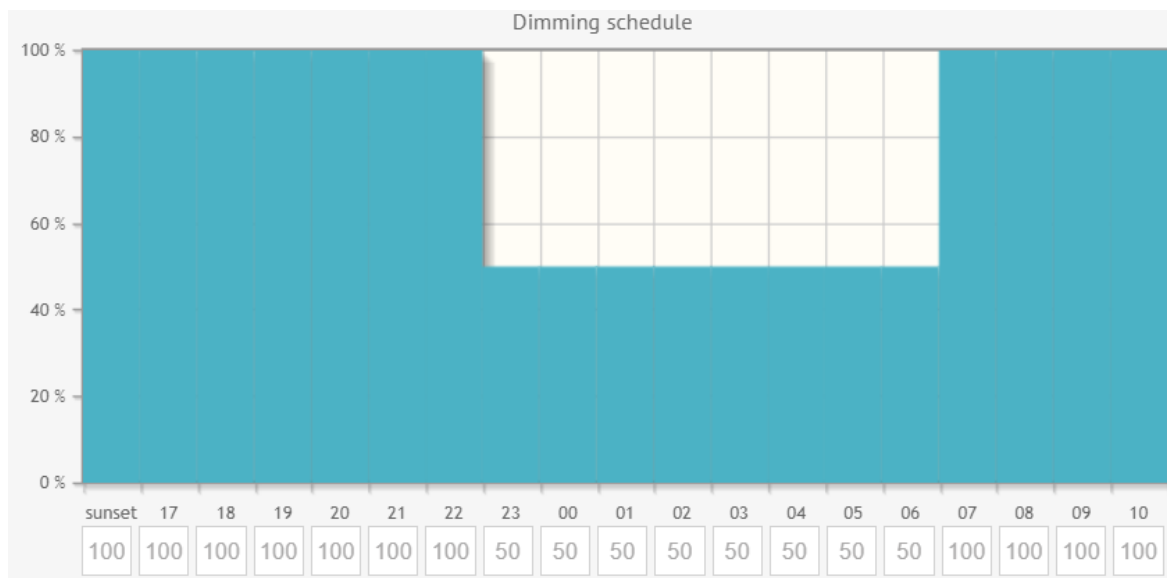
Juhtimine	Elektrienergia, kWh/aastas	Kulu, €/aastas
Ilma juhtimissüsteemita	33 266	4271
Juhtimissüsteemiga	24 245	3113

Valgustikontrolleritega ning DALI juhtimissüsteemi korral on saavutatav sääst sama, mis astronoomilise kellaga leedvalgustitega juhtimise korral, sest tänavavalgustite hämardamisastmeid on samasugused. Seetõttu ei tehta magistritöös eraldi analüüsi valgustikontrolleritega ning DALI juhtimissüsteemi kohta. Nagu tabelist 2.2 selgub, siis astronoomilise kellaga on võimalik säästa elektrienergia kuludelt 27,12% ja samuti valgustikontrollerite ning DALI juhtimissüsteemiga.

Kui on kasutusel kilbikontrolleriga juhtimissüsteem, kus puudub lisasoon, aga on kasutusel leedvalgustid, mille draiverisse on programmeeritud hämardamisastmed, siis saavutatav elektrienergia sääst on samasugune nagu astronoomilise kellaga leedvalgustite juhtimise korral.

2.4.3 Juhtsoonega hämardamine

Juhtsoonega hämardamise puhul on hämardamise astmed toodud joonisel 2.9. Kuna juhtsoonega hämardamise korral on võimalik kasutada ainult ühte hämardamise astet, siis alates kella 23.00st kuni 07.00ni põlevad valgustid poole võimsusega.



Joonis 2.9 Hämardamise astmed juhtsoonega hämardamise juhtimissüsteemi korral [43]

Juhtsoonega hämardamise juhtimissüsteemi korral on saavutatav elektrienergia sääst toodud tabelis 2.3.

Tabel 2.3 Elektrienergia sääst juhtsoonega hämardamise juhtimissüsteemi korral

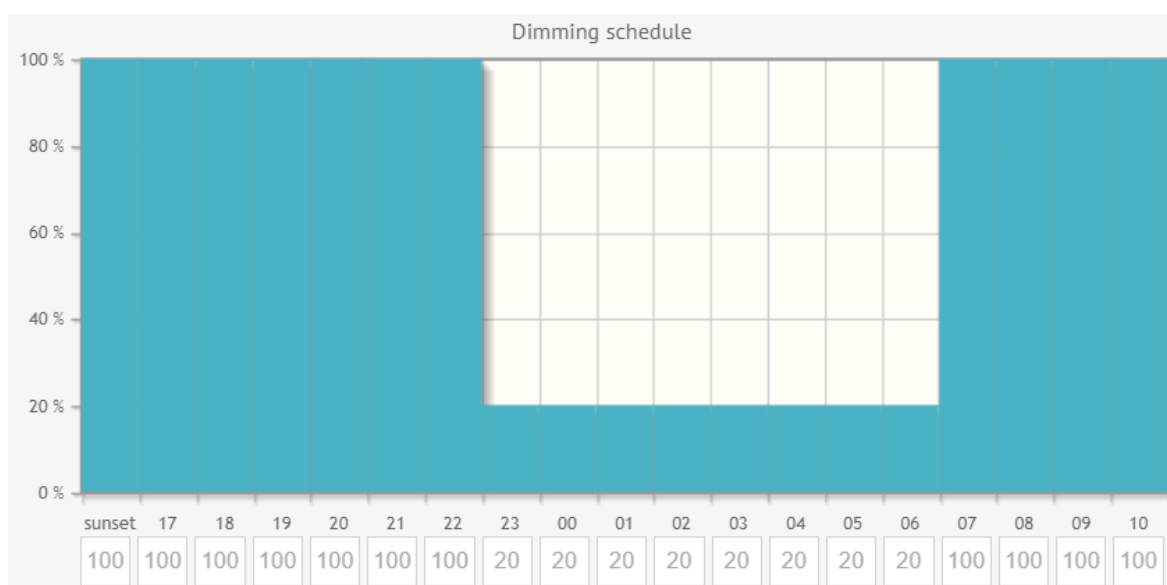
Juhtimine	Elektrienergia, kWh/aastas	Kulu, €/aastas
Ilma juhtimissüsteemita	33 266	4271
Juhtimissüsteemiga	23 122	2969

Nagu tabelist 2.3 selgub, siis juhtsoonega hämardamise juhtimissüsteemiga on saavutatav elektrienergia sääst suurem kui astronoomilise kellaga leedvalgustite juhtimissüsteemi korral, sest esineb ainult üks hämardamise aste. Elektrienergia kuludelt on võimalik säästa 30,49%. Muidugi mängib rolli, mis võimsusele valgustid hämardatakse. Selles analüüsis hämardati valgustid 50% võimsuse peale. Kui valgustid hämardada näiteks 70% võimsuse peale, siis oleks astronoomilise kellaga leedvalgustite juhtimissüsteemi elektrienergia sääst suurem kui juhtsoonega juhtimise korral.

Kilbikontrolleritega juhtimissüsteemi puhul, kui on kasutusel üks lisasoon, on saavutatav elektrienergia sääst samasugune nagu juhtsoonega hämardamise puhul, kui hämardamise vahemik ei muutu.

2.4.4 Liikumisradaritega juhtimine

Liikumisradaritega juhtimise korral on arvutustes eeldatud, et öösel põlevad valgustid 20% võimsusega ehk nii-öelda ooterežiimis. Kahjuks välisvalgustuse kalkulaator ei võimalda arvutada liikumisanduritega välisvalgustust ehk valgustuse kalkulaator ei võimalda hinnata, kui tihe on liiklus öösel ning seetõttu ei ole arvutustes arvestatud liikumist öösel vahemikus 23.00 kuni 07.00 (joonis 2.10).



Joonis 2.10 Liikumisradaritega juhtimissüsteemi hämardamisastmed [43]

Liikumisradaritega juhtimissüsteemi korral on saavutatav elektrienergia sääst toodud tabelis 2.4.

Tabel 2.4 Elektrienergia sääst liikumisradaritega juhtimissüsteemi puhul

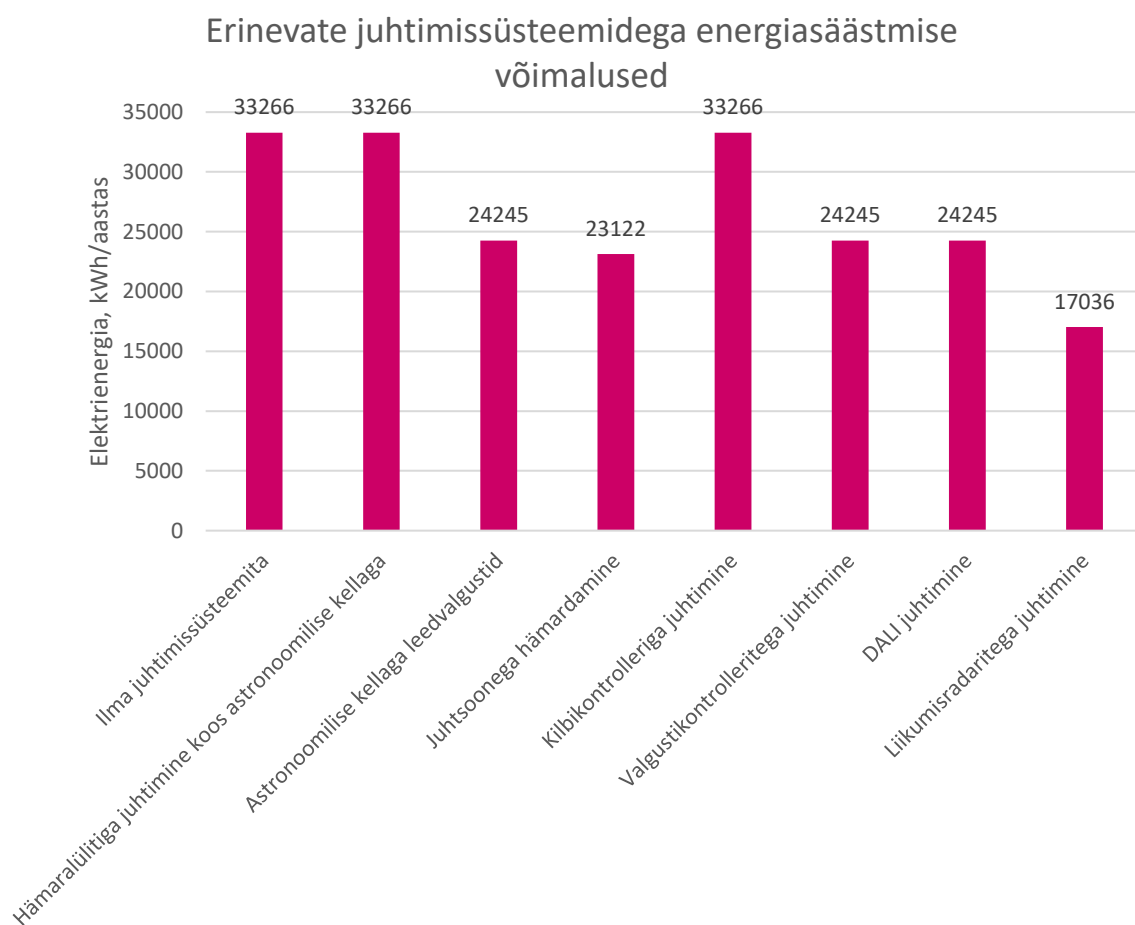
Juhtimine	Elektrienergia, kWh/aastas	Kulu, €/aastas
Ilma juhtimissüsteemita	33 266	4271
Juhtimissüsteemiga	17 036	2187

Nagu tabelist 2.4 selgub, siis saavutatav elektrienergia sääst võib olla kuni 48,79%, aga arvutustes ei ole arvestatud öist liikluskoormust, mistõttu reaalne elektrienergia sääst on väiksem kui 48,79%. Samas võib jällegi elektrienergia sääst olla suurem, kui õhtusel ja hommikul ajal on valgustid hämardatud ja liiklus on ka õhtusel ning hommikul ajal hõredam.

2.4.5 Juhtimissüsteemide majandusliku analüüsi kokkuvõte

Joonisel 2.11 on toodud tulpdiaagrammina kõikide eelpool mainitud juhtimissüsteemidega saavutatavad elektrienergia säästmise võimalused. Tulpdiaagrammilt selgub, et liikumisradaritega juhtimissüsteemi korral on saavutatav elektrienergia sääst kõige suurem võrreldes teiste välisvalgustuse juhtimissüsteemidega, kui liiklustihedus on väga väikene. Kui radaranduritega

juhtimissüsteem paigutatakse tänavale või lõigule, kus nii õhtul, öösel ja hommikul on väga tihe liiklus, siis on elektrienergia sääst olematu ning selline juhtimissüsteem ei tasu ennast ära, sest liikumisradarid on kallid, mis teevad kogu juhtimissüsteemi maksumuse väga kulukaks. Joonisel 2.11 on eeldatud, et kilbikontrolleriga juhtimissüsteemi korral pole kasutusel eraldi lisasoont või ei ole valgustite liiteseadised varustud astronoomilise kellaga. Kui kilbikontrolleriga juhtimissüsteemi korral võetakse kasutusele valgustite hämardamiseks lisasoone, siis oleks saavutatav elektrienergia sääst sama, mis on lihtsalt lisasoonega juhtimise korral. Samamoodi, kui koos kilbikontrolleriga kasutatakse astronoomilise kellaga leedvalgusteid, on elektrienergia kulu samasugune nagu astronoomilise kellaga leedvalgustite puhul.



Joonis 2.11 Erinevate juhtimissüsteemidega energiasäästmise võimalused

2.5 Juhtimissüsteemide valik erinevate mootorliikluspiirkondade puhul

Nagu peatükis 1.2.3 toodud, siis valgustusklasside valiku juhised on toodud standardis CEN/TR 13201-1:2014/AC:2016 Teevalgustus. Osa 1: Valgustusklasside valiku juhised [22]. Valgustusklassi parameetrid leiab standardist EVS-EN 13201-2 ning konkreetsete valgustite koos

valgustusmastide asukohtadest tulenevad fotomeetrilised näitajad arvutatakse standardi EVS-EN 13201-3 järgi [44]. Eelnevalt nimetatud standardites on välja toodud nii mootorliikluspiirkondade (M), konfliktpiirkondade (C) ning jalakäijate ja aeglaselt liikuvate sõidukite piirkondade (P) valgustusklasside valiku juhised. Mootorliikluspiirkondade puhul on kokku kuus valgustusklassi:

- M1 – üldjuhul on tegemist tiheda liiklusega kiirteega (heledus peab olema vähemalt 2,00 cd/m² [45]);
- M2 – tavaliselt on tegemist kiirteega või väga tiheda liiklusega maanteega nagu näiteks Tallinn – Tartu maantee (heledus peab olema vähemalt 1,50 cd/m² [45]);
- M3 – üldjuhul on tegemist tiheda liiklusega maanteega või linnasisese sõiduteega nagu näiteks Riia tänav Tartus (heledus peab olema vähemalt 1,00 cd/m² [45]);
- M4 – tavaliselt on tegemist tiheda liiklusega tänavaga nagu näiteks Kaunase puiestee Tartus (heledus peab olema vähemalt 0,75 cd/m² [45]);
- M5 – üldjuhul on tegemist linnatänavatega, millel ei ole väga tihe liiklus nagu näiteks Roopa tänav Tartus (heledus peab olema vähemalt 0,50 cd/m² [45]);
- M6 – tegemist on magalapiirkondade tänavatega, kus on väga väikene liiklustihedus nagu näiteks Lootuse tänav Tartus (heledus peab olema vähemalt 0,30 cd/m² [45]).

Tabelis 2.5 on toodud soovituslikud juhised, milliseid juhtimissüsteeme on mõistlik kasutada erinevate mootorliikluspiirkondade korral. Küll ei saa päris tabeli 2.5 puhul valida juhtimissüsteemi, mida mingil lõigul kasutada, sest KOV peab juhtimissüsteemi valikul paika panema, kas soovitakse ainult valgusteid sisse-välja lülitada ilma hämardamiseta või neid hämardada ning kas juhtida valgusteid kaugjuhtimise teel, fiidri põhiselt või valgusti põhiselt.

Tabel 2.5 Milliseid juhtimissüsteeme on soovituslik kasutada erinevate mootorliikluspiirkondade puhul

Juhtimissüsteemid	M - valgustusklassid					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Kilbipõhine hämaralülitiga juhtimissüsteem koos astronoomilise kellaga	Ei	Ei	Jah	Jah	Jah	Jah
Astronoomilise kellaga leedvalgustid	Ei	Ei	Jah	Jah	Jah	Jah
Juhtsoonega hämardamine	Ei	Ei	Jah	Jah	Jah	Jah
Kilbikontrolleriga juhtimine	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah
Valgustikontrolleritega juhtimine	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah
DALI juhtimine	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah	Jah
Liikumisradaritega juhtimine	Ei	Ei	Ei	Jah	Jah	Jah

Nagu tabelist 2.5 on näha, siis kõik juhtimissüsteemid ei sobi kasutamiseks kõikide mootorliikluspiirkondade (M) valgustusklasside korral. Kilbipõhine hämaralülitiga juhtimissüsteem koos astronoomilise kellaga, astronoomilise kellaga varustatud leedvalgustid ja

juhtsoonega hämardamine ei sobi M1 ja M2 valgustusklasside puhul kasutamiseks, sest sellistel kiirteedel ja sõiduteedel on liiklustihedus nii suur, et seal ei tohikski valgusteid hämardada. Lisaks peab olema võimalus jälgida nii suure liiklustihedusega teedel tänavavalgustuse seisuga kaugjuhtimissüsteemiga ning peab saama rikest teateid, et saaks rikked võimalikult kiirelt likvideerida. Samuti ei sobi liikumisradaritega juhtimissüsteem M1 ja M2 valgustusklassile ega ka M3 valgustusklassile, sest selliste sõiduteede korral on liiklustihedus liiga suur, et liikumisradarid tooksid soovitud elektrienergia säästu. Siinkohal tuleb just liikumisradarite tasuvusaeg mängu ja kui valgustid enamuse ajast põlevad täisvõimsusega, ei tasu liikumisradaritega juhtimissüsteem ennast ära.

2.6 Juhtimissüsteemide digitaliseerimine

Selles peatükis on juhtimissüsteemide digitaliseerimise all mõeldud kohalikule omavalitsusele kuuluva tänavavalgustuse juhtimiseks kasutatavate erinevate digitaalsete kaugjuhtimissüsteemide integreerimine ühisesse programmi koos muu teabega tänavavalgustuse kohta. Sellise lahenduse eesmärgiks on luua nii kohalikule omavalitsusele kui ka tänavavalgustuse hooldajale ühine tööriist, mis võimaldaks teada saada järgnevat infot tänavavalgustuse võrgu kohta:

- kus asuvad välisvalgustid ja toitekilbid kaardil ehk geodeetilised andmed;
- mis tänavavalgustid on kuskil kasutusel ehk tehnilised andmed valgustite kohta ja juhtimissüsteemi kohta;
- mis tüüpi valgustimastid on kasutusel ning millal on need paigaldatud;
- milline kaabel või õhuliin on kasutusel tänavavalgustuse toiteks;
- milline juhtimissüsteem on kuskil tänavavalgustuse kasutusel;
- millal valgustid paigaldati, kes oli paigaldaja ning millal saab läbi nende garantiiperioodi;
- millised on valgustite hämardamise astmed;
- millal on teostatud hooldused või remonttööd ning kelle poolt ja mis täpsemalt tehti;
- tänavavalgustusvõrgu elektriliste parameetrite kohta;
- valgustid, mis võimaldavad valgustipõhist juhtimist annavad teada, kui on mingi rike nendega.

Programm peab olema võimekusega, et oleks erinevaid kihte võimalik kuvada ka individuaalselt. See tagab, et kiiremini leitakse üles vajalik info, mida parasjagu otsitakse. Nii on lihtsam kogu infomüras orienteeruda.

Programmile on mõistlik tagada erinevate tasemetega ligipääsud, nagu näiteks:

- tänavavalgustuse operaatorile lülitamise tööriist – tänavavalgustuse operaator näeb, mis liinid on ilma toiteteta ja mis lõikudel on remont-, ehitus- või hooldustööd käimas. Seeläbi on tagatud inimeste ohutus;
- erinevate tootjate juhtimisseadmete info rikete ning korrasoleku kohta;
- tööriist uute ja renoveeritavate tänavavalgustuse lõikude kohta projekteerijatele, et projekteerija saaks ülevaate olemasolevast tänavavalgustuse võrgust;
- hooldus- ja remonttööde juhtimise tööriist, mille eesmärgiks on seada tööde staadiumid ja jälgida tähtaegu, asukohti ning tööde kulgu.

2.6.1 Tehniline lahendus

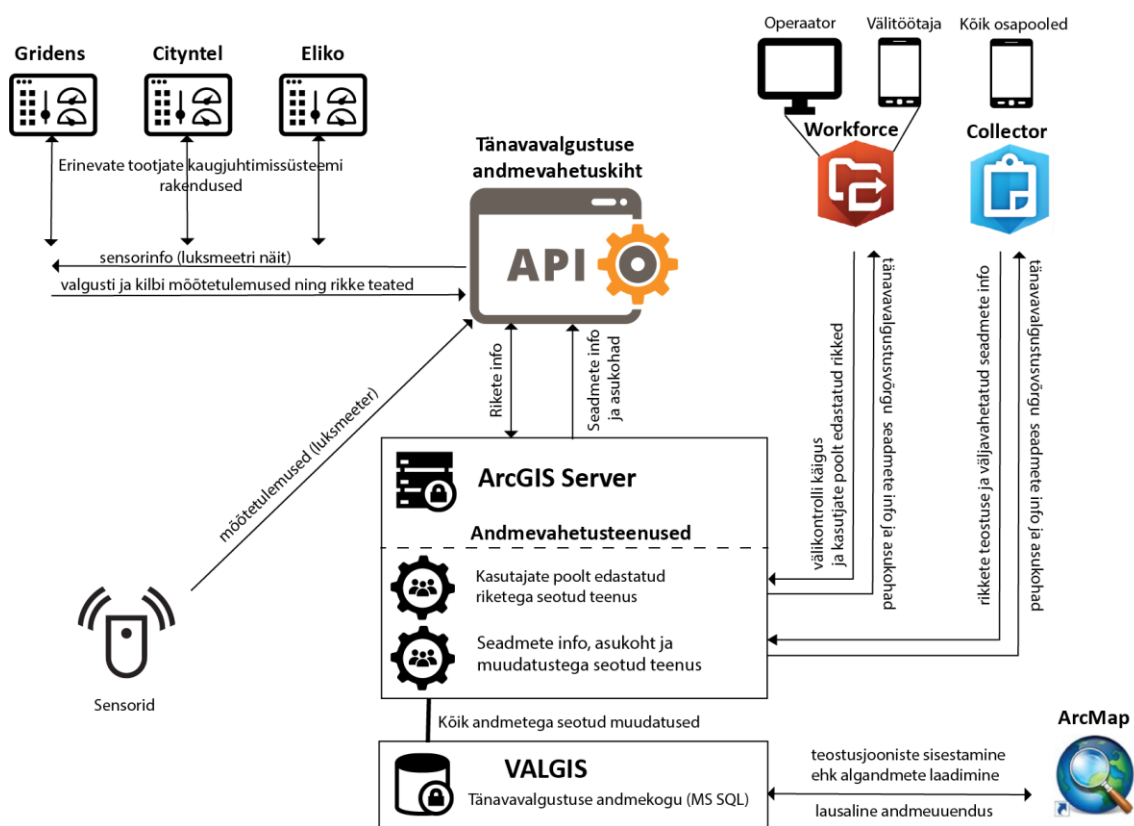
Tartu linnal ja Harku vallal on olemas juba tarkvaralahendus, kuhu on integreeritud kogu tänavavalgustuse võrgustik ning ka erinevad kaugjuhtimise süsteemid. Tartu linna puhul on sellise andmevahetusteenuse ja kogu tänavavalgustusvõrgu andmekogu nimetuseks VALGIS. Tartu linn viis läbi koos Harku vallaga 2017. aastal innovatsioonihanke tänavavalgustuse haldamise ja juhtimise infosüsteemi integreerimiseks üle andmevahetuskihi. Innovatsiooniprojekti elluviimist toetas Euroopa Liit Euroopa Regionaalarengu Fondi vahenditest. Tegemist on geoinfosüsteemil ehk GIS põhineva inventariseerimise ja vara haldamise lahendusega, kuhu on inventariseeritud kogu tänavavalgustusvõrgu andmestik. [46] Tartu Linnavalitsuse sõnul osutus innovatsiooniprojekt edukaks ning lisaks on võimalik projektis loodud liides kasutusele võtta ka kõikidel kohalikel omavalitsustel.

Kuna infot vahetatakse üle REST API rakendusliidese, siis eraldi lisaseadmeid ei ole vaja. Tänavavalgustuse kaugjuhtimise süsteemidel peab kasutama rakendusliidest, mis võimaldaks erinevatel tarkvaraprogrammidel omavahel suhelda. Teisisõnu peab KOV hangetes nõudma välisvalgustuse kaugjuhtimise süsteemides API olemasolu, mis võimaldaks tulevikus ühendada erinevad kaugjuhtimise süsteemid ühtsesse programmi.

Joonisel 2.12 on toodud lihtsustatud Tartu tänavavalgustusvõrgu andmevahetusteenuse ülesehitus. Sealt on näha, et kogu andmevahetus käib teenusepõhiselt, mis tähendab sõltumatust konkreetsest rakendusest, sest kogu tänavavalgustusvõrgu andmeid hoitakse keskses andmekogus – Microsofti SQL serveris (VALGIS). Andmekogus olevad tänavavalgustusvõrgu andmed kuvatakse Esri poolt pakutavale ArcMapi ehk geoinfosüsteemi (GIS) kaartidel. Tänavavalgustuse andmekogust jagatakse infot erinevate rakenduste vahel üle REST API ehk rakendusliidese, mis võimaldab erinevatel tarkvaraprogrammidel omavahel suhelda. Lihtsustatult sõnastades, infot vahetatakse üle API liidese, mis vahendab infot kõigi tänavavalgustuse (Tartu

puhul 3 erineva) kaugjuhtimise süsteemide ja andmekogu vahel (VALGIS). Lisaks on olemas erinevad rakendused nagu näiteks *Workforce*, kust operaator ja välitöötaja saavad infot rikete ning tänavavalgustusvõrgus olevate seadmete kohta ja *Collector*, kust kõik osapooled saavad infot tänavavalgustusvõrgu kohta. Rakenduste ja VALGIS-e vahel käib andmevahetus läbi andmevahetusteenuste ArcGIS serveri. Samamoodi jõuab ka partneritele info läbi andmevahetusteenuste (ArcGIS server).

Tartu linna koostöös Harku vallaga läbiviidud projekt viidi ellu kuue kuu jooksul ning maksumuseks ilma käibemaksuta oli 29 000 eurot [47]. Enne projektiga alustamist tuli tänavavalgustusvõrgu andmed restruktureerida ning korrastada.



Joonis 2.12 Tartu linna tänavavalgustusvõrgu andmevahetusteenuse lihtsustatud ülesehitus [48]

Tartu Linnavalitsuse sõnul VALGIS kiirendab ning lihtsustab oluliselt tänavavalgustuse spetsialistide kui ka tänavavalgustuse hooldajate tööd, sest VALGIS tagab ülevaate remonttöödest, plaanilistest hooldustöödest ning ka riketest. Lisaks saadav kasu uute tänavavalgustusprojektide loomisel, kus välisvalgustuse projekterijatele antakse piiratud ligipääs VALGIS-le. Projekterija saab kätte andmebaasist vajalikud andmed tänavavalgustusvõrgu kohta nagu näiteks toitekilpide või juhtimiskilpide asukohad ning kilpide seisukorrast nii seest kui väljast piltide abil. Tänu sellele hoitakse nii projekterija kui ka Tartu tänavavalgustuse spetsialistide aega kokku.

3. VÄLISVALGUSTUSE ARENGUKAVA

3.1 Välisvalgustuse arengukava vajadus

Eestis Vabariigi seadustes ei ole nõutud, et kohalikul omavalitsusel peab olema välisvalgustuse arengukava. Põhjalikult ning asjatundlikult koostatud arengukava üldiseks eesmärgiks on KOV-i tasakaalustatud areng pikemaks perioodiks. Soovitavalt on kohaliku omavalitsuse arengukava minimaalseks pikkuseks kaks KOV volikogu valitsemise aega ehk vähemalt 8 aastat, et luua eeldused kohaliku omavalitsuse järjepidevaks arenguks ning maandada valimisvõitlustega paratamatult kaasnevaid populistlike lubadustega seotud riske. [49]

Praegusel ajal, kus leedvalgustus on nii sise- kui ka välisvalgustuse valdkonnas on eriti kiirelt arenenud, on tulnud koos valgustuse arenguga palju erinevaid juhtimissüsteeme. Märkimisväärne areng on olnud just tänavavalgustuse valdkonnas viimase kümne aasta jooksul. Selle lühikese aja jooksul ei ole välja kujunenud erapooletuid nõuandeid, milliseid valgusteid ja juhtimissüsteeme tuleb kasutada, kuidas lahendada kultuuri objektide, hoonete ja muude rajatiste fassaadide valgustus vastavalt kindlale piirkonnale. Kiire välisvalgustuse arengu tõttu peaksid kohalikud omavalitsused paika panema strateegia või arengukava, kuidas liikuda edasi omavalitsusele kuuluva välisvalgustusvõrguga.

Välisvalgustuse arengukava eesmärgiks peaks olema paika panna järgmise kümne või enam aastate välisvalgustuse edasiarendamine. Kui kohalikus omavalitsuses on olemas tänavavalgustuse spetsialistid, siis nende jaoks on kindlasti arusaadav ja iseenesest mõistetav, millal ja kuidas tuleb välisvalgustust renoveerida ning edasi arendada. Kuid kuna tänavavalgustus mõjutab kõiki kohalikus omavalitsuses elavaid inimesi ja mängib olulist rolli liikluse ohutuse tagamises, siis on oluline, et kõikidel kohaliku omavalitsuse kodanikel on võimalus teada saada, mis seis on olemasoleva tänavavalgustusega, kuidas liigutakse tänavavalgustuse arendamises ja renoveerimises tulevikus edasi. Välisvalgustuse arengukava aitab nii KOV liikmetel kui ka kodanikel paremini aru saada edasistest investeeringutest välisvalgustusse ning investeerimise vajadustest.

Paljudele inimestele kuuldes sõna arengukava, tekib esimese asjana mõte, et tegu on kantseliitliku dokumendiga, mille lugemine võib lugeja jaoks tunduda väga igav ning rutiinne. Seetõttu on soovitatav kaasata tänavavalgustuse arengukava koostamisse mitte ainult tänavavalgustuse spetsialiste, mis on kohustuslik, vaid ka muude valdkondade inimesi, kes oskavad asja näha ka teisest vaatevinklist. [50]

3.2 Eeldused arengukava koostamiseks

Kui kohalikul omavalitsusel on soov saada välisvalgustuse arengukava, siis on selle koostajatele vaja piisavalt palju sisendeid, et saaks arengukava koostamisega alustada. Soovitatav on KOV-il kindlaks määrata erinevate sisendite andmiseks arengukava koostajatele kontaktid, kelle käest saab sisendi. Enne arengukava tellimist välisvalgustuse spetsialistidelt, peab kohalik omavalitsus koostama orienteeruva eelarve välisvalgustusse investeerimiseks. Selleks, et saaks eelarve kokku panna, tuleb KOV kõigepealt paika panna välisvalgustuse prioriteedid näiteks järgmistes punktides:

- piirkonnad (linnaosad, asulad, vallad, elamurajoonid, tööstusrajoonid jne);
- tehnoloogiad juhtimissüsteemi osas (mida kasutatakse ning mis juhtimissüsteemiga soovitakse edasi minna);
- laadimisvõimekus tänavavalgustuse võrgust;
- turism;
- probleemkohad (amortiseerunud mastid, ülekaiguradade valgustus, rikked jne).

Prioriteetide järjekorda panemisel tuleb panna tähele, et igal kohalikul omavalitsusel on erinevad prioriteedid ja probleemid, seega magistritöös ei ole koostatud nende kindlat järjestust ja teatud arengukava osad ei pruugi üldse iga kohaliku omavalitsuse jaoks sobidagi. Näitena võib välja tuua, et Haapsalu on kuurortlinn, kus liiklustihedus ja külastajate arv kasvab oluliselt just suvel, mil tänavavalgustus põleb väga vähest aega, aga Tartu on üliõpilaslinn, kus on aastaringselt koguaeg tihe liiklus ning rahvast tänavatel palju liikumas ehk tänavavalgustuse hämardamine ja ka juhtimine mängib tunduvalt olulisemalt rolli.

Lisaks tänavavalgustuse prioriteetide paika panemisel peaks kajastama ka omavalitsuse üldise arengukava prioriteete ehk kuidas ühtib KOV-i üldise arengukava prioriteedid tänavavalgustuse arengukavaga nagu on toodud tabelis 3.1.

Tabel 3.1 Kuidas omavalitsuse üldine arengukava prioriteetidid ühtivad tänavavalgustuse arengukavaga

Üldine KOV arengukava	KOV tänavavalgustuse arengukava
Kooli- ja teadmusasula (haridus) [51]	Tagada tuleks lasteaedade, koolide ja ülikoolide ümbruspiirkondades tänapäevane nõuetekohane ja standarditele kehtiv tänavavalgustus ning ülekäiguradade valgustus.
Nutikas ettevõtlusasula (kultuur ning majandus) [51]	Erinevate turismiatraktsioonide ümbruspiirkondade tänavavalgustuse renoveerimine ning turismiatraktsioonide muutmine läbi valgustuse veelgi atraktiivsemaks.
Inspireeriva elukeskkonnaga asula (majandus ning keskkonnakaitse) [51]	Sõiduteede, tänavate, ristmike, ülekäiguradade valgustuse väljaehitamine või renoveerimine. Vanade amortiseerunud raudbetoonmastide asendamine uute puit- või metallmastidega. Tänavavalgustuse juhtimissüsteemide arendamine.
Hooliv asula (sotsiaalne kaitse ning tervishoid) [51]	Kergliiklusteede ning ülekäiguradade valgustamine.
Loov asula (kultuur) [51]	Erinevate hoonete, jõe äärte, sildade, rajatiste jne valgustamine.

3.3 Arengukava osad

Arengukava osad on välja kujunenud vestluses Tartu linnaga, kes soovib endale saada välisvalgustuse arengukava, kui ka eelnevates peatükkides kajastatud teemasid. Välisvalgustuse arengukava aruteludesse Tartu linnaga oli kaasatud Tartu Linnavalitsuse liikmeid, linna tänavavalgustuse hooldaja Elektrilevi OÜ esindajaid ning TalTechi sise- ja välisvalgustuse eksperte.

Arengukava osadeks võiksid olla:

1. olemasoleva olukorra kirjeldus;
2. valgustite väljavahetamine uute energiatõhusate leedvalgustite vastu;
3. tänavavalgustuse liinide korrastamine;
4. amortiseerunud mastide asendamine;
5. välisvalgustuse juhtimissüsteemid;
6. kaamerate, andurite ja loendurite liitmine tänavavalgustuse võrguga;
7. laadimisseadmete vajadus ning liitmine tänavavalgustuse võrguga;
8. võõrtarbijate toide tänavavalgustuse võrgust;
9. linnale kuuluvate hoonete ja rajatiste fassaadide valgustamine tänavavalgustuse võrgust ning pühadeaegne valgustus;
10. eelarve.

3.3.1 Olemasolev olukord

Olemasoleva olukorra kajastamine arengukavas, annab hea ülevaate KOV-i tänavavalgustuse seisukorrast. Selleks, et arengukava koostajad saaksid kajastada olemasolevat olukorda, peab kohalik omavalitsus kokku koguma kõik andmed, mis on olemas tänavavalgustusvõrgu kohta. Infot on võimalik saada näiteks KOV-i tänavavalgustuse spetsialistidelt, arhiividest, tehtud projektidest ning tänavavalgustusvõrgu haldajalt.

KOV-il on vaja ära kaardistada ja kokku koguda mahud ning analüüsida tänavavalgustuse seisukorda järgneva kohta:

- kasutusel olevate valgustite tüübid (metallhalogeniid valgustid, kõrgrõhu-naatrium lambid, leedvalgustid jne);
- kasutusel olevate mastide tüübid (raudbetoon mastid, puitmastid, metallmastid);
- võrguettevõtjaga mastidel olev tänavavalgustusvõrk, mastide tüübid;
- toite- ja vahekilbid, seisukord (auditeeritud või mitte), kas ja kui palju kilpe vajab korrastamist;
- kasutusel olevad tänavavalgustusvõrgu toite liinid või kaablid (paljasõhuliin, õhukaabel, maakaabel ja hoonesisene kaabel);
- ülekäiguradade valgustus;
- kasutusel olevad juhtimissüsteemid.

3.3.2 Valgustite väljavahetamine uute energiatõhusate leedvalgustite vastu

Selleks, et arengukavas välja tuua, mis piirkondades tuleks alustada esmalt vanade valgustite väljavahetamist uute leedvalgustite vastu, on vaja mitmeid sisendeid nagu näiteks:

- prioriteetsed piirkonnad, linnaosad, ristmikud, kus on vanad metallhalogeniid või kõrgrõhu-naatrium valgustid ning need ka üles kaardistada. Vanu valgusteid peaks välja vahetama kulumi alusel. Lisaks oleks vaja analüüsida kohapealset liiklussagedust ja liiklustiheduse kasvu. Samuti oleks hea, kui oleks olemas kergliiklusteede uuringud või analüüsid. Lisaks tuleb need piirkonnad ajaliste etappidena kirja panna, mida tehakse näiteks 2, 5 või 10 aasta pärast;
- samamoodi tuleb paika panna ülekäiguradade ja suuremate ristmike renoveerimise etapid. Esmalt tuleks renoveerida valgustus ülekäiguradadel ja ristmikel, kus on tihedam liiklus ning on palju ohtlikke situatsioone või isegi õnnetusi;

- uute tööstusrajoonide ja/või elamurajoonide arenduste plaanid ning nende rajoonide ehituse planeeritav ajakava ning planeeringu dokumentatsioon;
- KOV peaks arvestama uute leedvalgustite korral, kas oleks võimalus ka kaugemas tulevikus, kui liiklustihedus kasvab või väheneb, kas tõsta valgustusklassi ühe klassi võrra üles- või allapoole;
- kaardistada tuleks turistide tõmbeatraktsioonid (muuseumid, linnused, varemed, rannapromenaadid, ajaloolised hooned jne) ning turistide marsruudid, mis viivad tähtsamatele objektidele;
- valgustite energiakulu on vaja teada tänavate või piirkondade kaupa.

3.3.3 Tänavavalgustuse liinide korrastamine

Paljasõhuliinide õhukaabel- või maakaabelliinide vastu vahetamise korral on vaja hinnata tänavavalgustusvõrgu seisu ja eluiga. Sellisest hinnangust lähtuvalt saab paika panna etapid, mis lõikudel tuleb esimesena välja vahetada õhu- või kaabelliinid. Tänavavalgustusvõrgu seisukorrast teab ilmselt kõige paremini tänavavalgustusvõrgu hooldaja. Kui on teada, mis lõikudel, mis etapis on mõistlik liine välja vahetada, siis peaks KOV suutma vastata järgmistele küsimustele:

- Milliste liinidega asendada?
- Kas võrk muutub? Kui võrk muutub, siis kuidas hakkab uus võrk välja nägema?

3.3.4 Amortiseerunud mastide asendamine

Amortiseerunud mastide asendamise analüüsimiseks on vaja järgnevat infot kohalikul omavalitsuselt:

- amortiseerunud mastide kaardistatud ülevaadet masti tüübi järgi ning ka kuuluvuse järgi (KOV-ile kuuluv mast või võrguettevõtjale kuuluv mast);
- tänavate/piirkondade prioriteete ehk millistel lõikudel tuleks esmalt amortiseerunud mastid välja vahetada;
- nõudeid uutele mastidele (kõrgused, värvid, materjal);
- kaardistatud ülevaadet, kuhu mis tüüpi mastid peaksid tulevikus tulema;
- arendatavate piirkondade uuringuid.

Lisaks võib olla, et asulates on tänavavalgustid kinnitatud hoonete külge, mistõttu tuleks samuti kaardistada üles sellised lõigud, kus tänavavalgustid on kinnitatud hoonete külge tänavavalgustuse ankru abil või on valgustid riputatud trossidele. Sellistel lõikudel peab kohalik omavalitsus hindama, kas on soov olemasolev lahendus asendada mõne muu lahendusega ning millist lahendust sellisel juhul võiks tulevikus kasutada.

Mastide valiku puhul võiks kohalik omavalitsus mõelda järeleandvate ehk lööke pehmendavate mastide peale. Lööke pehmendavaid maste tuleks kasutada uutes või renoveeritavates paigaldistes järgmistes olukordades:

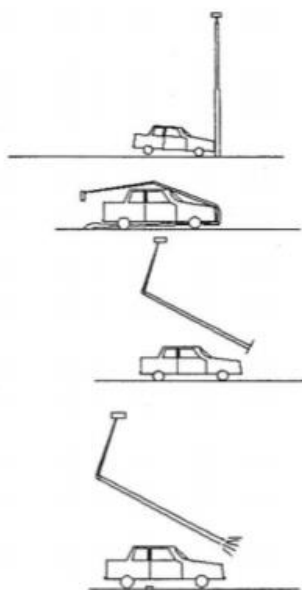
- tiheda liiklusega sõiduteedel või tänavatel, kui masti taga on elava koormusega kergliiklustee;
- muudel vilka liiklusega sõiduteedel või tänavatel, kui masti taga, suurel osal valgustatava tee pikkusest on üsna lähedal kas mets, hoone, kaljusein või muud ohtlikud tõkked. [31]

Lööke pehmendavate maste on kolme sorti:

- järeleandvad mastid, mis kokkupõrke korral paindub auto alla ja peatab auto. Sobib linnas kasutamiseks, et mitte tekitada eraldi juurde ohtlike situatsioone;
- eralduvad mastid, mis autoga kokkupõrke korral eraldub masti jalandilt. Sellise masti korral jätkab auto kokkupõrganud masti korral veel liikumist. Sobib kasutamiseks, kui sõidutee ääres puuduvad sügavad ja järsud kraavid, ohtlikud takistused ehk sõidutee ääres peaks olema kas haljasala või põld, kus puudub liiklus;
- murduvad mastid, mis autoga kokkupõrke korral masti alaosast murduvad. Murduvate mastid aeglustavad auto liikumist, kuid ei peata täielikult. [31]

Tiheda liiklusega sõiduteedel või tänavatel, kus liiklustihedus on üle 1000 auto/h ning kiirus üle 50 km/h on tekkinud vajadus asendada vanad jäigad tänavavalgustusmastid lööke järeleandvate ehk pehmendavate mastidega. [31]

Joonisel 3.1 on kujutatud lööke pehmendavate mastide põhimõtteid.



Joonis 3.1 Lööke pehmendavad mastid [31]

3.3.5 Välisvalgustuse juhtimissüsteemid

Juhtimissüsteemi osas on kohalikul omavalitsuselt vaja just sisendit, mis juhtimissüsteemid on kasutusel ning kuidas on omavalitsus sellega rahul. Vaja on ka sisendit selle osas, millise või milliste juhtimissüsteemidega on soov tulevikus edasi liikuda. Juhtimissüsteemide osas tuleks tähele panna ka seda, et linn ja vald on kaks erinevat piirkonda. Vallas on eraldi liitumispunktid ja eraldi juhtimissüsteemid, näiteks hämaraanduritega juhtimissüsteem, sest vallas on tavaliselt vahemaad suuremad ja siis peab kohtjuhtimise süsteemi korrasoleku kontrolliks läbima pikki vahemaid. Sellest lähtuvalt oleks soovituslik kasutada valdades kilbikontrolleriga kaugjuhtimise süsteemi, mis võimaldab tänavavalgustuse hooldajal saada infot kohapeale sõitmata juhtimissüsteemi korrasolekust. Linnades on soovituslik kasutada valgustikontrolleritega ja kilbikontrolleritega juhtimissüsteemi. Vallas ei ole paljudel juhtudel tänavaklassid määratletud, nagu peaks olema. Linnas on tavaliselt valgustusklassid määratletud ja linna puhul arvestatakse, kuidas ühendada olemasolevaid juhtimissüsteeme uue piirkonnaga. Vallas on tihtipeale määratletud ainult suuremad sõiduteede trassid.

Juhtimissüsteemide osas peab kohalik omavalitsus koostama riskianalüüsi. Riskianalüüs peaks kajastama seda, et kui juhtimissüsteemide pakkuja peaks pankrotti minema, siis kohalik omavalitsus peab suutma üle võtta juhtimissüsteemi haldamise enda peale või suutma juhtimissüsteemi haldamise andma edasi kellelegi teisele (näiteks tänavavalgustuse hooldajale). Selle eesmärk on ära hoida olukord, kus kohaliku omavalitsuse sõiduteed ja tänavad jäävad valgustamata, kuna ei osata juhtimissüsteemi kasutada.

Tänavavalgustuse juhtimissüsteemi osas tuleb KOV-il paika panna juhtimissüsteemi roll, kas selle ülesandeks on saavutada ainult täiendavat säästu elektrienergia arvetelt ehk valgustite hämardamise roll või on eesmärk jälgida valgustite seisundit. Kui eesmärk on seirata valgustite seisundit, siis on mõistlik juhtimissüsteemi osas kasutada valgustikontrollereid.

Üles tuleb kaardistada, millistes piirkondades missugune juhtimissüsteem on kasutusel ning millistesse piirkondadesse näeb kohalik omavalitsus juhtimissüsteemi arendamist esmajoones. Juhtimissüsteemide osas on vaja arendavate piirkondade arenguvisioni.

3.3.6 Kaamerate, andurite ning loendurite liitmine tänavavalgustuse võrguga

Kohalikul omavalitsuselt tuleb koostada kasutatavate kaamerate, andurite ning erinevate loendurite ülevaade ja need kaardistada, kui need on olemas. Seejärel tuleks KOV-il välja tuua andurite ja loendurite põhjal tehtud statistika ning kas ja kuidas neid kasutatakse. Kui on teada,

millist statistikat anduritelt oodatakse või tehakse, siis on võimalik arengukavas analüüsida tulevikus erinevate andurite paigutamise vajadust. Kui statistikat kogutud andmete põhjal ei tehta, siis ei ole mõistlik ka andureid panna, sest tegemist on siis lihtsalt kasutu investeeringuga, mis ei too kasu omavalitsusele.

Kui KOV-il on soov lisada kaameraid tänavavalgustusvõrku, kus kasutusel valgustipõhine juhtimine ehk valgustikontrolleritega juhtimissüsteem, siis tuleb tähele panna, et kaamerapilti ei saa edastada valgustikontrolleritega. Seda sellepärast, et valgustipõhise juhtimise puhul kasutatavad kommunikatsioonitehnoloogiad ei võimalda kaamerapildi edastamist, kuna nende andmeedastuse kiirus ei ole piisav. Kaamerate liitmine tänavavalgustusvõrku eeldab eraldi kommunikatsioonitaristut.

Kaamerate, andurite ning loendurite puhul tuleks paika panna ka erinevad tehnilised tingimused, mida omavalitsus nendelt ootab. Hea oleks, kui on tehtud statistikat järgnevate punktide osas:

- liikluskahjud tänavavalgustuse taristule;
- sagedased liiklusõnnetuste kohad;
- vandalism ja kuritegevus.

3.3.7 Laadimisseadmete vajadus ning nende liitmine tänavavalgustuse võrguga

Tänavavalgustusvõrgust hakata elektriautosid laadima ei tundu mõistlik lahendus. Elektriautode aeglased laadijad vajavad voolu 13 kuni 16 A, aga keskmine tänavavalgustuse liitumiskilbi peakaitse on 32 A ja 40 A. See tähendaks tänavavalgustusvõrgu ülesehitamist hoopis teistmoodi, see nõuaks liitumiskilpides kordades suuremaid peakaitsmeid ning ka liinide ja kaablite ristlõiked peaksid olema suuremad. Lisaks tuleb arvestada, kui palju voolu suudab läbi lasta võrguettevõtjale kuuluv võrk kuni liitumiskilbini. Teisti öeldes, sellise lahenduse välja ehitamise tasuvusaeg on väga pikk. Kui KOV-il on soov hakata ikkagi elektriautode laadimisvõrgustikku rajama, siis oleks esmalt vaja teha prognoos, milline oleks kohalikus omavalitsuses elektriautode lisandumine ca 10 kuni 15 aasta vaatega.

Ilma suuremate ümberehitusteta oleks võimalus tänavavalgustuse võrgust laadida näiteks elektrijalgrattaid, elektrirollereid ja juhtmevaba laadimisega nutitelefone. Kui kohalikul omavalitsusel on soov selliseid lahendusi tänavavalgustuse võrgust toita, tuleks esmalt hinnata olemasoleva tänavavalgustusvõrgu võimekust ning uurida, millistesse piirkondadesse oleks mõistlik selliseid lahendusi pakkuda. Samuti tuleks teha riskianalüüs ning mõelda, kuidas lahendada juriidilised probleemid.

3.3.8 Võõrtarbijate toide tänavavalgustuse võrgust

Võõrtarbijate all mõeldakse erinevad tarbijaid nagu näiteks:

- liiklusfoorid;
- infotablood ühistranspordi peatustes;
- parkimisautomaadid;
- reklaamid;
- jm.

Võõrtarbijate kohta tuleb koostada ülevaade ja üles kaardistada need tarbijad, mis saavad oma toite tänavavalgustuse võrgust. Paika tuleb panna, kellele kuuluvad võõrtarbijad ja kuidas on lahendatud võõrtarbijate poolt tarbitud elektrienergia eest tasumine. Lisaks oleks vaja teada võõrtarbijate võimsusi ning tööaegasid, et teada, kui palju koormavad võõrtarbijad tänavavalgustuse võrku ning kas ja kui palju on võimalik neid veel lisada. KOV peaks suutma vastata sellele, kuidas on lahendatud erinevate tarbijate järelevalve? Kui omavalitsusel on olemas ka võõrtarbijate lisandumise prognoos ca 10 aastase vaatega, siis tuleks ka see edastada arengukava koostajatele.

3.3.9 Linnale kuuluvate hoonete ja rajatiste fassaadide valgustamine tänavavalgustuse võrgust ning pühadeaegne valgustus

Hoonete ja rajatiste fassaadide valgustamisel on oluline saada linnaarhitektilt ning kunstnikult sisendit, milline on omavalitsuse kuvand või milline see peaks tulevikus olema. Valgustusega on võimalik väga lihtsa moega linna identiteeti kujundada. Selleks, et luua ühtne kuvand ja identiteet omavalitsusele, on mõistlik nõuda omavalitsusel nii riigile, ettevõtetele kui omavalitsusele kuuluvatelt hoonetelt, et hoonete fassaadide valgustusel oleks ühtne stiil. Nii luuakse ühtne keskkond. Selline lahendus muudab omavalitsuse inimeste jaoks atraktiivsemaks ja suuremaks tõmbepunktiks.

Vaja on KOV-il koostada järgnev info arengukava jaoks:

- hoonete ja rajatise fassaadi valgustuse loend ning nende kaardistus;
- pühadeaegne valgustus (jõuluvalgustus) üles kaardistada;
- hinnata, kas olemasolevad hoonete ja rajatise fassaadid tekitavad valgusreostust ning koostada nende kohta loend.

Samuti võiks kohalik omavalitsus mõelda parkide, kergliiklusteede, sildade ja jõe ümbruste valgustamisele, et luua linna kuvandit. Hea näitena võib välja tuua Pärnu linna, kus Pärnu jõe

mõlemal kaldal, kahe silla vahel on tervisespordiraja ehk Jaanson'i raja valgustus lahendatud disainitud aerukujuliste valguspostidega. Selline lahendus loob jõe ääres sõites kõigile selge kuvandi linnast. Näitena võib välja tuua ka Tartu kaarsilla valgustuse, mida kirjeldati peatükis 1.4. Tartu võiks võtta üheks prioriteediks kõik sillad samamoodi ära valgustada, mis Tartu linnas Emajõe ületavad.

3.3.10 Eelarve

Arengukavas tuleb kajastada eelarvet, kui palju kohalik omavalitsus iga aasta suunab välisvalgustuse arenguks. Samuti tuleks kajastada erinevaid toetuste ja projektide võimalusi, kust oleks võimalik saada kaasrahastust välisvalgustuse arendamiseks. Ilma arengukavas kehtestatud prioriteete arvestamata pole kohalikul omavalitsusel võimalik eelarvet muuta, koostada ning ka vastu võtta [31]. Eelarve võiks olla koostatud iga aasta kohta, kus on välja toodud prioriteetide järjestus ja kui palju raha suunatakse igal aasta nii omavalitsuse vahenditest ehk omaosalusest ning kui suur osa toetusest vastavasse investeeeringusse.

4. VÄLISVALGUSTUSE HANGETE LÄBIVIIMINE

4.1 Standardid ja normdokumendid

Standardid ja muud normdokumendid on tegelikult vabatahtlikud suunised ehk nende kasutamine ei ole kohustuslik. Standardeid loovad eraõiguslikud standardiorganisatsioonid ja huvi standardite loomise kohta tuleb tavaliselt huvirühmadelt, kes näevad standardite vajalikkust. Kuigi standardid ning normdokumendid on vabatahtlikud, aitab nende nõudmine tagada teenuste ja toodete kvaliteeti, ohutust ning usaldusväarsust. [52]

Välisvalgustuse hangete läbiviimisel on oluline nõuda, et välisvalgustuse projekti koostamisel kui ka ehitustööde läbiviimisel tehakse töid kehtivate standardite alusel. Tähele tuleb panna standardite ja normdokumentide osas, et kohalik omavalitsus ei nõuaks ebavajalikke asju, mille täitmine on eesmärgitu või hoopis võimatu.

Standardid ja nõuded, mida tuleb kohalikul omavalitsusel kindlasti nõuda töövõtjalt uue välisvalgustuse rajamisel, projekteerimise ja ehitustööde hangete korral, on toodud järgnevalt:

- CEN/TR 13201-1:2014/AC:2016 Teevalgustus. Osa 1: Valgustusklasside valiku juhised [22];
- EVS-EN 13201-2:2015 Teevalgustus. Osa 2: Toimivusnõuded [45];
- EVS-EN 13201-3:2015 Teevalgustus. Osa 3: Toimivuse arvutamine [53];
- EVS-EN 13201-4:2015 Teevalgustus. Osa 4: Valgusliku toimivuse mõõtemetodid [54];
- EVS-EN 13201-5:2015 Teevalgustus. Osa 5: Energiatõhususnäitajad [55];
- EVS 935-1:2017 Jalakäijate ülekäiguradade valgustamine lisavalgustusega. Osa 1: Kvaliteedi üldnäitajad ja juhiväärtused [56];
- EVS 935-2:2017 Jalakäijate ülekäiguradade valgustamine lisavalgustusega. Osa 2: Arvutamine ja mõõtmine [57];
- EVS-EN 50160:2010+A1:2015 Avalike elektrivõrkude pingetunnussuurused [58];
- EE 10421629-JV ST 5-6 0,4 – 20 kV võrgustandard [59];
- EVS-HD 60364-4-41:2017 Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-41: Kaitseviisid. Kaitse elektrilöögi eest [60];
- EVS-HD 60364-4-43:2010 Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-43: Kaitseviisid. Liigvoolukaitse [61];
- EVS-EN 50160:2010 Avalike elektrivõrkude pingetunnussuurused [62];
- EVS 843:2016 Linnatänavad [63];
- ET-2 0102-0329 Eesti kliima teatmik ehitajatele [64];
- EVS 932:2017 Ehitusprojekt [65];

- „Nõuded ehitusprojektile“ Majandus- ja taristuministri poolt 17.07.2015 vastu võetud määrus nr 97 [66];
- „Ehitusseadustik“ Riigikogu poolt 11.02.2015 vastu võetud seadus [67];
- EVS 613:2001 Liiklusmärgid ja nende kasutamine [68];
- „Elektriohutuseseadus“ Riigikogu poolt 24.01.2007 vastu võetud seadus [69].

Eelnevale standardite ja normide loetelule peab kohalik omavalitsus kindlasti juurde lisama omavalitsuse enda tänavavalgustuse tehnilised tingimused (nende olemasolul), kaevetööde eeskirja, teede ja tänavate sulgemise eeskirja ning ehitusmääruse.

Olemasoleva tänavavalgustuse renoveerimisel tuleb nõuda samu standardeid ja normdokumente. Kui uued leedvalgustid pannakse näiteks vanade olemasolevate omavalitsusele või võrguettevõtjale kuuluvate mastide otsa, kus mastide vahe ei ole ühtlane, siis ei ole võimalik saavutada standardites nõutud välisvalgustust. Sellest lähtuvalt tuleb hanke dokumentides nõuda, et välisvalgustuse lahendus oleks võimalikult ligilähedane standardites toodule.

4.2 Välisvalgustite nõuded

Nõuded, mida kohalik omavalitsus peaks nõudma välisvalgustuse projekteerimise hangetes, et saada energiatõhusad leedvalgustid, on loetletud järgnevalt:

1. uued leedvalgustid peavad omama kehtivat CE ning ENEC märgist [37]. CE märgis on sertifitseerimistähis, mis näitab toote vastavust Euroopa Majanduspiirkonna keskkonnakaitse-, tervise- ning ohutusnõuetele [70]. ENEC märgis on elektritoodete kvaliteedi märk, mis näitab elektritoodete kehtivust Euroopa standarditele [71]. Teisisõnu need märgised tagavad, et valgustid kehtivad Euroopa Majanduspiirkonna nõuetele ning leedvalgustid on kvaliteetsed ja kehtivad Euroopa standarditele;
2. leedvalgustite korpus peab olema koos jahutuselemendiga valmistatud ilmastikukindlast materjalist – alumiiniumist, samaväärsest või paremate soojusvahetuslike omadustega metallist. Selle tingimuse eesmärgiks on tagada loomulik soojusvahetus. Märkida tuleb, et sundjahutuse kasutamine leedvalgustis ei ole lubatud;
3. mereäärsetesse piirkondadesse paigutatavad valgustid, mis jäävad merepiirist kuni poole kilomeetri kauguseni, tuleb nõuda, et valgustid oleksid kaitstud soolast tingitud elektrokeemilise korrodeerumise vastu. Siinkohal tuleb omavalitsusel kindlasti nõuda vastavat sertifikaati;

4. valgustite tehniline lahendus peab vastama Eesti kliimatingimustele. Leedvalgustis peab säilima mikrokliima, niiskus ei tohi sattuda läbi tihendite valgusti korpuse sisse ning kondenseeruda;
5. leedvalgusti tunnustoiivusnäitajad peavad olema tagatud keskkonnatemperatuuril vahemikus -25 kuni +25 °C. Lisaks peavad leedvalgustid taluma temperatuure -40 kuni +50 °C;
6. leedvalgusti konsooli kinnitus peab tagama tugevamate tuulte korral valgusti muutumatu asendi konsoolil;
7. leedvalgustite ehitus peab olema selline, et valgusti korpus, leedmoodul ning elektroonika valgustis oleksid ühendatud sama potentsiaali alla ja tagatud oleks avatud valgusti korral nii elektroonikale kui ka leedmoodulile kaitse elektrostaatilise ülepinge eest;
8. leedvalgustitesse peab olema tehase poolt paigutatud termokaitse, mis tagaks valgusti tõrgeteta eluea; [37]
9. leedvalgustid peavad töötama vahelduvooluga ja nimipinge peab olema 230 V ning valgustite nimitalitus peab olema tagatud vahemikus -15 kuni +10% nimipinge väärtusest kehtivale standardile EVS-EN 50160:2010 Avalike elektrivõrkude pinge tunnussuurused. Piiratud talitus leedvalgustil peab olema tagatud vahemikus 180 V kuni 277 V ning võimsustegur $\cos \varphi$ peab olema vähemalt 0,9;
10. leedvalgusti elektroonikakomponendid peavad vastama I impulsspinge taluvuskategooriale ehk valgustid peavad olema kaitstud liigpingepiirikutega liig- ja impulsspingete eest. Kasutada tuleb liigpingepiirikuid kaitseastmega 1,5 kV, mis paigutatakse kas valgusti liiteseadmesse või eraldi plokina masti korpusesse; [72]
11. leedvalgustite valgusviljakus täisvõimsusel töötades peab olema minimaalselt 110 lm/W ja CRI peab olema vähemalt 70 [37]. CRI (*color rendering index*) puhul on tegemist mõõduga, mis näitab seda, kuidas näevad värvid valgusallika all välja võrreldes päikesevalgusega. CRI mõõt on vahemikus 0 kuni 100 ja täiuslik on 100, mis näitab, et valgusallika all olevad värvid tunduvad samad, mis loodusliku päikesevalguse korral [73];
12. leedvalgustitel peab kindlasti olema tootja poolt väljastatud paigaldus- ning hooldusjuhendid, mis siis on kas eesti- ja/või inglisekeelsed;
13. leedvalgustite eluiga peab olema minimaalselt 100 000 töötundi ning valgustid peavad omama vähemalt 5 aastat garantiid. Varuosade kättesaadavus peab olema minimaalselt 10 aastat valgusti paigaldusajale järgneva aja jooksul;
14. leedvalgustite kaitseaste võõrkehade, tolmu- ja veekindluse vastu peab olema minimaalselt IP66 ning löögikindlus vähemalt IK08. [37]

Valgustite puhul tuleb hangetes nõuda, et ehitaja või juhtimissüsteemide paigaldaja ei või valgusteid lahti võtta välistingimustes, sest siis pääseb valgusti korpusesse niiskus ning nii kaotatakse valgustigarantii. Valgustit võib lahti võtta ainult hästi ventileeritud ruumis, kus õhuniiskus on olematu.

Kui KOV on soov kasutada kilbikontrolleriga juhtimissüsteemi, siis oleks soovituslik ka kohalikul omavalitsusel nõuda, et leedvalgustid oleksid varustatud valgustikontrolleri pesaga, kas siis Zhaga või Nema pistikupesaga. Hinna poole pealt oleks soovituslik Zhaga kinnituspesaga valgusti, sest see on tunduvalt odavam kui Nema pistikupesaga valgusti. Eesmärgiks tulevikus on, et kui KOV soovib minna üle valgustipõhisele juhtimisele, siis tuleb soetada ainult valgustikontrollerid ja keerata need valgusti külge ning kilbikontrollerile lisada ruuter (*gateway*), mis võimaldab kilbikontrolleril suhelda valgustikontrolleritega omavahel. Nii ei pea tegema suuri ümbermuudatusi juhtimissüsteemis ega suuri väljaminekuid, et minna üle valgustipõhisele juhtimissüsteemile.

4.3 Juhtimissüsteemid

Kilbipõhise juhtimissüsteemi korral, kus kasutusel on ainult hämaralüliti koos astronoomilise kellaga, on hanke dokumentide koostamine kergem, sest ei ole vaja väga pikalt juhtimissüsteemi kirjeldada. Piisab, kui tuua välja hankedokumentide tehnilises kirjelduses, et soovitakse saada hämaralülitiga juhtimissüsteemi koos astronoomilise kellaga, millel puudub kaugjuhtimise süsteemi võimekus.

Kui valgustid on varustatud draiverisse sisse programmeeritud hämardamisastmetega ehk astronoomilise kellaga, siis tuleb KOV-il paika panna hämardamisastmed ning need välja tuua hankedokumentide tehnilises kirjelduses. Sama tuleb teha ka lisasoonega juhtimise korral. Juhtsoonega hämardamise puhul tuleb nõuda eraldi lisasoont valgustite hämardamiseks. Eelprogrammeeritud leedvalgustite draiverite puhul tuleks nõuda, et draiverid oleksid DALI juhtimise võimekusega, mis välistaks odavate Hiina tootjate poolt kehva kvaliteediga leedvalgustid.

Kaugjuhtimise süsteemide puhul nagu näiteks kilbikontrolleriga, valgustikontrolleritega, DALI juhtimise korral või radaranduritega juhtimissüsteemide korral tuleks miinimumnõudena nõuda, et juhtimissüsteemi juhttarkvaral oleks olemas API, mis võimaldab juhtimissüsteemid kas koheselt või tulevikus ühtsesse tänavavalgustusvõrgu inverteerimise programmi ühendada. Selline lahendus on Tartu linnal ja Harku vallal, mida on kirjeldatud peatükis 2.6.1. Lisaks võimaldab API liidestada mitte ainult inverteerimisprogrammiga, vaid ka teiste tarkvarasüsteemidega.

Juhtimissüsteemi hankimisel peab kindlasti kohalik omavalitsus nõudma hangetes, et pakkujale viiakse läbi juhtimissüsteemide kasutamise koolitus. Selle eesmärgiks on, et koolituse läbinud isikud on võimelised oma tegevusvaldkonnale kasutama hangitud juhtimissüsteemi igapäevaselt. Lisaks peab omavalitsus nõudma, et koolitus peab olema tehtud eesti keeles ning koolitus- ja juhendmaterjalid tuleb anda tellija ehk kohaliku omavalitsuse kätte.

4.3.1 Nõuded kilbikontrollerile

Soovituslikud tingimused, mida tuleks hangetes kilbikontrolleritelt nõuda on toodud järgnevalt:

- peab edastama kilbi häireid nagu näiteks: toitepinge puudumine, ukse avamine koos lokaalse sireeni rakendumisega, kas side kilbikontrolleri ja serveri vahel töötab või mitte ning kas välisvalgustus on sisse lülitatud või mitte. Info kilbikontrollerilt peab olema jälgitav kasutajaliidese kaudu erinevate õigustega kasutajatel;
- peab suutma kontaktorit lülitada kaugjuhtimise teel läbi juhtimissüsteemi rakenduse ning kontaktori vale rakendumise korral peab kilbikontroller suutma anda häireteate;
- kilbikontrolleril peab olema piisavalt mõõtesisendeid erinevatele signaaliallikatele (elektriarvesti, juhtimiskilbi ukse asendi andur, hämaraandur, termoandur jne). Digitaalsisendite arv kilbikontrolleril peaks olema laiendatav kuni 30-ne sisendini ning nende sisendid peavad saama toidet läbi sisendi enda kontrolleri toite;
- kilbikontroller peab toite katkemisel suutma tööd jätkata nominaalse funktsionaalsusega vähemalt 48 h vältel kas aku või superkondensaatori abil ning andma juhtimissüsteemi haldusserverisse teate toite katkemisest;
- sideühenduse katkemisel juhtimissüsteemi haldusserveriga peab suutma lülitada valgustuse autonoomsele juhtimissüsteemile – hämaralülitiga või astronoomilise kellaga juhtimissüsteemile. Lisaks peab sideühenduse katkemise korral suutma salvestada sündmusi kontrolleri salvestusmällu ning kui sideühendus taastub, siis saadetakse kõik andmed tagantjärele serverisse; [74]
- kilbikontrolleril peab olema DALI juhtimissüsteemi võimekus;
- kilbikontroller peab olema võimekusega, et saaks siduda standardsete protokollide abil teiste tootjate juhtimissüsteemidega;
- kilbikontroller peab töötama vahelduvvooluga ning nimipinge peab olema 230 V (lubatud on pinge kõikumine piirides -15 kuni +10 protsenti nimipingest);
- peab taluma temperatuure -40 kuni +70 °C;
- kilbikontrolleril peab olema väliühendusi ning sisemist loogikat kirjeldav dokumentatsioon. [75]

4.3.2 Nõuded valgustikontrolleritele

Soovituslikud tingimused, mida tuleks hangetes valgustikontrolleritelt nõuda on toodud järgnevalt:

- valgustikontrolleri kaitseaste võõrkehade, tolmu- ja veekindluse vastu peab olema minimaalselt IP66;
- hämardamise väljund peab olema DALI või analoog ehk 1-10 V. Siinkohal tuleks tähele panna, et kui nõuda, et hämardamise väljund peab olema analoog ehk 1-10 V, siis on välistatud Zhaga standardiga pistikute ja valgustikontrollerite kasutamine;
- valgustikontrollerid peavad taluma keskkonna temperatuure -40 kuni +50 °C; [75]
- valgustikontrollerid peavad suutma taluda suhtelist õhuniiskust kuni 99%; [76]
- valgustikontrollerite sidelahendus peab suutma töötada valgustite toiteliini ehk fiidri ööpäeva ringse pingestatuse korral. Samuti peab valgustikontrollerite sidelahendus toimima, kui fiidrid pingestatakse ainult valgustuse töötamise ajaks; [75]
- valgustikontrollerite omavaheline ning valgustikontrolleri ja jaotuskilbi kontrolleri omavaheline juhtmevaba andmevahetuse peab olema vähemalt AES128 turvastandardi kohaselt krüpteeritud;
- valgustikontroller peab juhtima valgusti toiteplokki, sh seda sisse ja välja lülitama ning muutma heledust läbi juhtimisprotokolli ning muutma selle heledust sammuga maksimaalselt 10% täisvõimsusest; [76]
- valgustikontrollerid ning sidevõrk peavad olema võimekusega, et tulevikus saab lisada juurde lisasensoreid nagu näiteks radarandureid;
- valgustikontroller peab suutma tõrkeid tuvastada ning ka neid edastama juhtimissüsteemi serverile;
- valgustikontroller peab regulaarselt saatma (vähemalt kord tunnis) infot toite olemasolust. Teisisõnu peab valgustikontroller saatma sõnumi juhtimissüsteemi serverisse kontrolleri töökorrasolekust;
- kontroller ei tohi sisaldada patareid, varuakut ega ka muid komponente, mille projekteeritud tööiga nõutud temperatuurivahemikus on lühem kui 15 aastat;
- valgustikontroller peab suhtlema juhtimissüsteemi serveriga vähemalt 15 minutilise intervalliga, et anda teada, mis võimsusega leedvalgusti töötab; [75]
- valgustikontrolleri tarkvara peab olema kaugelt uuendatav ehk valgustikontrolleri tarkvara peab olema võimalik kauguuendada juhtimistarkvarast.

4.3.3 Nõuded juhttarkvarale

Soovituslikud tingimused, mida tuleks hangetes juhtimistarkvaralt nõuda on toodud järgnevalt:

- tarkvara peab olema eestikeelse ning veebibrauseri põhise graafilise kasutajaliidesega, kus valgustid, kilbid ja kilbikontrollerid ning nende seisund kuvatakse geoinfosüsteemi kaartidel; [75]
- tarkvaral peab olema erinevate astmetega ligipääsud nagu näiteks:
 - ligipääs administraatorile, mis võimaldab lisada ning eemaldada valgusteid ja kontrollereid ning võimaldab seada ka valgustuse profiile;
 - ligipääs hoolduselektrikule, mis võimaldab näha infot valgustite mittetöötamise olukorra kohta, tehnilist infot, sisestada komponentide infot, lülitada sisse-välja valgusteid;
 - ligipääs kohaliku omavalitsuse volitatud esindajale, mis võimaldab näidata infot tõe kohta, infot sisselülitatud valgustite ning nende valgustite profiilide kohta ja statistikat elektrienergia kulu kohta;
- tarkvara server ning varuserver peab asuma Eestis ja võimaldama distantsilt kaughooldust juhtimissüsteemile ning ka seadmete tarkvara kauguuendamist; [76]
- juhtimistarkvara serveri tehniline tugi peab olema kättesaadav Eesti Vabariigis;
- tarkvara peab võimaldada lisada piiramatul määral jaotuskilbi- ja valgustikontrollereid;
- Juhtimistarkvarast ja andmebaasist peab olema võimalik luua varuserverisse koopiad tõrkeolukordades kasutamiseks;
- toitefiidrite gruppide lülitamiseks peab olema võimalik seadistada erinevad viiteajad sisselülitamiseks, et vältida järske voolutõukeid tänavavalgustusvõrgus;
- tarkvara peab võimaldama erinevaid sündmusi ja häireid likvideerida, märgistada rikkega või hooldust vajavaid valgusteid ning registreerida hooldustöid koos tööde alguse ja lõpuga; [75]
- tarkvara kaardivaade peab suutma võimaldada erinevaid seadmeid filtreerida, nagu näiteks kilbikontrollerid, valgustikontrollerid, erinevad sensorid jne. Lisaks peab tarkvara kaardivaade suutma eristada erineval viisil juhitud valgusteid, kas värvi või ikooniga;
- tarkvaral peab olema võimalus saata rikketeated e-postile ja/või lühisõnumina määratud isikutele ning tarkvaras peab olema rike kuvatud nii kellaajaliselt kui visuaalselt kaardirakenduses;
- tarkvara peab võimaldama erinevate sündmuste, häirete ning logifailide ehk tänavavalgustite energiatarbe ja tänavavalgustuse sisse-välja lülitamise arvu eksportida mujale varuserverisse. [75]

5. VÄLISVALGUSTUSE MÕÕDISTAMINE

5.1 Kasutatav mõõtevahend ning mõõtmistulemuste analüüsimise tarkvara

Välisvalgustuse mõõtmiseks kasutati magistritöös kaasaegset tänavavalgustust mõõtvat heleduse mõõtekaamerat LMK mobile air. Tegemist on digitaalse peegelkaameraga Canon EOS70D, mille sensor ja optika on kalibreeritud valgus heleduse mõõtmisele ning võimaldab kontrollida vastavust standarditele [77].

Heledusmõõtekaameraga mõõdistamiseks valitud tänavalõikudel on vaja seadet kalibreerida spektroradiomeetriga, mis annab valguse spektrist tuleva parandusteguri. Parandustegur saadakse mõõtes spektroradiomeetriga valget pinda. Saadud parandustegurit arvestatakse alles mõõtetulemuste töötlemise tarkvaras. Magistritöös kasutati heleduse mõõtekaamera LMK mobile air kalibreerimiseks spektroradiomeetrit Jeti specbos 1211. Mõõtmistulemuste analüüsimiseks kasutatakse LMK Labsoft tarkvara.

5.2 Mõõtmislõikude valik

Kordus-mõõdistatavad lõigud valiti välja varem Tartu linnas mõõdistatud tänavalõikude hulgast. Valitud lõikudeks osutusid Roopa tänav, Kaunase puiestee ning Riia tänav. Need lõigud valiti välja mitmel põhjusel:

- kasutusel on leedvalgustid, mille garantiiperiood on lõppenud;
- varasemalt on neid leedvalgusteid mõõdistatud 2013. aastal, mis võimaldab magistritöö käigus tehtud mõõtmisi võrrelda varasemate mõõtmistulemustega ning tulemusi analüüsida;
- kõigil kolmel tänaval oli erinev mootorliikluspiirkonna (M) valgustusklass – Roopa tänav M5, Kaunase puiestee M4 ja Riia tänav M3;
- öine liiklustihedus oli kõrge, et oleks tagatud tänavavalgustuse heleduse mõõtmiste turvalisus;
- kõikidel kolmel valitud mõõtmislõikudel on paigaldatud samad Philips Selenium LED BGP340 leedvalgustid, mille garantiiperiood algas 09.01.2014 ja lõppes 09.01.2019. Kaunase puiesteel on valgustid võimsusega 197,6 W ja Roopa ning Riia tänaval on leedvalgustid võimusega 107,6 W.

5.3 Mõõtmiste läbiviimine

Tartu linnas tehti mõõdistused 22.04.2020 õhtul vastu 23.04.2020 koos kaasjuhendaja Taavi Mölleriiga. Mõõtmised viidi läbi kuiva teekattega, öisel ajal ja välistemperatuur oli 7 °C juures. Mõõtmiste läbiviimisel jälgiti, et tänavatel liikuvate sõidukite tuled ja ümbritseva keskkonna valgustus ei segaks mõõtmistulemusi. Lisaks jälgiti, et tagatud oleks tänavavalgustuse heleduse mõõtmistel mõõtjate nähtavus teistele liiklejatele ja selleks kandsid mõõtmistöode tegijad helkurveste.

Esimesena mõõdistati Kaunase puiesteed, seejärel Roopa tänavat ning viimaks Riia tänavat. Igal tänaval enne heledusmõõtekaameraga tänavavalgustuse mõõdistamiseks tuli heleduse mõõtekaamera LMK mobile air ära kalibreerida spektroradiomeetriga Jeti 1211. Heleduse mõõtekaamera ei arvesta valguse spektrit, mistõttu on kalibreerimine vajalik. Spektroradiomeetriga pildistatakse mõõdistatava valgusti valguse all valget kalibreerimisplaati, et teada saada valguse spektrist sõltuv heleduse väärtus mõõtepunktis, sama tehakse ka heleduse mõõtekaameraga. Nii saadakse heleduse mõõtekaamera jaoks parandustegur, mida arvestatakse mõõtmistulemuste töötlemisel LMK Labsoft tarkvaras.

Seejärel heleduse mõõtekaameraga LMK mobile air tehti mõõdistavast alast kolm ülesvõtet – alasäri, kesksäri ja ülesäri. Alasäri korral on pilt tume, kesksäri korral on valgus pildil paigas ning ülesäri korral on sammu võrra pilt üle valgustatud. Kolm erinevat säri võtet on oluline selleks, et saada suurem heleduse mõõteulatus. Mõõtmiste ajal mõõdeti ka tänavavalgusti mastide vahed üles laserkaugusmõõtjaga.

Kui tänavavalgustus oli üles mõõdistatud, siis laaditi iga tänavalõigu kohta tehtud kolm ülesvõtet LMK Labsoft tarkvarasse, mis võimaldab kolme erinevas säriga tehtud pilti teha ühtseks värvärvidega kirjeldatud heleduse pildiks. Kui värvärvidega ühtne heleduse pilt on tarkvaras tehtud, siis tuleb määratleda ala, mida on soov analüüsida, misjärel LMK Labsoft tarkvara määrab valitud lõigul mõõtepunktide arvud ja asukohad. Mõõtepunktide puhul tuleb jälgida, et mõõtepunktid ei jääks sõiduteede märgistuse ehk valgete joonte ega kaevuluukide peale. Seejärel koostab tarkvara kõikide mõõtepunktide alusel heledusväärtuste analüüsi ning arvutab mõõtetulemused. Arvutatud mõõtetulemusteks on keskmine heledus, piki- ja üldühtlus. Tarkvara arvutab keskmise heleduse kõikide mõõtepunktide kohta aritmeetilise keskmise. Üldühtluse arvutab tarkvara vähima ja keskmise heleduse jagatisena ning pikiühtlus leitakse sõiduraja keskjoonel suurima ja vähima heleduse jagatisena.

5.4 Mõõtmistulemuste analüüsimine

5.4.1 Kaunase puiestee

Kaunase puiestee mõõdeti tänavavalgustuse heledust standardist lähtuvalt mõlemas sõidutee suunas, mida edaspidi eristatakse suund A ja suund B. Mõõtmiste täpne ala on välja joonistatud punase värviga joonisel 5.1. Mõõtmised toimusid kuiva ilmaga 22.04.2020 kell 22.47. Kaunase puiestee on M4 valgustusklassiga ning mõõtmiste ajahetkel olid leedvalgustid hämardatud 80% võimsuse peale. Valitud mõõtmislõigul on valgustite raudbetoonmastide kõrgused 10,0 meetrit ning konsoolide pikkused 2,5 meetrit. Mõõtmislõigul oli mastide vahe 18,4 meetrit.



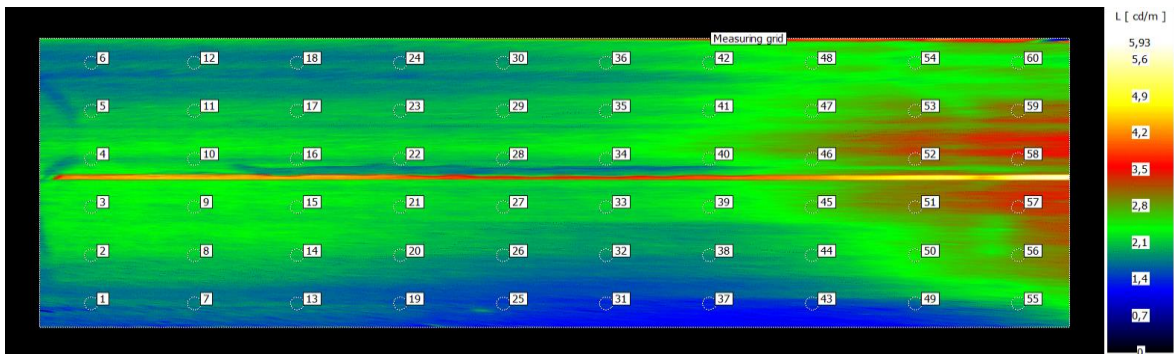
Joonis 5.1 Kaunase puiestee mõõtmise ala [78]

Joonisel 5.2 on toodud vasakul pool heledusmõõtekaamera foto ning paremal on LMK labsoft tarkvaraga väärvärvides foto, kuhu on märgistatud juba mõõdistatav ala. Antud joonis näitab hästi, kuidas valgus peegeldub sõidutee pinnalt ning ka teistelt objektidelt.



Joonis 5.2 Kaunase puiestee mõõtmiste lõik, suund A

Joonisel 5.2 märgistatud ala järgi on koostatud mõõdistatava ala mõõtepunktid tarkvaras, mis on toodud joonisel 5.3. Joonisel 5.3 näidatud Kaunase puisteeel mõõdetud mõõtepunktile vastavad mõõtetulemused on toodud tabelis 5.1, mille heledusväärtuste ühikuks on cd/m^2 .

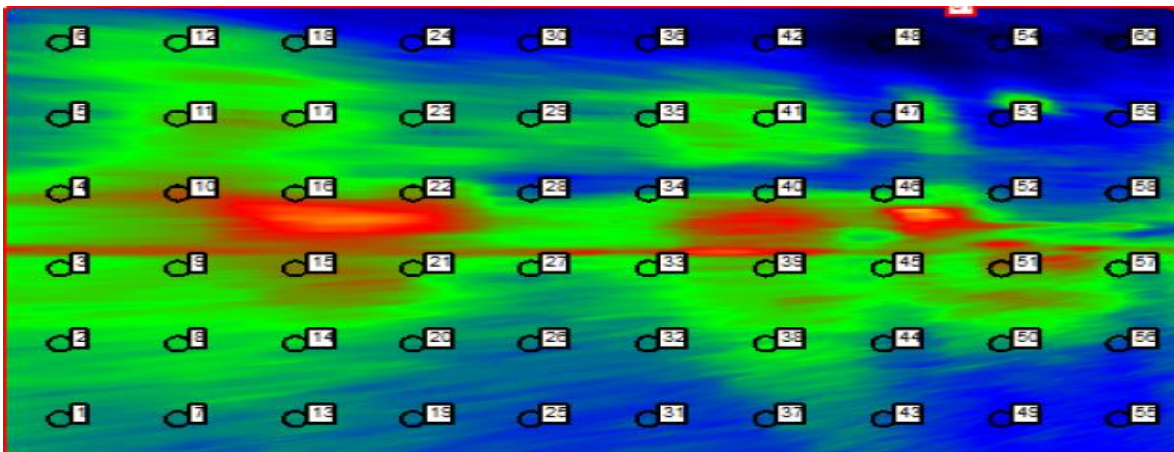


Joonis 5.3 Mõõtmislõigu pealtvaade koos mõõtepunktidega, suund A

Tabel 5.1 Kaunase puistee mõõtmislõigu heledusväärtused mõõtmispunktides, suund A

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	1,780	1,840	1,810	1,820	1,910	2,040	2,200	2,420	2,370	2,410
5	2,010	2,090	2,070	2,040	2,080	2,110	2,270	2,510	2,850	3,020
4	2,160	2,150	2,140	2,130	2,080	2,150	2,330	2,620	3,030	3,190
3	2,270	2,270	2,270	2,210	2,160	2,180	2,330	2,600	2,960	3,300
2	2,130	2,150	2,100	1,990	1,890	1,860	1,890	2,080	2,470	2,800
1	1,760	1,780	1,750	1,640	1,510	1,420	1,380	1,500	1,700	2,090

Varasemalt 2013. aastal mõõdistatud mõõtepunktid on toodud joonisel 5.4 ja heledusväärtused samades mõõtepunktides on toodud tabelis 5.2. Eelmiste mõõtmiste ajal olid leedvalgustid samuti hämardatud 80% peale.



Joonis 5.4 Varasemalt mõõdistatud Kaunase puistee mõõtmislõigu pealtvaade koos mõõtepunktidega, suund A [79]

Tabel 5.2 Varasemalt mõõdistatud Kaunase puiestee mõõtmislõigu heledusväärtused mõõtmispunktides, suund A [79]

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	1,708	1,891	1,586	1,014	0,958	0,813	0,787	0,273	0,511	0,422
5	1,672	2,261	2,199	1,716	1,657	1,735	1,994	1,269	0,864	1,030
4	2,353	2,656	2,398	2,448	1,433	1,596	1,813	1,796	1,441	1,279
3	2,057	2,228	2,531	2,326	1,855	2,017	2,217	2,043	2,526	1,963
2	1,768	1,847	1,851	1,613	1,509	1,538	1,930	1,538	1,621	1,349
1	1,609	1,542	1,564	1,435	1,279	1,310	1,360	1,375	0,953	1,004

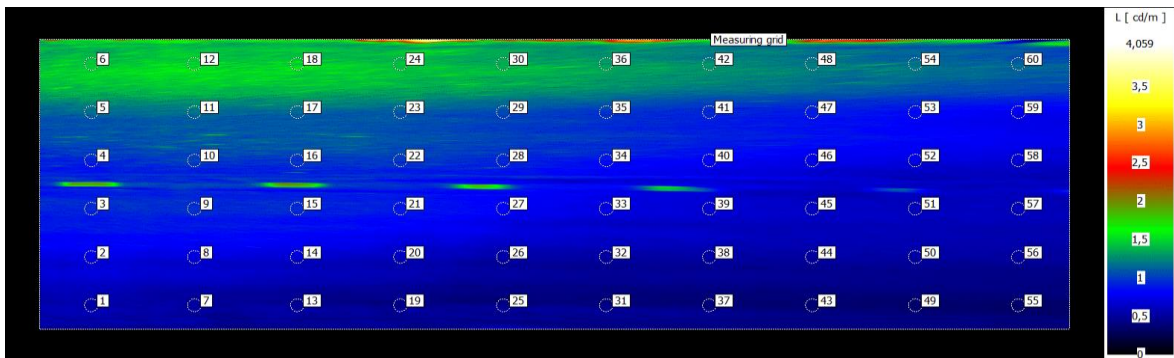
Kui võrrelda omavahel joonist 5.3 ja 5.4, siis on näha, et 2013. aasta sügisel tehtud mõõtmiste ajal ei olnud ülekäiguraja valgustust, aga uute mõõtmiste korral on eraldi ülekäiguraja valgustus lisatud, mille tulemused kajastuvad ka uutes tulemustes. Lisas 1 on toodud mõõtmiste võrdlustabel, kus on kajastatud, millised peavad olema heledusväärtused minimaalselt standardi järgi ning millised olid mõõtmiste tulemused. Lisas 1 on toodud varasemalt tehtud mõõdistamise tulemused. 2013. aasta sügisel tehtud mõõtmiste korral ei vastanud suunal A mõõdistatud üldühtlus ning vasakpoolse sõiduraja pikiühtlus standardile EVS-EN 13201-2:2015. Standardile vastasid keskmine heledus ning parempoolse sõiduraja pikiühtlus. Uute mõõtmiste korral aga vastasid kõik väärtused suunal A standardile, sest vahepealse ajaga on teekatet uuendatud, mistõttu on uutel mõõtmistel heledusväärtused paremad. Lisaks on joonistelt 5.3 ja 5.4 selgelt näha ning ka tabelitest 5.1 ja 5.2, et kuus aastat hiljem peale valgustite garantiiaja algust on suunal A heledusväärtused paranenud. Sama tulemust kajastab ka lisas 1 toodud võrdlustabel, kust selgub, et nii keskmine heledus ja üldühtlus on paranenud. Uute mõõtmiste korral on paranenud pikiühtlus vasakpoolsel rajal, samal ajal on parempoolsel sõidurajal jällegi halvemaks muutnud. Siinkohal tuleb muidugi mainida, et keskmise heleduse tulemuste paranemises ning parempoolse sõiduraja pikiühtluse vähenemises omab rolli lisatud ülekäiguraja valgustus, mida varasematel mõõtmistel ei olnud. Kõige rohkem on mõõtmistulemustel keskmist heledust ja üldühtlust parandanud sõiduteekatte uuendamine. Enam ei ole sõiduteekattes sõidukite poolt põhjustatud sõidurööpaid ning teekate ei ole lapitud, mistõttu on üldühtlus üle kolme korra paranenud.

2013. aasta mõõtmiste aruandes puudus andmestik vastassuunast, kuid magistritöö käigus tehti ka vastassuunast heledusmõõtekaameraga mõõtmine, et hinnata vastassuuna vastavust standarditele. Heledusmõõtekaameraga tehtud pildilt ehk jooniselt 5.5 on juba selgelt näha, et vastassuund ehk suund B on tunduvalt vähem valgustatud, eriti parempoolne sõidurada.



Joonis 5.5 Kaunase puiestee mõõtmiste lõik, suund B

Joonisel 5.5 märgistatud alale on koostatud mõõdistatava ala mõõtepunktid tarkvaras, mis on toodud joonisel 5.6.



Joonis 5.6 Mõõtmislõigu pealtvaade koos mõõtepunktidega, suund B

Joonisel 5.6 esitatud mõõtepunktide heledusväärtused on toodud tabelis 5.3.

Tabel 5.3 Kaunase puiestee mõõtmislõigu heledusväärtused mõõtmispunktides, suund B

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	1,460	1,500	1,510	1,420	1,380	1,320	1,270	1,210	1,190	1,130
5	1,170	1,200	1,160	1,120	1,070	1,000	0,954	0,915	0,856	0,797
4	0,942	1,020	0,992	0,998	0,942	0,883	0,813	0,755	0,734	0,693
3	0,947	0,974	0,950	0,894	0,817	0,735	0,690	0,643	0,613	0,603
2	0,742	0,721	0,686	0,624	0,550	0,526	0,537	0,529	0,535	0,524
1	0,546	0,525	0,498	0,462	0,455	0,434	0,405	0,382	0,360	0,358

Jooniselt 5.6 ja tabelist 5.3 selgub, siis suund B mõõtepunktide heledusväärtused on tunduvalt madalamad võrreldes suund A heledusväärtustega. Lisas 1 olevas võrdlustabelist selgub, et keskmine heledus, üldühtlus ning nii vasak- kui ka parempoolse sõiduradade pikiühtlused vastavad standardile EVS-EN 13201-2:2015.

5.4.2 Roopa tänav

Roopa tänaval mõõdeti tänavavalgustuse heledust mõlemas tänava suunas, mida edaspidi eristatakse suund A ja suund B. Mõõtmiste täpne ala on välja joonistatud punase värviga joonisel 5.7. Mõõtmised toimusid kuiva ilmaga 22.04.2020 kell 23.39. Roopa tänav on M5 valgustusklassiga ning mõõtmiste ajahetkel olid leedvalgustid hämardatud 60% võimsuse peale. Valitud mõõtmislõigul on valgustite raudbetoonmastide kõrgused 8,0 meetrit ning konsoolide pikkused 2,5 meetrit. Mõõtmislõigul oli mastide vahe 30,2 meetrit. Joonisel 5.8 on toodud Roopa tänaval suunal A heledusmõõtekaameraga tehtud foto ning väärvärvides foto, kuhu on märgistatud juba mõõdistatav ala.

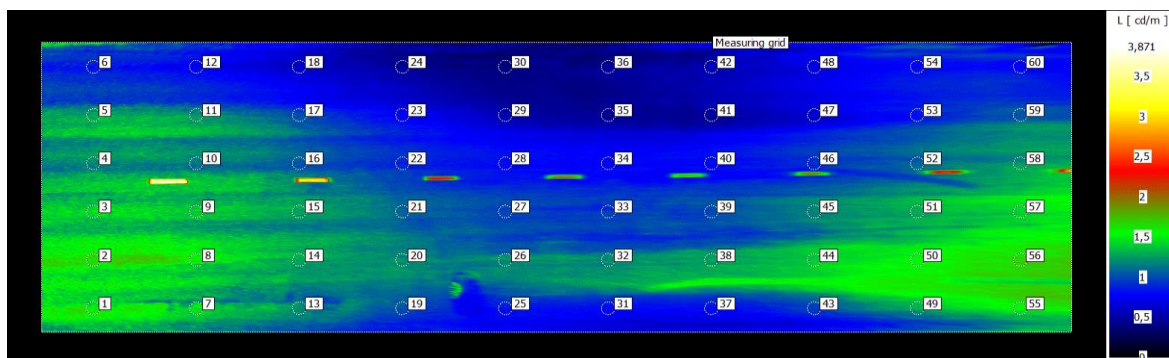


Joonis 5.7 Roopa tänava mõõtmise ala [78]



Joonis 5.8 Roopa tänava mõõtmise lõik, suund A

Joonisel 5.8 märgistatud alale on koostatud mõõdistatava ala mõõtepunktid tarkvaras, mis on toodud joonisel 5.9. Joonisel 5.9 esitatud mõõtepunktide heledusväärtused on toodud tabelis 5.4.

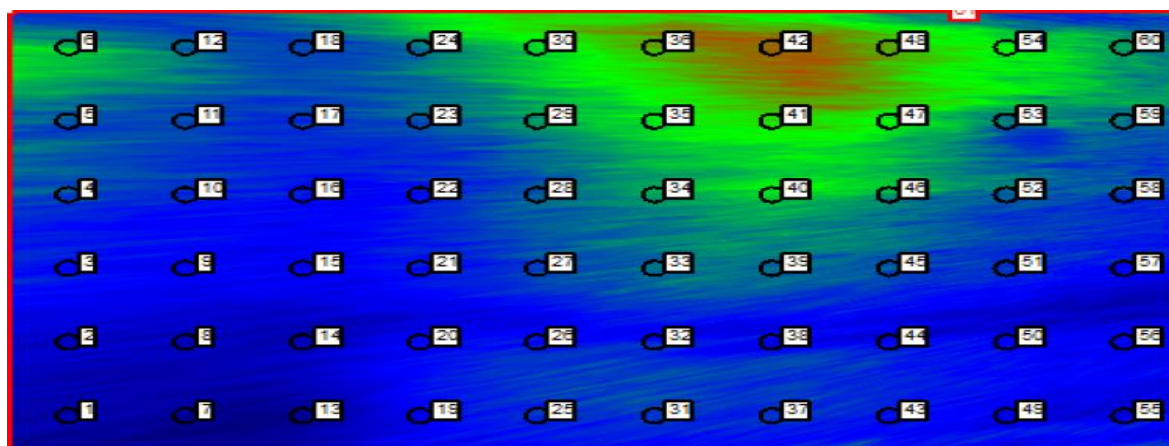


Joonis 5.9 Mõõtmislõigu pealtvaade koos mõõtepunktidega, suund A

Tabel 5.4 Roopa tänava mõõtmislõigu heledusväärtused mõõtmispunktides, suund A

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	0,865	0,768	0,620	0,474	0,416	0,476	0,567	0,711	0,808	0,786
5	1,280	1,230	1,020	0,774	0,555	0,472	0,506	0,656	0,844	1,050
4	1,200	1,150	1,050	0,904	0,805	0,758	0,806	0,914	1,080	1,240
3	1,450	1,400	1,290	1,090	1,000	0,957	1,010	1,190	1,300	1,430
2	1,650	1,550	1,300	1,220	1,210	1,210	1,270	0,400	1,540	1,670
1	1,540	1,450	1,220	1,040	0,854	0,821	0,830	0,975	1,290	1,550

2013. aastal tehtud mõõtmiste aruandes esitatud mõõtelõigu mõõtepunktid on toodud joonisel 5.10 ja heledusväärtused samades mõõtepunktides on toodud tabelis 5.5.



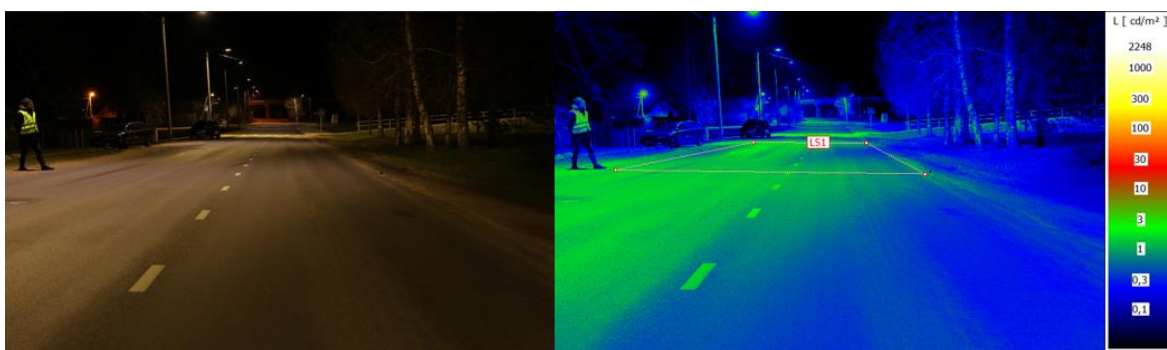
Joonis 5.10 Varasemalt mõõdistatud Roopa tänava mõõtmislõigu pealtvaade koos mõõtepunktidega, suund A [79]

Tabel 5.5 Varasemalt mõõdistatud Roopa tänava mõõtmislõigu heledusväärtused mõõtmispunktides, suund A [79]

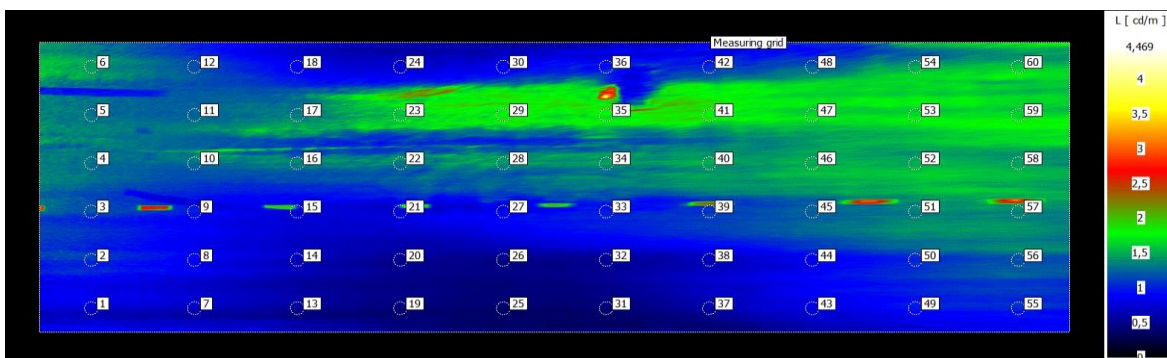
Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	1,732	1,412	1,283	1,485	1,892	2,370	2,609	2,343	1,981	1,637
5	1,364	1,311	1,203	1,350	1,622	1,944	2,155	1,977	1,521	1,470
4	1,301	1,186	1,089	1,076	1,365	1,653	1,879	1,663	1,416	1,275
3	1,027	0,987	0,969	1,074	1,257	1,453	1,437	1,350	1,223	1,030
2	0,787	0,762	0,738	1,021	1,068	1,100	0,960	0,973	1,017	1,000
1	0,677	0,607	0,603	0,955	1,189	1,228	1,210	1,080	0,953	0,918

Joonistelt 5.8 – 5.10 ja tabelitest 5.4 – 5.5 ning lisast 1 selgub, et nii keskmine heledus, üldühtlus ning vasakpoolse sõiduraja pikiühtlus suunal A on vähenenud viimase kuue aasta jooksul, kuigi vahepealsel ajal on Roopa tänava sõiduteekatet renoveeritud. Küll aga on suunal A tehtud mõõtmistest näha, et pikiühtlus parempoolisel sõidurajal on paranenud. Nii varasemalt kui uute mõõtmiste korral, kui valgustid olid mõlemal korral hämardatud 60% peale, vastavad kõik mõõtmistulemused standardile EVS-EN 13201-2:2015.

Roopa tänaval vastassuunast ehk suunalt B tehtud mõõtmistulemused on toodud järgnevatel joonistel 5.11 – 5.12 ja tabelis 5.6.



Joonis 5.11 Roopa tänava mõõtmise lõik, suund B

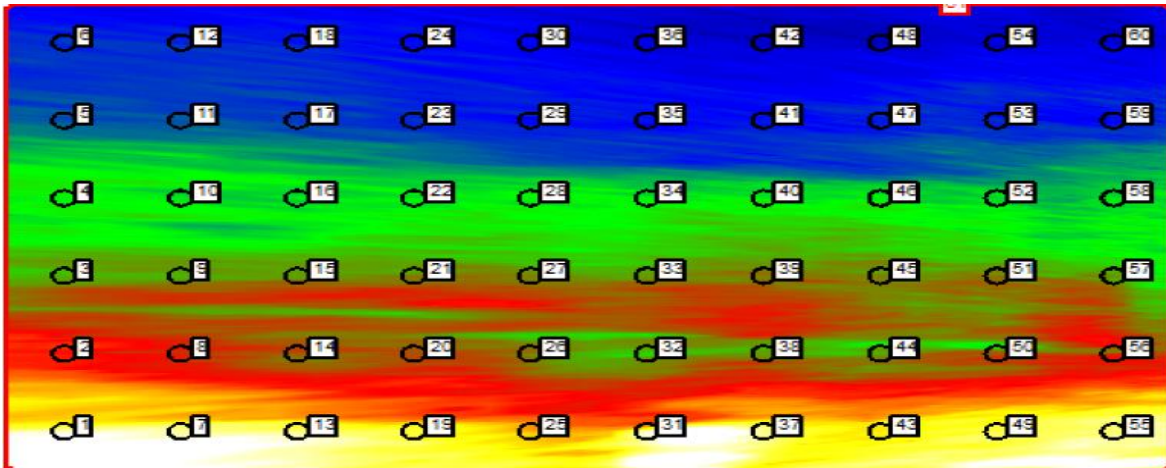


Joonis 5.12 Mõõtmislõigu pealtvaade koos mõõtepunktidega, suund B

Tabel 5.6 Roopa tänava mõõtmislõigu heledusväärtused mõõtmispunktides, suund B

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	1,470	1,190	0,861	0,762	0,860	0,979	1,050	1,230	1,490	1,590
5	1,320	1,270	1,350	1,610	1,790	1,790	1,830	1,670	1,690	1,670
4	1,310	1,300	1,350	1,350	1,420	1,440	1,480	1,520	1,510	1,480
3	1,180	0,975	0,921	0,886	0,850	0,993	1,130	1,250	1,360	1,390
2	1,080	0,883	0,682	0,533	0,508	0,553	0,688	0,866	1,050	1,200
1	0,753	0,687	0,542	0,444	0,399	0,434	0,605	0,806	0,965	1,030

2013. aasta mõõtmiste aruandes on mõõdistatud ka suunalt B Roopa tänavat samas lõigus, siis järgneval joonisel 5.13 ja tabelis 5.7 on toodud varasemad mõõtetulemused.



Joonis 5.13 Varasemalt mõõdistatud Roopa tänava mõõtmislõigu pealtvaade koos mõõtepunktidega, suund B [79]

Tabel 5.7 Varasemalt mõõdistatud Roopa tänava mõõtmislõigu heledusväärtused mõõtmispunktides, suund B [79]

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	1,202	1,164	1,118	1,048	0,992	0,889	0,821	0,800	0,890	0,877
5	1,354	1,357	1,258	1,181	1,074	1,059	1,082	1,135	1,133	1,063
4	2,028	1,915	1,887	1,966	1,997	1,960	1,970	1,974	1,892	1,904
3	2,321	2,363	2,431	2,465	2,480	2,424	2,541	2,471	2,530	2,377
2	3,110	2,894	2,685	2,704	2,558	2,306	2,406	2,398	2,570	2,769
1	4,663	4,604	4,482	4,165	3,726	4,365	4,518	3,950	4,283	4,486

Joonistelt 5.11 – 5.13 ja tabelitest 5.6 – 5.7 ning lisast 1 selgub, et nii keskmine heledus, üldühtlus kui ka pikiühtlused sõiduradadel on halvenenud võrreldes 16.09.2013 tehtud mõõtmistega. Heledusmõõtmiste tulemused vastavad standardile nii varasemalt kui ka hiljem tehtud mõõtmiste korral. Roopa tänava mõõtmistulemustest võib järeldada, et valgustite hämardamise astmete vähendamisega üld- ja pikiühtlus paraneksid. Kui tulevikus liiklustihedus suureneb, on hämardamise astmete vähendamisega võimalik Roopa tänava valgustusklassi viia M5-lt M4-le. Selleks, et seda kontrollida, on võimalik teha simulatsioon ja valgusarvutused DIALux evos.

5.4.3 Riia tänav

Riia tänaval mõõdistati tänavavalgustuse heledust ühes sõidutee suunas, nagu oli ka 2013. aastal teostatud mõõtmistel. Mõõtmiste täpne ala on välja joonistatud punase värviga joonisel 5.14. Mõõtmised tehti kuiva ilmaga 23.04.2020 kell 00.02. Riia tänav on M5 valgustusklassiga ning mõõtmiste ajahetkel olid leedvalgustid hämardatud 50% võimsuse peale. Valitud mõõtmislõigul on valgustite metallmastide kõrgused 10,0 meetrit ning konsoolide pikkused 2,5 meetrit. Mõõtmislõigul oli mastide vahe 33,8 meetrit.

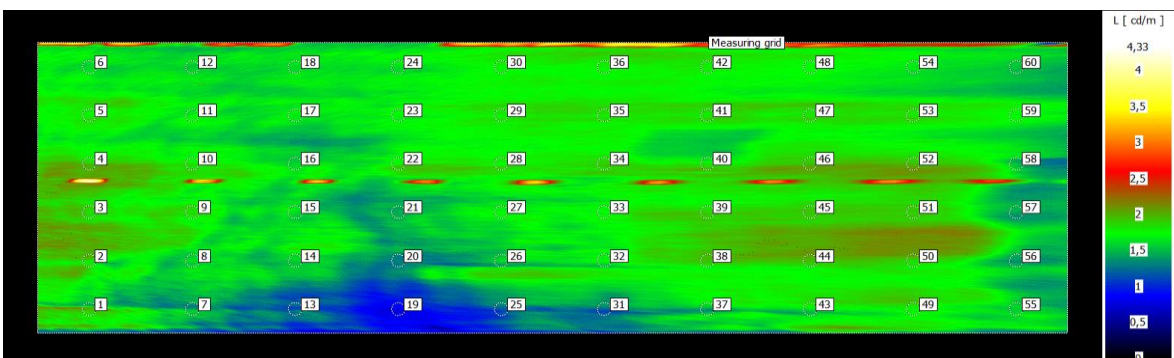


Joonis 5.14 Riia tänava mõõtmise ala [78]

Joonisel 5.15 on toodud Riia tänaval heledusmõõtekaameraga tehtud foto ning väärvärvides foto, kuhu on märgistatud juba mõõdistatav ala. Joonisel 5.16 esitatud mõõtepunktide heledusväärtused on toodud tabelis 5.8.



Joonis 5.15 Riia tänava mõõtmise lõik

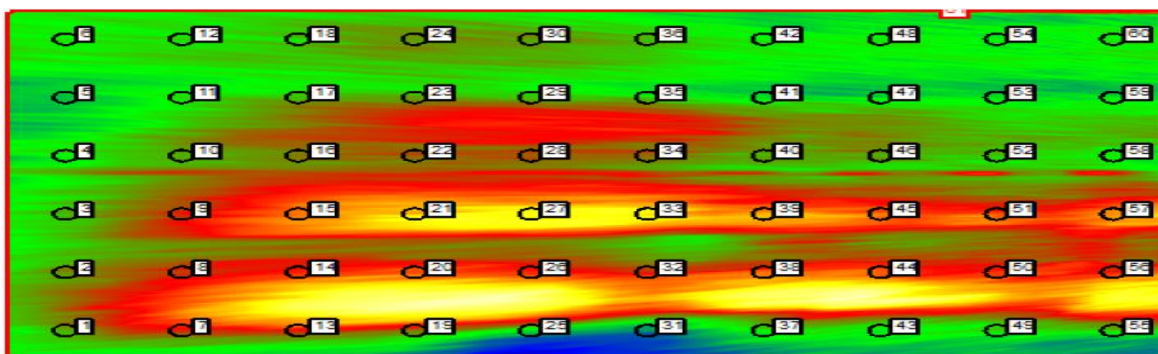


Joonis 5.16 Mõõtmislõigu pealtvaade koos mõõtepunktidega

Tabel 5.8 Riia tänava möötmislõigu heledusväärtused mõõtmispunktides

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	1,630	1,600	1,640	1,650	1,760	1,780	1,800	1,740	1,670	1,550
5	1,800	1,700	1,690	1,730	1,810	1,840	1,840	1,850	1,850	1,750
4	1,920	1,820	1,600	1,810	1,800	1,880	1,790	1,960	1,970	1,540
3	1,870	1,850	1,630	1,470	1,720	1,750	1,880	1,920	1,910	1,450
2	1,870	1,600	1,590	1,310	1,550	1,680	1,930	1,970	1,910	1,420
1	1,800	1,450	1,220	0,846	1,210	1,260	1,510	1,670	1,800	1,600

Varasemad Riia tänava mõõtetulemused on teostatus samal lõigul 2013. aastal ning need on esitatud joonisel 5.17 ja tabelis 5.9.



Joonis 5.17 2013. aastal mõõdistatud Riia tänava möötmislõigu pealtvaade koos mõõtepunktidega [79]

Tabel 5.9 Varasemalt mõõdistatud Riia tänava möötmislõigu heledusväärtused mõõtmispunktides [79]

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	2,083	2,120	2,216	2,429	2,415	2,274	2,055	2,045	1,984	2,052
5	1,809	2,101	2,242	2,354	2,244	2,118	1,901	1,904	1,907	1,907
4	2,058	2,345	2,514	2,651	2,694	2,633	2,360	2,389	2,242	2,082
3	2,278	2,857	3,459	3,827	4,035	4,000	3,640	3,396	3,280	3,568
2	2,447	2,833	3,119	3,349	3,161	2,930	3,333	3,347	3,154	3,073
1	2,346	2,895	3,018	2,655	1,996	1,560	2,069	2,018	2,131	2,211

Joonistelt 5.15 – 5.17 ja tabelitest 5.8 – 5.9 ning lisast 1 selgub, siis keskmine heledus ning vasakpoolse sõiduraja pikiühtlus on võrreldes varasemate mõõtmistega paranenud. Üldühtlus on jäänud samaks võrreldes varasemate mõõtmistega ning parempoolse sõiduraja pikiühtlus on mõnevõrra halvenenud. Mõõtmistulemuste paranemises mängib ilmselt rolli, et sõidutee katendit on uuendatud. Joonistelt 5.16 ja 5.17 on väga hästi näha, kuidas varasemal mõõdistamisel on sõidutees tugevad sõidurööpad, mida uutel mõõtmispiltidel ei leidu. Kuna varasemad mõõtmised tehti hetkel, kui valgustid põlesid 100% võimsusega ja uued mõõtmised selles magistritöös tehti hetkel, kui valgustid põlesid 80% võimsusega, siis sellest on ilmselt tingitud muutused, et pikiühtlus on läinud mõnevõrra kehvemaks ja üldühtlus on jäänud samaks. Nii uuemate kui varasemate tänavavalgustuse mõõtmiste korral vastas Riia tänava keskmine heledus, üldühtlus ning sõiduradade pikiühtlused mõõdetud lõigul standardile.

5.5 Mõõtmistulemuste kokkuvõte

Nagu mõõtmistulemustest selgub, siis kahel tänaval kolmest on mõõtmistulemused võrreldes varasemate mõõtmistulemustega ikkagi paranenud (lisa 1). See on ilmselt tingitud asjaolust, et kõikidel mõõdetud lõikudel on võrreldes varasemate mõõtmistega sõiduteekatet uuendatud. See näitab, et sõiduteekatte uuendamisega on võimalik parandada valgustatud tänavatel keskmist heledust, üldühtlust ning pikiühtlust. Uutel sõiduteekatetel on paremad valguse peegeldumisomadused kui vanadel ja lapitud sõidutee katetel. Ka teaduslikes uuringutes on kinnitatud fakti, et sõiduteekatte ebakorrapärasused mõjutavad valgustuse heledusväärtuseid ehk ebakorrapärasused suurendavad heledust ning selle tõttu muutub üld- ja pikiühtlus kehvemaks [80]. Kõige paremini kajastab seda fakti just varasemad mõõtmised, mis on Tartus Riia tänaval tehtud 16.09.2013. Seal on selgelt näha, et sõiduteekattel olevates sõidurööbastes on heledus väärtused tunduvalt suuremad kui väljaspool sõidurööpaid.

Roopa tänav oli ainukene tänav, kus uued mõõtmistulemused olid halvemad kui 16.09.2013 tehtud mõõtmiste korral, kus samal ajal oli sõiduteekatet uuendatud. Roopa tänava tulemuste puhul võib eeldada, et ikkagi leedvalgustite valgustamise omadused garantiiperioodi jooksul vähesel määral halvenevad. Miks sõiduteekatte parandamine Roopa tänaval tulemusi ei ole parandanud võib olla tingitud sellest, et varasemalt mõõdistatul lõigul polnud sõiduteekatte oluliselt kehvas seisukorras, kui see oli 22.04.2020 tehtud mõõtmiste hetkel.

Magistritöös tehtud mõõtmiste mõõtmistulemustest selgub, et nii Kaunase puiesteel, Roopa tänaval ja Riia tänaval, kus leedvalgustid olid mõõtmiste ajal hämardatud vastavalt 80%, 60% ja 80%, vastavad nende tänavate valgustus eelpoolmainitud hämardatud astmete korral ikkagi standardile EVS-EN 13201-2:2015. Tulemustest, mis on kajastatud lisa 1 tuleb välja, et mõõdetud 3 erineval tänavalõigul on võimalik tulevikus liiklustiheduse kasvu tõttu tõsta valgustusklassi nii, et ei pea olemasolevat välisvalgustuse lahendust ümber ehitama. Näitena võib välja tuua, et tulevikus ilmselt Riia tänaval liiklus suureneb, sest tegu on Tartu linna ühe peamise sissesõidumagistraaliga. Tartu linn on määranud, et Riia tänav on M3 valgustusklassiga, mis tähendab, et standardi järgi peab olema keskmine heledus \bar{L} 1,00 cd/m², üldühtlus U_0 0,40 cd/m² ja pikiühtlus U_l 0,60 cd/m². Lias 1 toodud mõõtmistulemuste võrdlustabelist saab järeldada, et kui Riia tänaval liiklustihedus kasvab ja määratakse M2 valgustusklass, mis nõuab, et keskmine heledus \bar{L} oleks 1,50 cd/m², üldühtlus U_0 oleks 0,40 cd/m² ja pikiühtlus U_l oleks 0,70 cd/m², siis Riia tänava valgustus vastaks standardis toodud nõuetele. Küll peab Tartu linn sellisel juhul tähele panema, et siis tuleb Riia tänaval valgustite hämardamisastmed ümber seadistada. Selleks, et oleks tagatud Riia tänaval M2 valgustusklass, ei või valgusteid hämardada 80% võimsusele, sest

siis ei vasta suund A puhul parempoolse sõiduraja pikiühtlus standardile. Hämmardamisastmete paika panemiseks Riia tänaval, peab Tartu linn tellima välisvalgustuse mõõtmised erinevate hämmardamise astmete korral.

Mõõtmistulemustest võiksid kohalikud omavalitsused järeldada, et ehitajalt tuleks hangetel nõuda, et ehitaja korraldaks tänavavalgustuse mõõtmised erinevatel hämmardamise režiimidel. See on vajalik selleks, et teada saada, milliste hämmardamise astmete korral vastab tänavavalgustus määratud valgustusklassile.

KOKKUVÕTE

Magistritöö koostati kohalikele omavalitsustele erapooletute juhiste ja pidepunktide andmiseks välisvalgustuse arengukava koostamiseks. Eesmärkide seadmiseks analüüsi lõputöös kaasaegse tänavavalgustuse olulisemaid tegureid nagu valgusteid, hooldust, juhtimissüsteeme ja KOV enamlevinud teemasid tänavavalgustuse teemal, mida tuleks kajastada tänavavalgustuse arengukavas. Samuti analüüsi standardeid, normdokumente ning valgustite ja juhtimissüsteemide tehnilisi tingimusi, mida tuleks omavalitsustel hangetes nõuda, et saavutada energiatõhus välisvalgustuse lahendus. Lisaks analüüsi töö käigus erinevate tänavaloikude tänavavalgustust peale garantiiperioodi lõppemist, hämardamisega kaasnevat tegureid ja valgustusklasside nõuetele vastavust ning võimalikke mõjusid muutuste osas asula valgustuskeskkonna või infrastruktuuri muutudes.

Kahtlemata on kaasaegseteks energiatõhusateks välisvalgustiteks tänapäeval leedvalgustid. Leedvalgustite puhul on võimalik luua ühest valgusti tüübist mitmeid kui mitte kümneid erinevaid valgusjaotuskõveratega valgusteid. Leedvalgustite suurimaks eeliseks metallhalogeniid ja kõrgrõhu-naatriumvalgustite ees on nende energiasäästlikkus ja pikk eluiga. Selleks, et tänavavalgustus toimiks ja kestaks, tuleb tänavavalgustust ka hooldada. Kuna kõiki tänavavalgustuses esinevaid rikkeid ei ole võimalik ennetada, siis iga kohaliku omavalitsuse eesmärgiks peaks olema rikked võimalikult kiiresti likvideerida, mistõttu oleks KOV-il soovituslik hooldustööde lepingusse kirja panna rikete likvideerimise tähtajad. Tänapäeva välisvalgustus ei koosne ainult tänavavalgustusest, vaid tegelikult ka hoonete ja rajatiste fassaadide valgustamisest. Fassaadi valgustuse ülesandeks on asulale atmosfääri ning kuvandi loomine.

Tänavavalgustuse juhtimissüsteemi rolliks ei ole ainult valgusteid sisse-välja lülitada, vaid ka vähendada elektrienergia kulu, seda tänu valgustite hämardamisele ning jälgimisele. Tänapäeval saab jaotada kasutatavad välisvalgustuse juhtimissüsteemid kahte peamisse gruppi. Esimene grupp on kohtjuhtimise süsteemid, kuhu kuuluvad juhtimissüsteemid nagu kilbipõhine hämaralülitiga juhtimissüsteem koos astronoomilise kellaga, astronoomilise kellaga leedvalgustid ja juhtsoonega hämardamine. Teine grupp on digitaalsed kaugjuhtimise süsteemid, kuhu kuuluvad järgmised juhtimissüsteemid nagu kilbikontrolleriga juhtimine, valgustikontrolleritega juhtimine, DALI juhtimine ning liikumisradaritega juhtimine. Eelmainitud juhtimissüsteemidest võimaldab kõige rohkem elektrienergiat säästa liikumisradaritega juhtimissüsteem. Liikumisaradaritega juhtimissüsteemi suurimaks miinuseks on, et liikumisradarid on kallid ning neid saab paigutada sõiduteedele, kus öösel on liiklustihedus piisavalt kõrge, et valgustid ei põleks koguaeg täisvõimsusega. Kohtjuhtimise süsteemid sobivad kasutamaks väljaspool asulaid (teed,

ristmikud sillad) ning asulates olevates magalarajoonides. Kaugjuhtimise süsteemid sobivad kõige paremini kasutamaks asulates ning suurema liiklustihedusega sõiduteedel.

Kõikidel omavalitsustel on olemas oma üldine arengukava, kuid paljudel KOV-idel puudub oma välisvalgustuse arengukava. Välisvalgustuse arengukava aitab nii omavalitsuse liikmetel kui ka kodanikel aru saada, kuidas tuleb edaspidi välisvalgustusse investeerida ning milleks see on oluline. Kohalikul omavalitsusel tasub välisvalgustuse arengukava tellida välisvalgustuse spetsialistidelt, kes oleksid erapooletud. Arengukava tellides peaks omavalitsus paika panema oma prioriteedid järgmise 10 aasta jooksul välisvalgustuse osas. Igal kohalikul omavalitsusel on need erinevad ja erinevas järjestuses. Seejärel, tuleb koostada orienteeruv eelarve, kui palju on võimalik igal aastal raha tänavavalgustuse peale eraldada. Lisaks peab kohalik omavalitsus valmis olema andma välisvalgustuse arengukava koostajatele palju erinevaid sisendeid, mida on magistritöö kolmandas peatükis kajastatud.

Kui KOV-il on soov renoveerida vana tänavavalgustust või ehitada sootuks uut tänavavalgustuse lõiku, tuleb korraldada erinevad hanked nagu projekteerimise, ehitustööde ning omanikujärelevalve hange. Selleks, et oleks tagatud projekteerimis- ja ehitustööde kvaliteet, peab nõudma, et töid tehakse kehtivate standardite ja normdokumentide järgi ning need ka üles loetlema. Energiatõhusa välisvalgustuse lahenduse saamiseks tuleb hangetes esitada tehnilised tingimused nii valgustitele kui ka juhtimissüsteemile, vastasel juhul pakutakse odavamaid lahendusi, mis ei pruugi tagada energiatõhusat välisvalgustust ning ei vasta omavalitsuse soovidele.

Magistritöö käigus mõõdistati tänavavalgustus Tartu linnas kolmel erineval tänaval, kus on kasutusel leedvalgustus, mille garantiiperiood on läbi saanud. Kõik mõõdistatud kolm tänavat on erineva valgustusklassiga. Mõõdistati Kaunase puiesteed, Roopa ning Riia tänavat, kus on varasemalt tänavavalgustuse heledust mõõdetud 2013. aasta septembris. Kõikidel valitud lõikudel on peale 2013. aastal tehtud mõõdistamist uuendatud sõiduteekatet. Kaunase puiesteel ning Riia tänaval on tänavavalgustuse mõõtmistulemused ehk keskmine heledus, üld- ja pikiühtlus paranenud. Roopa tänaval on mõõtmistulemused võrreldes varasemate mõõtmistega halvenenud. Kaunase puiesteel ja Riia tänaval on mõõtmistulemused paranenud selle tõttu, et uuendatud on sõiduteekatet. 2013. aastal korraldatud mõõtmiste ajal oli vana sõiduteekate üsna kehvast seisust, teekattes esinevaid auke oli korduvalt lapitud ning teekattes esinesid sõidurööpad. Roopa tänaval olid mõõtmistulemused ilmselt halvenenud sellepärast, et 2013. aasta sügisel mõõdistatud lõigul ei olnud tänavakate nii kehvast seisust, mistõttu pole uus teekate tänavavalgustuse keskmise heleduse, üld- ja pikiühtluse tulemusi parandanud. Roopa tänav oli kolmest mõõdistatud tänavast ainuke tänav, kus mõõtmistulemused olid halvenenud, millest

võiks järeldada, et garantiiperioodi jooksul halvenevad leedvalgustite omadused. Küll vastasid kõik mõõdistatud tänavad keskmise heledusega, üld- ja pikiühtlusega standardile EVS-EN 13201-2:2015. Lisas 1 toodud mõõtmistulemustest saab järeldada, et kõikidel töös mõõdetud tänavalõikudel on võimalik valgustusklassi liiklustiheduse kasvu tõttu tõsta. Küll peab siis Tartu linn tellima uued tänavavalgustuse mõõtmised erinevatel hämardamisastmete korral, et paika panna uued hämardamisastmed.

Magistritöö üks eesmärkidest saavutati, milleks oli koostada energiatõhusate välisvalgustuse lahenduste juhised kohalikele omavalitsustele. Teiseks lõputöö eesmärgiks oli viia läbi tänavavalgustuse heledusväärtuste mõõtmised leedvalgustitele, mille garantiiperiood on läbi ning mida on varasemalt mõõdistatud. Mõõtmiste eesmärgiks oli hinnata, kas paigaldatud leedvalgustid valgustavad teed ikka kehtivatele standarditele ning kuidas on muutunud leedvalgustite omadused garantiiperioodi jooksul. Viimane mainitud eesmärk jäi kahjuks magistritöö käigus ikkagi saavutamata, sest mõõdetud kolmel erineval tänaval oli sõiduteekatet uuendatud, mis parandavad tavaliselt mõõtmistulemusi, nagu kajastasid ka mõõdetud Kaunase puiestee ja Riia tänava mõõtmistulemused. Ühel tänaval kolmest, Roopa tänav, olid mõõtmistulemused peale garantiiperioodi lõppemist halvenenud. Selleks, et hinnata, kas leedvalgustite omadused ikkagi muutuvad peale garantiiperioodi lõppu, tuleks heledust mõõta laboris, kus on tagatud samad tingimused nii enne kui peale garantiiperioodi. Selliseid heledusmõõtmisi tuleks teha erinevate leedvalgustitega, et saaks luua kindlad järeldused, kuidas peale garantiiperioodi lõppu leedvalgustite omadused muutuvad. Magistritöö heledusmõõtmistest saab kindlalt järeldada ainult seda, et sõiduteekatte uuendamine parandab tänavavalgustuse heleduse mõõtmistulemusi ning kõik mõõdetud lõigud vastasid standarditele.

Tänavavalgustuse mõõtmisi on vaja selleks, et KOV-id saaksid kinnitust, kas ikka projekteeritud ja väljaehitatud tänavavalgustus vastab nõuetele. Mõõtmisi peavad tegema valgustehnika eksperdid, kes kasutavad rahvusvaheliselt üldtunnustatud või standardite järgi nõutud mõõtmise meetodikaid ning kasutavad mõõtmisvahendeid, mis on kalibreeritud erinevates kalibreerimislaborites.

SUMMARY

The master's thesis was prepared to provide local municipalities with impartial instructions and points of reference for the preparation of the outdoor lighting development plan. In order to set the goals, the most important factors of modern street lighting, such as luminaires, maintenance, control systems and the most common topics of local municipalities on street lighting, were analysed in the thesis, which should be reflected in the street lighting development plan. The master's thesis also analysed the standards, normative documents and technical conditions of luminaires and control systems that should be required by local municipalities in procurements in order to achieve an energy efficient outdoor lighting solution. In addition, the street lighting of different sections of the street after the end of the warranty period, the factors associated with dimming and the compliance of the lighting classes with the requirements of the lighting classes were analysed during the work, as well as possible effects in terms of changes in the lighting environment or infrastructure of the settlement.

Undoubtedly, modern energy-efficient outdoor luminaires today are LED luminaires. In the case of LED luminaires, it is possible to create several, if not dozens of different luminaires with light distribution curves. The biggest advantages of LED luminaires over metal halide and high-pressure sodium luminaires are their energy efficiency and long life. For the street lighting to work and last, the street lighting must also be maintained. As there are still faults in street lighting, the goal of each local municipalities should be to eliminate the faults as soon as possible, therefore, it would be advisable for the local municipality to write the deadlines for the elimination of failures in the maintenance contract. Modern outdoor lighting consists not only of street lighting, but in fact also of the facades of buildings and structures. The task of facade lighting is to create an atmosphere and image for the settlement.

The role of the street lighting control system is not only to turn the lights on and off, but also to reduce electricity consumption, this is due to the dimming and monitoring of the luminaires. Today, the outdoor lighting control systems used can be divided into two main groups. The first group is local control systems, which includes control systems such as a shield-based dimmer control system with an astronomical clock, LED luminaires with astronomical clock, and dimming with a control vessel. The second group is digital remote-control systems, which include the following control systems such as panel controller and lighting controller control, DALI control and motion radar control. Of the above-mentioned control systems, the control system with motion radars allows the most energy savings. However, the biggest disadvantages of the motion radar control system are that the motion radars are expensive and can be placed on the road, where

the traffic volume is low enough at night so that the lights do not burn at full power at all times. Local control systems are suitable for use outside settlements (roads, junctions, bridges) and in sleeping areas in settlements. Remote control systems are best suited for use in settlements and on busy roads.

All local municipalities have their own general development plan, but many local municipalities do not have their own outdoor lighting development plan. The outdoor lighting development plan helps local municipalities to understand how to invest in outdoor lighting in the future and what it is important for. The local municipality pays to order the outdoor lighting development plan from outdoor lighting specialists who would be impartial. When ordering the development plan, the municipality should set its priorities for outdoor lighting over the next 10 years. Every local municipality has them differently and in a different order. Once the priorities have been set, an indicative budget must be drawn up, for how much money can be allocated to street lighting each year. In addition, the local municipality must be prepared to provide many different inputs to the compilers of the outdoor lighting development plan, which are reflected in the third chapter of the master's thesis.

If the local municipality wishes to renovate the old street lighting or build a completely new section of street lighting, various procurements must be organized, such as the procurement of design, construction works and owner supervision. In order to ensure the quality of design and construction work, the work must be required to be carried out in accordance with the applicable standards and normative documents, and they must also be listed. In order to obtain an energy-efficient outdoor lighting solution, the procurement must specify the technical conditions for both the luminaires and the control system, otherwise, cheaper solutions are offered, which may not guarantee energy efficient outdoor lighting and do not meet the wishes of the municipality.

During the master's thesis, street lighting was measured on three different streets in Tartu, where LED lighting was used, the warranty period of which has passed. All three streets measured have different lighting classes. Kaunase puistee, Roopa and Riia streets were measured, where the brightness of street lighting was previously measured in September 2013. After the survey in 2013, the road surface has been renewed on all selected sections. Measurement results of street lighting, i.e. average brightness, general and longitudinal uniformity, have improved on Kaunase puistee and Riia Street. On Roopa street, the measurement results have deteriorated compared to previous measurements. Measurement results have improved on Kaunase puistee and Riia street because the road surface has been renewed. At the time of the measurements carried out in 2013, the old road surfaces were in a rather poor condition, the holes in the road surface were repeatedly patched and there were driving rails in the road surface. On Roopa street, the

measurement results had probably deteriorated because the section of the road surveyed in autumn 2013 was not in such poor condition, therefore, the new street lighting of roadways has not improved the results of average brightness, general and longitudinal uniformity. Roopa street was the only street out of the three surveyed where the measurement results had deteriorated, from which it could be concluded that the characteristics of LED luminaires deteriorate during the warranty period. However, all measured streets complied with the standard EVS-EN 13201-2: 2015 regarding medium brightness, general and longitudinal uniformity. From the measurement results presented in annex 1, it can be concluded that it is possible to increase the lighting class on all sections of the streets measured in the work due to the increase in traffic density. However, the city of Tartu must order new street lighting measurement for different dimming levels in order to set new dimming levels.

One of the goals of the master's thesis was achieved, which was to prepare guidelines for local municipalities on energy efficient outdoor lighting solutions. The second goal of the dissertation was to perform measurements of street light brightness values for LED luminaires, the warranty period of which had expired, and which have been previously measured. The purpose of the measurements was to assess whether the installed LED luminaires still illuminate the road in accordance with the applicable standards and how the characteristics of LED luminaires have changed during the warranty period. Unfortunately, the latter goal was still not solved during the master's thesis, because the road surface on the three different streets measured had been renewed, which usually improves the measurement results. On one of the three streets, Roopa street, the measurement results had deteriorated after the end of the warranty period. In order to assess whether the characteristics of LED luminaires still change after the end of the warranty period, the luminosity should be measured in a laboratory that ensures the same conditions before and after the warranty period. Such brightness measurements should be made with different LED luminaires in order to be able to draw firm conclusions as to how the characteristics of LED luminaires change after the end of the warranty period. From the luminance measurements of the master's thesis, it can only be concluded with certainty that the renewal of the road surface will improve the luminance measurement results of street lighting and that all measured sections met the standards.

Measurements of street lighting are needed for the local municipalities to confirm whether the designed and constructed street lighting still meets the requirements. Measurements must be made by lighting experts using measurement methods that are internationally accepted or required by standards and who use measuring instruments calibrated in different calibration laboratories.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] A. Gil-de-Castro, A. Moreno-Munoz, A. Larsson, J. J. G. d. I. Rosa ja M. Bollen, „LED street lighting: A power quality comparison among street light technologies,“ 2012.
- [2] LUCI Association, „LUCI Strategic plan 2017-2027,“ 2016.
- [3] I. v. Liempt, I. v. Aalst ja T. Schwanen, „Geographies of the urban night,“ Urban Studies, 2014.
- [4] S. Fotios, J. Unwin ja S. Farrell, „Road lighting and pedestrian reassurance after dark: A review,“ 2014.
- [5] LUCI Association, „LUCI CHARTER,“ 2015. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.luciassociation.org/wp-content/uploads/2015/01/23075-CHARTE-LUCI-ENGEXE.pdf>. [Kasutatud 02. 03. 2020].
- [6] History of Lighting, „History of Lighting,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.historyoflighting.net/electric-lighting-history/history-of-street-lighting/>. [Kasutatud 02. 03. 2020].
- [7] R. Nerman ja K. Kaplinski, Tallinna kommunaalmajandus 1940-2011, Tallinn: Tallinna Kommunaalamet, 2012.
- [8] K. Kaplinski, Tallinna kummunalmajandus II, Tallinn: Tallinna Kommunaalamet, 2017.
- [9] M. Whelan, „LEDs and OLEDs,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://edisontechcenter.org/LED.html>. [Kasutatud 02. 03. 2020].
- [10] K. Everson, „LED Lighting: A Timeline,“ 14. 03. 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.emcllc.com/resources/blogs/led-lighting-timeline>. [Kasutatud 02. 03. 2019].
- [11] Green Sheet, „LEDS - Ann Arbor “Lights” The way to energy savings,“ 2008. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://web.archive.org/web/20110723151439/http://www.a2gov.org/government/publicservices/systems_planning/Documents/publicservices_systems_envtlcoord_greennews_ledlights_2008_09_08.pdf. [Kasutatud 02. 03. 2020].

- [12] M. Reston, „L.A. Mayor meets with Clinton on city light plan,“ 15. 02, 2009. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://latimesblogs.latimes.com/lanow/2009/02/la-mayor-meets.html>. [Kasutatud 03. 03. 2020].
- [13] TaskuTark, „Valgusdiod,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.taskutark.ee/m/valgusdiod/>. [Kasutatud 02. 03. 2020].
- [14] M. Jaanus, „ISC0100 Küberelektroonika,“ 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://martinjott.ee/ttu/ISC0100/kyberelektroonika12018-5.pdf>. [Kasutatud 02. 03. 2020].
- [15] E. F. Schubert, „Light Emitting Diodes and Solid-State Lighting,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/LED-slide-show.pdf>. [Kasutatud 02. 03. 2020].
- [16] V. Kiisk, „Valgusdiodi uurimine,“ 10. 02. 2015. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://kodu.ut.ee/~kiisk/prax/LED-prax.pdf>. [Kasutatud 02. 03. 2020].
- [17] Glamox AS, „LEDi põhimõte,“ Glamox, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://glamox.com/ee/ledi-phimte>. [Kasutatud 03. 03. 2020].
- [18] Litewave, „240 Watt Street Light with Philips LEDs,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.litewave.co.uk/prod_cat/P_240-watt-street-light-with-philips-leds_327.html. [Kasutatud 03. 03. 2020].
- [19] LEDiL, „Guide for street lighting optics,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.ledil.com/wp-content/uploads/2019/08/Street_lighting_optics_v.1-1_2019_WEB.pdf. [Kasutatud 03. 03. 2020].
- [20] M. Kuusik, „Välisvalgustuse juhtimine,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.ttu.ee/public/e/energeetikateaduskond/Instituudid/elektrotehnika_instituut/smartgrid/Tarbimisejuhtimine_Valisvalgustus.pdf. [Kasutatud 03. 03. 2020].
- [21] T. Tamm, Valgustehnika I, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2009.
- [22] „Teevalgustus. Osa 1: Valgustusklasside valiku juhised,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/tooted/cen-tr-13201-1-2014>. [Kasutatud 20. 03. 2020].

- [23] Tallinna kommunaalamet, „Välisvalgustuse hämardamise väärtuste kinnitamine,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.tallinn.ee/Valisvalgustuse-hamardamise-vaartuste-kinnitamine>. [Kasutatud 26. 03. 2020].
- [24] Tartu Linnavalitsus, *Tänavavalgustuse hoolduse töövõtuleping*, Tartu, 2017.
- [25] O. Markkanen, A. Tammilehto, J. Manninen, J. Yrttiaho, J. Sandstorm, P. Rantanen, T. Ees ja P. Stenfors, „Helsingin kaupungin,“ Helsingin kaupungin rakennusvirasto, Helsinki, 2017.
- [26] Zumtobel, „Light for facades and arhitecture,“ Zumtobel.
- [27] Tallinna Tehnikaülikool, „Valgusreostuse pikaajaliste muutuste,“ 2012. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.kik.ee/sites/default/files/144.pdf>. [Kasutatud 04. 03. 2020].
- [28] Tartu Linnavalitsus, „Video: Kaarsild sai heli- ja valguskujunduse,“ 22. 10. 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.tartu.ee/et/uudised/video-kaarsild-sai-heli-ja-valguskujunduse>. [Kasutatud 04. 03. 2020].
- [29] T. Tamm, „Valgustuse juhtimise arengusuundadest,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.ekvy.ee/attachments/article/17/Valgustuse%20juhtimise%20arengusuundadest.pdf>. [Kasutatud 15. 03. 2020].
- [30] Eliko, „Kalaranna SmartStreet,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.eliko.ee/smartstreet/>. [Kasutatud 15. 03. 2020].
- [31] „Maakaablivõrkude ehitustööd,“ Markku Monni ja Adato Energia Oy, 2010.
- [32] OSRAM, *Technical application guide 3DIM feature: DALI, StepDIM, AstroDIM*.
- [33] Onninen, „Onninen AS LED valisvalgustite juhtimisvariandid,“ Onninen AS.
- [34] Philips, „Dynadimmer,“ Philips, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.lighting.philips.com/main/prof/lighting-controls/outdoor-stand-alone/dynadimmer>. [Kasutatud 15. 03. 2020].
- [35] Prysmian Group, „ARLC ja ARLC-PLUS 0,6/1(1,2) kV,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://media.drakakeila.ee/2018/04/ARLC-ja-ARLC-PLUS_EST.pdf. [Kasutatud 15. 03. 2020].

- [36] Fagerhult, „Zhaga/Nema,“ AB Fagerhult, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.fagerhult.com/knowledge-hub/LED/zhaganema/>. [Kasutatud 15. 03. 2020].
- [37] T. Tamm, „Tänavavalgustite tehnilised tingimused ja valgustite juhtimisvõimaluste tutvustus,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.kik.ee/sites/default/files/nouded_leepvalisvalgustitele_19-06-2017.pdf. [Kasutatud 19. 03. 2020].
- [38] C. Contenti, „Digitally addressable DALI dimming ballast,“ IEE, Dallas, 2002.
- [39] T. Tamm, „Valgustehnika täiendkoolitus,“ Detsember 2006. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.yumpu.com/xx/document/read/26662216/valgustustehnika-taiendkoolitus-of-wwwenetuee-tallinna->. [Kasutatud 15. 03. 2020].
- [40] Comlight, „Light On Demand,“ Comlight AS, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.comlight.no/business-landing/solutions/lightondemand/>. [Kasutatud 15. 03. 2020].
- [41] Diotech, „Turvaline ja energiasäästlik tänavavalgustus eeldab valgustite reaajas juhtimist,“ Diotech OÜ, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://diotech.ee/uudised.html/turvaline-ja-energiasaastlik-tanavavalgustus-eeldab-valgustite-reaajas-juhtimist>. [Kasutatud 18. 02. 2020].
- [42] „Street lighting savings calculator,“ IntelilIGHT, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://intelilight.eu/financing-and-business-case/street-lighting-savings-calculator/>. [Kasutatud 04. 04. 2020].
- [43] „Elektrihinnad kastuaja liigi järgi,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.stat.ee/57198>. [Kasutatud 04. 04. 2020].
- [44] Maanteeamet, „Riigimaanteede valgustamise juhised,“ Tallinn, 2014.
- [45] „Teevalgustus. Osa 2: Toimivusnõuded,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-13201-2-2015>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [46] K.-A. Sutt, „Harku vald ja Tartu linn ühendasid jõud innovaatiliseks tänavavalgustuse süsteemi rajamiseks,“ 04. 04. 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.tartu.ee/en/node/3537>. [Kasutatud 29. 03. 2020].

- [47] „Tänavavalgustuse kaugjuhtimissüsteemide integreerimiseks tänavavalgustuse geoinfosüsteemidega andmevahetuskihi loomine ja 5-aastase arendus- ja hooldusteenuse osutamine,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://riigihanked.riik.ee/rhr-web/#/procurement/712562/contracts>. [Kasutatud 08. 04. 2020].
- [48] Tartu Linnavalitsus, „Tänavavalgustuse andmevahetusteenused,“ Tartu, 2017.
- [49] „Kohaliku omavalitsuse arengukava koostamise soovitusel,“ AS Triip, Tartu, 2002.
- [50] „Viimsi valla arengukava ja eelarvestrateegia 2020 - 2024,“ Viimsi Vallavalitsus, 2019.
- [51] „Tartu linna arengukava 2018-2025,“ Tartu Linnavolikogu, Tartu, 2019.
- [52] „Standardid Euroopas,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/standards/standards-in-europe/index_et.htm. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [53] „Teevalgustus. Osa 3: Toimivuse arvutamine,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-13201-3-2015>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [54] „Teevalgustus. Osa 4: Valgusliku toimivuse mõõtemetodid,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-13201-4-2015>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [55] „Teevalgustus. Osa 5: Energiatõhususnäitajad,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-13201-5-2015>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [56] „Jalakäijate ülekäiguradade valgustamine lisavalgustusega. Osa 1: Kvaliteedi üldnäitajad ja juhisväärtused,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/tooted/evs-935-1-2017>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [57] „Jalakäijate ülekäiguradade valgustamine lisavalgustusega. Osa 2: Arvutamine ja mõõtmine,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/tooted/evs-935-2-2017>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [58] „Avalike elektrivõrkude pingetunnussuurused,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-en-50160-2010>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [59] „EE 10421629-JV ST 5-6 0,4 – 20 kV võrgustandard,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.vkgev.ee/cms-data/upload/p341-0-4-20-kv-vorgustandard-0-4kv-ohuliinid-ver-2.pdf>. [Kasutatud 20. 03. 2020].

- [60] „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-41: Kaitseviisid. Kaitse elektrilöögi eest,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-hd-60364-4-41-2017>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [61] „EVS-HD 60364-4-43:2010 Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-43: Kaitseviisid. Liigvoolukaitse,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-hd-60364-4-43-2010>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [62] „EVS-EN 50160:2010 Avalike elektrivõrkude pinge tunnussuurused,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-en-50160-2010>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [63] „EVS 843:2016 Linnatänavad,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-843-2016>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [64] „Juhendmaterjalid,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.ehitusteave.ee/Tooted_ET_2.php. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [65] „EVS 932:2017 Ehitusprojekt,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-932-2017>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [66] „Nõuded ehitusprojektile,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/118072015007>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [67] „Ehitusseadustik,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105032015001>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [68] „EVS 613:2001 Liiklusmärgid ja nende kasutamine,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-613-2001>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [69] „Elektriohutuseseadus,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12894666>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [70] „CE marking,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://ec.europa.eu/growth/single-market/ce-marking_en. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [71] „ENEC,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.enec.com/page.php?p=2>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [72] Energex Energy Experts, „Lihthanke projekteerimistingimused,“ Rakvere, 2019.

- [73] Flexfire LEDs, „color-rendering-index-cri-and-led-lighting-what-is-cri,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.flexfireleds.com/color-rendering-index-cri-and-led-lighting-what-is-cri/>. [Kasutatud 20. 03. 2020].
- [74] AS Paide Vesi, „Projekti "Paide linna tänavavalgustuse taristu renoveerimine",“ 2020.
- [75] Martem AS, „Tehnilised nõuded jaotuskilbi kontrolleri- ja valgustikontrollerile ja juhttarkvarale“.
- [76] „Tehniline kirjeldus,“ Tallinn, 2014.
- [77] TechnoTeam, „LMK mobile air,“ TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH.
- [78] „Maa-amet,“ 2020.
- [79] T. Varjas, „Mõõtmistööde protokoll,“ 2013.
- [80] I. S. Üncü ja M. Kayakus, „Investigation Of The Effects Of Road Conditions On Road Lighting And Visibility Level,“ *2014 International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, Antalya, 2014.
- [81] „Tartu arvudes 2018/2019,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.tartu.ee/sites/default/files/uploads/Tartu%20linn/Statistika/Tartu_arvudes_2019.pdf. [Kasutatud 25. 03. 2020].
- [82] „TECHNOTEAM LMK mobile air – Portable Imaging Photometer,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.opteema.com/en/products/lmk-imaging-photometers/technoteam-lmk-mobile/>. [Kasutatud 26. 03. 2020].
- [83] „Korduma kippuvad küsimused seoses Tähtvere valla liitumisega Tartu linnaga,“ 11. 01. 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.tartu.ee/en/node/5836>. [Kasutatud 25. 03. 2020].
- [84] „Tartu linna arengukava 2018 - 2025,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/4191/0201/7005/Lisa.pdf#>. [Kasutatud 27. 03. 2020].
- [85] „Tartu liiklusohutusprogramm 2017-2025,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/4160/9201/7020/liiklusohutus2017_2025.pdf#. [Kasutatud 27. 03. 2020].

- [86] „Tartu linna transpordi arengukava 2012-2020,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.tartu.ee/sites/default/files/uploads/Kontaktid%20ja%20linnajuhtimine/Arengukavad/TranspordiAK_uus.pdf. [Kasutatud 27. 03. 2020].
- [87] „Tartu linna säästva energiamajanduse tegevuskava aastateks 2015-2020,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.tartu.ee/sites/default/files/uploads/Kontaktid%20ja%20linnajuhtimine/Arengukavad/Energiamajanduse%20tegevuskava_kinnitatud.pdf. [Kasutatud 27. 03. 2020].
- [88] „Viimsi valla tänavavalgustuse arengukava 2019-2029,“ Viimsi, 2019.

LISAD

Lisa 1 Mõõtmistulemuste võrdlustabel

Tänav	Kuupäev	Kellaaeg	Hämdamisel alles jääv valgustustase protsentides, %	Valgustus klass	Standard EVS-EN 13201-2:2015			Mõõtmised			
					Keskmine heledus \bar{L} , cd/m ²	Üldühtlus U_o , cd/m ²	Pikiühtlus U_l , cd/m ²	Keskmine heledus \bar{L} , cd/m ²	Üldühtlus U_o , cd/m ²	Pikiühtlus vasakpoolisel sõidurajal U_l , cd/m ²	Pikiühtlus parempoolisel sõidurajal U_l , cd/m ²
Kaunase puiestee, suund A	22.04.2020	22.47	80	M4	0,75	0,40	0,60	2,17	0,64	0,67	0,66
Kaunase puiestee, suund A	16.09.2013	22.41	80	M4	0,75	0,40	0,60	1,62	0,20	0,38	0,70
Kaunase puiestee, suund B	22.04.2020	22.48	80	M4	0,75	0,40	0,60	0,84	0,68	0,67	0,71
Roopa tn, suund A	22.04.2020	23.39	60	M5	0,50	0,35	0,40	1,04	0,40	0,37	0,72
Roopa tn, suund A	16.09.2013	23.35	60	M5	0,50	0,35	0,40	1,32	0,50	0,56	0,67
Roopa tn, suund B	22.04.2020	23.40	60	M5	0,50	0,35	0,40	1,12	0,36	0,69	0,42
Roopa tn, suund B	16.09.2013	23.37	60	M5	0,50	0,35	0,40	2,25	0,40	0,78	0,74
Riia tn, suund A	23.04.2020	00.02	80	M3	1,00	0,40	0,60	1,69	0,50	0,91	0,66
Riia tn, suund A	16.09.2013	21.26	100	M3	1,00	0,40	0,60	1,32	0,50	0,77	0,73