



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**TEEVALGUSTUSPAIGALDISTE
ENERGIATÕHUSUSE HINDAMINE NING
NÄITAJATE ANALÜÜS RAPLA VALLA NÄITEL**

**ROAD LIGHTING INSTALLATION ENERGY EFFICIENCY
FIGURES EVALUTATION AND ANALYZE BASED ON THE
EXAMPLE OF RAPLA MUNICIPALITY**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Sten Strandberg

Üliõpilaskood 124525AAVB

Juhendaja: Toivo Varjas, insener

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 202.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Sten Strandberg

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Teevalgustuspaigaldiste energiatõhususe hindamine ning näitajate analüüs Rapla valla näitel,

mille juhendaja on Toivo Varjas,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

18.05.2021

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Sten Strandberg

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Teevalgustuspaigaldiste energiatõhususe hindamine ning näitajate analüüs Rapla valla näitel.

Kuupäev:
18.05.2021

49 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Toivo Varjas

Töö konsultant (konsultandid): -

Sisu kirjeldus:

Lõputöös anti ülevaade Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise projektist, mida kaastahastas KIK. Töö põhieesmärgiks oli analüüsida projekti hooldaja ja ehitaja seisukohast.

Lõputöö esimeses peatükis tutvustati vanu kõrgrõhu lampe ja tänapäevaseid leedvalgusteid. Lisaks tutvustati tänapäevase juhtimissüsteemi vajalikust energiatõhususe ja hoolduse seisukohast.

Teises peatükis uuriti projekti ja projekteerimises tehtavaid vigu, millele tuleks tähelepanu pöörata nii tellijal, kui ka projekteerijal. Lisaks teostati valgusarvutused M5 valgustusklassile.

Kolmandas peatükis arvutati elektrienergia sääst aastas ja tasuvusaeg toetusega ja ilma toetuseta. Samuti analüüsiti energiatõhusust ja elukaarekulusid.

Neljandas peatükis viidi läbi valgusmõõtmised, et kontrollida valmishitatud valguspaigaldise vastavust projekteeritule.

Märksõnad: leedvalgustus, rekonstrueerimine, projekt, valgustusmõõtmised, välisvalgustus

ABSTRACT

<p><i>Author:</i> Sten Strandberg</p> <p><i>Title:</i> Road lighting installation energy efficiency figures evaluation and analyze based on the example of Rapla municipality,</p> <p><i>Date:</i> 18.05.2021</p>	<p><i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis</p> <p><i>49 pages</i></p>
<p><i>University:</i> Tallinn University of Technology</p> <p><i>School:</i> School of Engineering</p> <p><i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics</p>	
<p><i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Toivo Varjas</p> <p><i>Consultant(s):</i> -</p>	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>The dissertation provided an overview of the street lighting reconstruction project in Rapla municipality, which was co-financed by the KIK. The main goal of the work was to analyze the project from the point of view of the maintainer and the builder.</p> <p>The first chapter of the dissertation introduced old high-pressure lamps and modern LED luminaires. In addition, the modern energy management system was introduced from the point of view of energy efficiency and maintenance.</p> <p>The second chapter examined design and design errors that should pay attention by both the client and the designer. In addition, light calculations were performed for lighting class M5.</p> <p>In the third chapter, the annual electricity savings and payback period were calculated with and without subsidies. Energy efficiency and life cycle costs were also analyzed.</p> <p>In the fourth chapter, light measurements were performed to check the conformity of the completed lighting installation to the design.</p>	
<p><i>Keywords:</i> LED lighting, reconstruction, project, illumination measurements, street light.</p>	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Teevalgustuspaigaldiste energiatõhususe hindamine ning näitajate analüüs Rapla valla näitel.
Lõputöö teema inglise keeles:	Road lighting installation energy efficiency figures evaluation and analyze based on the example of Rapla municipality.
Üliõpilane:	Sten Strandberg, 124525AAVB
Eriala:	Elektroenergeetika
Lõputöö liik:	bakalaureusetöö
Lõputöö juhendaja:	Toivo Varjas
Lõputöö kaasjuhendaja: (ettevõtte, amet ja kontakt)	
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	18.04.2021
Lõputöö esitamise tähtaeg:	18.05.2021

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Eestis on viimasel ajal hakatud massiliselt olemasolevaid tänavavalgustusvõrke rekonstrueerima. Rekonstrueerimise käigus tavaliselt vahetatakse vanu gaaslahenduslampidega valgusteid leedvalgustite vastu ja juhtimissüsteeme moderniseeritakse, et tagada säästlik energiakasutus ja hooldus. Käesolevas töös analüüsitakse teevalgustuse energiatõhususe muutust rekonstrueerimise käigus, kasutades KIK-i poolt rahastatud Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekti. Lisaks analüüsitakse antud töös KIK-i poolt rahastatud Rapla valla ja Kohila valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekte, et selgitada välja kitsaskohad, millele järgmistes kohalike omavalitsuste projektides rohkem tähelepanu pöörata nii tellija, hooldaja kui ka projekteerija poolt.

2. Töö eesmärk

Bakalaurusetöö eesmärgiks on teevalgustuspaigaldiste energiatõhususe hindamine ning näitajate analüüs Rapla valla näitel. Autor kasutab antud töös energiatõhususe

analüüsiks tänavavalgustuse rekonstrueerimist Rapla vallas. Samuti analüüsitakse üldisemalt KIK-i poolt rahastatud tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekte, et mida võiks järgmistes projektides paremini või teisiti teha. Lähemalt uuritakse projektide analüüsis Rapla valla ja Kohila valla projekte.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Milliseid võimalusi annab tänavavalgustuse juhtimissüsteemi moderniseerimine?
2. Millised on efektiivsuse erinevused võrreldes leedvalgustit gaaslahenduslampidega?
3. Kui palju on rekonstrueeritud tänavavalgustusvõrk efektiivsem varasemast võrgust?
4. Kas ja millistel juhtudel rekonstrueerimine tasuks ära ka ilma KIK-i toetuseta?
5. Millised olid tänavavalgustuse rekonstrueerimisprojektide kitsaskohad?

4. Lähteandmed

Rekonstrueerimise lähteandmed saab riigihangete keskkonnast, Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise hankedokumentidest. Eelneva tänavavalgustuse andmed saab Rapla valla tänavavalgustuse käidukorraldajalt Elfi Elekter OÜ-lt. Lisaks uuritakse KIK-i kodulehel olevat infot ja antud teemaga seonduvaid teadustöid, raamatuid ja teadusartikleid. Analüüsideks ja võrdlusteks kasutatakse teiste KIK-i poolt toetatud valdade tänavavalgustuse rekonstrueerimise andmeid.

5. Uurimismeetodid

Uurimiseks kasutatakse rekonstrueerimisele eelnenud valgustite andmeid ja elektrienergia tarbimisajalugu. Rekonstrueerimisjärgsed andmed on leitavad projektist ja tarbimisinfo on kätte saadav uutest juhtimissüsteemidest. Osades kohtades viiakse läbi ka valgusmõõtmised, et veenduda valgusarvutuste vastavuses tegelikkusele. Teoreetilise info läbi töötamiseks uuritakse tänavavalgustuse standardeid. Andmete analüüsiks kasutatakse põhiliselt tabelarvutusi Excelis.

6. Graafiline osa

Graafilise osa alla kuuluvad põhiliselt valgusarvutused, mis kuuluvad lõputöö põhiossa, et lõputöö lugejal oleks parem ülevaade.

7. Töö struktuur

Lõputöö koostamise käigus võivad alapeatükid muutuda.

Sissejuhatus

1. Tänavavalgustusvõrgu rekonstrueerimine
 - 1.1 Tänavavalgustid
 - 1.1.1 Leedvalgustid
 - 1.1.2 Gaaslahenduslambid
 - 1.2 Juhtimine
 - 1.2.1 Juhtimissüsteemid energiatõhususe seisukohast
 - 1.2.2 Juhtimissüsteemid hoolduse seisukohast
2. Rekonstrueerimise projektid
 - 2.1 Projektide analüüs
 - 2.1.1 Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekt
 - 2.1.2 Kohila valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekt
 - 2.2 Ettepanekud järgmistele projektidele
3. Rekonstrueerimise tasuvus
 - 3.1 Elektrienergia sääst
 - 3.2 Tasuvusaeg
4. Valgusmõõtmised
 - 4.1 Üldandmed ja normdokumendid
 - 4.2 Mõõtemetoodika
 - 4.3 Mõõtetulemuste analüüs
 - 4.4 Mõõtetulemuste kokkuvõte

Lõputöö kokkuvõte

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Antud lõputöös kasutatavat lähtematerjali ja teooriat leitakse erialastest õpikutest, standarditest, tootelehtedest, teadusartiklitest, internetist, Elfi Elekter OÜ-lt, Rapla Vallavalitsuselt ja Kohila Vallavalitsuselt.

Põhilised kirjanduse allikad, mida lõputöös kasutatakse:

- Teevalgustuse. Osa 1-5;
- Jalakäijate ülekäiguradade valgustamine lisavalgustusega. Osa 1 ja 2;
- T. Tamm, Valgustehnika I, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2009;

9. Lõputöö konsultandid

Antud töös konsultante pole.

10. Töö etapid ja ajakava

Kirjanduse läbitöötamine ja lähteandmete kogumine	01.01.2021
Teoreetilise osa kirjutamine	01.02.2021
Arvutuste/mõõtmiste teostamine	01.03.2021
Uuringu tulemuste kirjeldamine, järelduste kirjutamine, kokkuvõtte koostamine, töö esimese versioon valmis, juhendajale läbilugemiseks saatmine	01.04.2021
Paranduste sisseviimine, juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine	01.05.2021
Töö lõplik versioon valmis	15.05.2021

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel.

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	11
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	12
SISSEJUHATUS	13
1. Tänavavalgustusvõrgu rekonstrueerimine	14
1.1 Tänavavalgustid	15
1.1.1 Leedvalgustid	16
1.1.2 Gaaslahendusvalgustid.....	17
1.2 Juhtimine.....	20
1.2.1 Juhtimissüsteemid energiatõhususe seisukohast.....	20
1.2.2 Juhtimissüsteemid hoolduse seisukohast	21
2 Rekonstrueerimise projektid.....	22
2.1 Projektide analüüs	22
2.1.1 Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekt.....	22
2.2 Ettepanekud järgmistele projektidele	23
3 Rekonstrueerimise tasuvus	26
3.1 Elektrienergia sääst.....	26
3.2 Tasuvusaeg.....	27
3.3 Energiatõhusus ja elukaare kulud	28
4 Valgusmõõtmised	30
4.1 Üldandmed ja normdokumendid	30
4.2 Mõõtetehnika	30
4.3 Mõõtetulemuste analüüs.....	32
4.3.1 Uusküla tee	32
4.3.2 Tõru tänav	33
4.3.3 Mahlamäe tänav.....	33
4.3.4 Tallinna maantee I	34
4.3.5 Tallinna maantee II	34
KOKKUVÕTE	35
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	39
LISAD	41
Lisa 1 Valgustehniliste mõõtmiste aruanne nr. MP_20210403_V_ELF	41

EESSÕNA

Käesolev lõputöö on koostatud Elfi Elekter OÜ ettepanekul. Töös kasutatud kirjalik materjal on kogutud raamatutest, standarditest ja internetist. Lõputöö lähteandmed on saadud Elfi Elekter OÜ esindaja käest, kelleks on lõputöö autor.

Lõputöö autor soovib tänada tema juhendajat Toivo Varjast, kes aitas lõputöö valmimisele kaasa, samuti Taavi Möllerit, kes koos juhendaja Toivo Varjasega teostasid valgusmõõtmised.

Sten Strandberg

Tallinna mnt. 48, Rapla, Raplamaa

+372 53 427 611

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

Tähised

cd/m^2	kandela ruutmeetri kohta
CO_2	süsinikdioksiid
kV	kilovolt
kW	kilowatt
kWh	kilowatt tund
L	heledus
L_{max}	maksimaalne heledus
L_{min}	minimaalne heledus
MWh	megawatt tund
U_l	sõidutee pinna heleduse pikiühtlus
U_0	teepinna heleduse üldühtlus
W	watt

Lühendid

ENSV	Eesti Nõukogude Sotsialistlik Vabariik
KIK	Keskkonna Investeeringute Keskus
KOV	Kohalik omavalitus

SISSEJUHATUS

Tänavavalgustuse olemasolu tihedama liiklusega alal on oluline, et tagada liiklejate ohutus ja turvalisus. Liiklejate ohutuse ja turvalisuse tagamiseks peab tänavavalgustus vastama vähemalt kehtestatud nõuetele. Kahjuks on hetkel paljudes KOV-i hallatavates piirkondades tänavavalgustusvõrk ehitatud ENSV ajal ja tänaseks lootusetult amortiseerunud ja energiakulukas, ega vasta kehtestatud nõuetele. Viimasel ajal on palju analoogsetest tänavavalgustusvõrkudest rekonstrueeritud KIK-i tänavavalgustuse taristu renoveerimise meetme kaudu. Antud lõputöös uuritakse lähemalt rekonstrueerimis protsessi Rapla valla näitel.

Käesolev lõputöö teema on aktuaalne, kuna järjest enam renoveeritakse olemasolevat tänavavalgustust, et saavutada töökindel ja energiasäästlik valgustusvõrk. Antud lõputöö põhjal saadakse järgmiste rekonstrueerimiste tarbeks teavet, millele rohkem tähelepanu pöörata.

Lõputöö autor valis antud teema isiklikest kogemustest seoses tänavavalgustuse hooldaja ja ehitajana. Kusjuures lõputöö autor hooldab Rapla valla tänavavalgustust, ehitusel osales alltöövõtjana kolmes piirkonnas ja aitas koostada KIK-ile dokumentatsiooni toetuse saamiseks.

Projekti läbitöötamiseks kasutati Autocadi jooniste ja skeemide vaatamiseks ja Dialux evo valgusarvutuste vaatamiseks ja arvutamiseks.

Esimene peatükk sisaldab endas vanade kõrglahenduslampide ja uute leedvalgustite tutvustusi. Lisaks juhtimissüsteemi olulisusest valgustussüsteemi juhtimisel ja käidul, nii energiatõhususe kui rikkekindluse seisukohast.

Teine peatükk vaatleb lähemalt projekteerimise poolt, nendega seotud probleeme ning millele tuleks rohkem tähelepanu pöörata nii tellija, kui ka projekteerija poolt. Lisaks Rapla projektile vaadeldakse lühidalt ka Kohila tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekti. Samuti teostati valgusarvutused M5 valgustusklassile ja selle sobivust antud keskkonda.

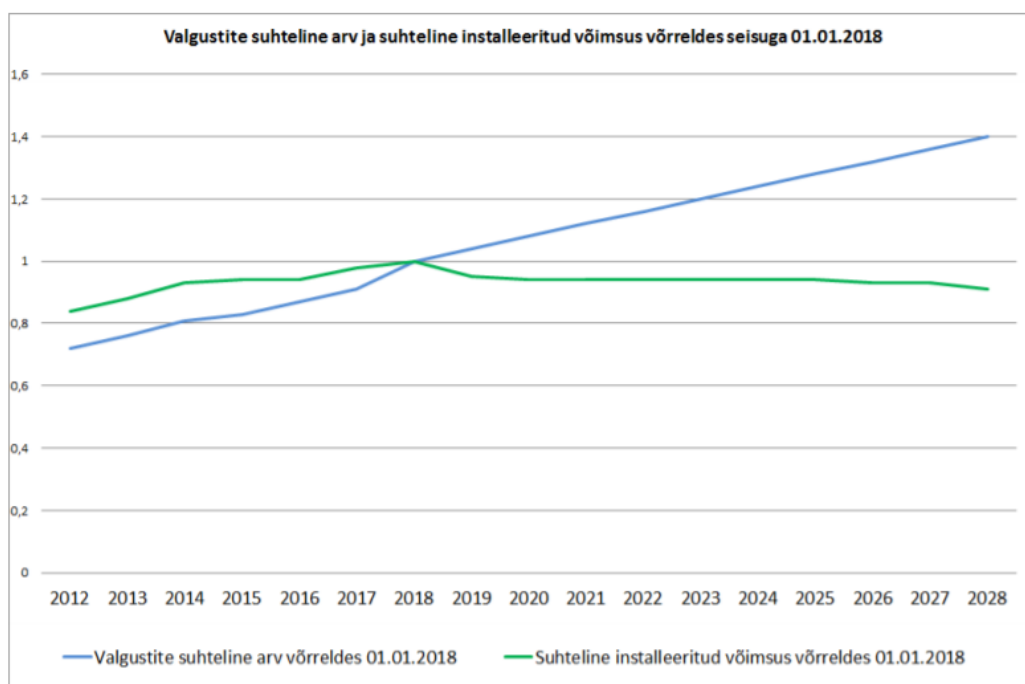
Kolmas peatükk käsitleb endas elektrienergia säästu, nii projekteeritud, kui ka kolme LJS piirkonna põhjal tehtud kuutarbimiste põhjal. Veel vaadeldi tasuvusaja pikkust, energiatõhusust ja elukaarekulusid.

Neljandas peatükis teostatakse kontrollmõõtmised ja võrreldakse saadud tulemusi projekteeritud tulemustega.

1. Tänavavalgustusvõrgu rekonstrueerimine

Tänavavalgustusvõrgu rekonstrueerimine on hetkel KOV-ide jaoks üpriski aktuaalne teema, kuna valdav enamus tänavavalgustusvõrkudest, mis on ehitatud ENSV aegadel on praeguseks lootusetult amortiseerunud ja samuti annab KIK toetusi vanade energiakulukate tänavavalgustusvõrkude rekonstrueerimiseks energiasäästlikumateks. Siinkohal tuleks ära märkida, et KIK toetab ainult olemasoleva tänavavalgustusvõrgu rekonstrueerimist, mitte uue ehitamist. Ehk kui tänava lõpus oleks vaja paar valgustit juurde lisada, siis seda ei toetata, aga vahepealsete valgustite lisamist, ehk tihendamist, toetatakse. Lisaks, mida suurem energiakokkuhoid ja ehituskulud, seda suurem on KIK-i poolne toetus. [1]

Järgnevalt toon välja näited Viimsi valla ja Tartu linna põhjal, milliseid võimalusi lisavalgustamiseks ja energiasäästuks tänavavalgustuse rekonstrueerimine annab. Tänavavalgustusvõrgu rekonstrueerimise tagajärjel tekkiv sääst annab võimaluse tänavavalgustusvõrku laiendada piirkondadesse, kus seda varem polnud ilma tänavavalgustuse koguvõimsust suurendamata. Järgnevalt toon välja näited Viimsi valla ja Tartu linna põhjal, milliseid võimalusi lisavalgustamiseks ja energiasäästuks tänavavalgustuse rekonstrueerimine annab. Viimsi valla tänavavalgustuse arengukavas on välja toodud valgustite arvu ja kogu võimsuse suhteline muutus perioodil 2012 kuni 2018 ja prognoos aastani 2028. [2]



Joonis 1.1 Viimsi valla valgustite arvu ja tänavavalgustuse võimsuse suhteline muutus 2012-2018 ja prognoos aastani 2028.[2]

Jooniselt 1.1 on näha, et aastaks 2028, on planeeritud kaks korda rohkem valgusteid valla võrgus kui 2012 aastal, aga valgustite koguvõimsus on samas suurusjärgus.

Tartu linna tänavavalgustuse asenduskavas on välja toodud energiatarbimise kokkuhoid kõigi kõrgrõhu-lahenduslampide väljavahetamisega leedvalgustite vastu.[3]

Tabel 1.1 Tartu linna tänavavalgustuse energiatarbimine (MWh) [3]

Piirkonnad	2010	2014	2020	2024
1. Ihaste		538	538	161
2. Kesklinn-Karlova		1 099	330	330
3. Ropka		622	622	187
4. Tammelinn		892	268	268
5. Veeriku-Ravila		837	251	251
6. Kesklinn-Tähtvere-Supilinn		1 295	389	389
7. Raadi-Kruusamäe-Kvissentali		642	642	193
8. Annelinn-Ülejõe-Raadi		596	596	179
9. Annelinn		841	252	252
Tartu linn aastal 2010	7 456			
KOKKU	7 456	7 361	3 887	2 208

Tabelist 1.1 on näha, et aastaks 2024 on energiatarbimise kokkuhoiuks planeeritud 70% võrreldes aastaga 2010. [3]

1.1 Tänavavalgustid

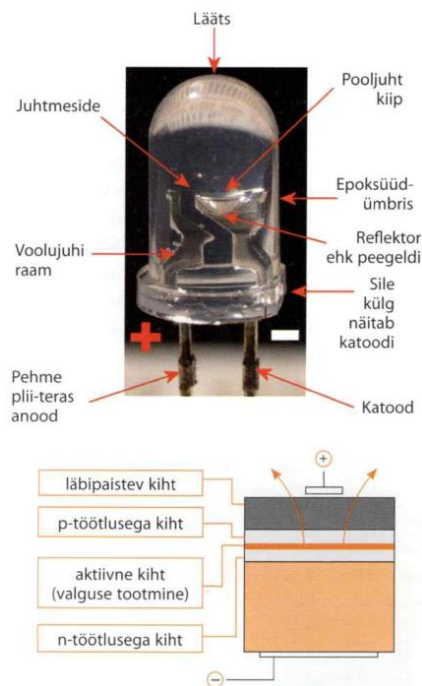
Eestis on hetkel põhiliselt kasutusel kahte tüüpi tänavavalgusteid – leedvalgustid ja gaaslahendusvalgustid. Veel vähem kui kümme aastat tagasi ehitati enamus tänavavalgustusvõrkudest gaaslahendusvalgustitega, täpsemalt siis kõrgrõhu-naatriumlampidega, aga praeguseks on need juba ajalukku jäänud ja uued ehitused tehakse kõik leedvalgustitega. Kuna praeguseks ajaks on leedi tehnoloogia küllaltki

taskukohane ja ülalpidamisi arvesse võttes kordades odavam, kui naatriumi tehnoloogia. Lisaks keelas Euroopa Liit uute kõrgrõhu-naatriumlampide tootmise, mis kiirendab kindlasti olemasolevate tänavavalgustusvõrkude rekonstrueerimist, sest varsti pole enam vanadele valgustitele lampe saada.

1.1.1 Leedvalgustid

Praegusel ajal projekteeritakse ja ehitatakse kõik tänavavalgustusvõrgud leedvalgustitega. Leed ehk valgusdiod on tahke pooljuhtkomponent, mis konverteerib elektrienergia otse valguseks. Valgusdiod on suure efektiivsusega, sest suurem osa tema valgusest on spektri nähtavas alas. Leed tänavavalgusti koosneb tavaliselt valgusdiodidest, jahutist, toiteplokkist ja vastavalt juhtimissüsteemile vajalikest lisaseadmetest, nagu näiteks antenn. [4]

Tänapäevased leedtänavavalgustid võimaldavad vastavalt optika valikule valgustada just seda ala, mida antud objektile vaja, seejuures tekitamata liigset valgusreostust. Mistõttu eelneb enne valgusti valimist kindlast valgusarvutuse teostamine, et valida antud situatsiooni parim valgusti ja optika. Lisaks on võimalik valgusteid DALI kaudu dimmerdada vastavalt vajadusele või siis programmeerida dynadimmeri abil öine säät, näiteks valgusti töötab kella 07:00 kuni 23:00 100% võimsusega, aga kella 23:00 kuni 07:00 50% võimsusega.



Joonis 1.2 Valgusdiodi ehitus-põhimõte [4]

Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimisel, mida antud töös lähemalt uurin, kasutati Philips BGP281 ja BGP282 seeria valgusteid, kusjuures võimsamatele kui 35 W valgustitele on tehase poolt öine sääst sisse programmeeritud. [5]



Joonis 1.3 Philips BGP281 leedtänavavalgusti [6]

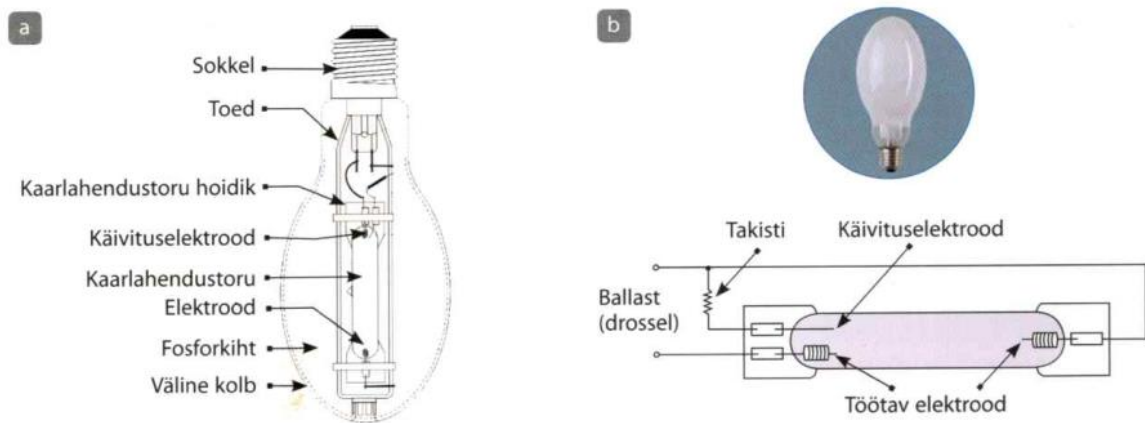
Lihtsamad KIK-i nõuetele vastavad tänavavalgustid sisaldavad lisaks valgusdiodile veel leedi draiverit ja 10 kV liigpingepiirikut. Analoogsetele valgustitele saab programmeerida öiseks ajaks võimsuse vähendamise, ning need tuleb programmeerida enne paigaldamist, üldjuhul tehakse seda tehases tootmise käigus. Hilisem ümberprogrammeerimine on väga töömahukas, sest iga valgustit tuleb eraldi programmeerida valgustuspunkti juures. Kui on teada, et hiljem soovitakse säästuprogramme muuta, on mõistlik uue kaabelliini rajamise käigus paigaldada lisaks juhtimiskaabel signaali edastuseks leedi draiverile programmi muutmiseks. Kui kaabelliine ei rekonstrueerita, siis tuleb valgustitele paigaldada raadioside vastuvõtjad, siis saab raadioside kaudu signaali edastada leedi draiverile programmi muutmiseks.

1.1.2 Gaaslahendusvalgustid

Gaaslahendusvalgustid ehk teisisõnu kaarlahenduslambid omavad suletud keskkonnas ehk kolvis gaasi, mille vabad elektronid omandavad piisavalt suure süütepinge korral suure kineetilise energia ja ergastavad energiavahetuslikel põrgetel gaasi aatomeid ja molekule, kiirates samal ajal footoneid. Selle tagajärjel algab huumlahendus, mis läheb üle kaarlahenduseks ja temperatuur kolvis hakkab kiiresti tõusma, mille tagajärjel muutub kolvis olev gaas intensiivselt kiirgavaks helendavaks plasmaks. Kogu see

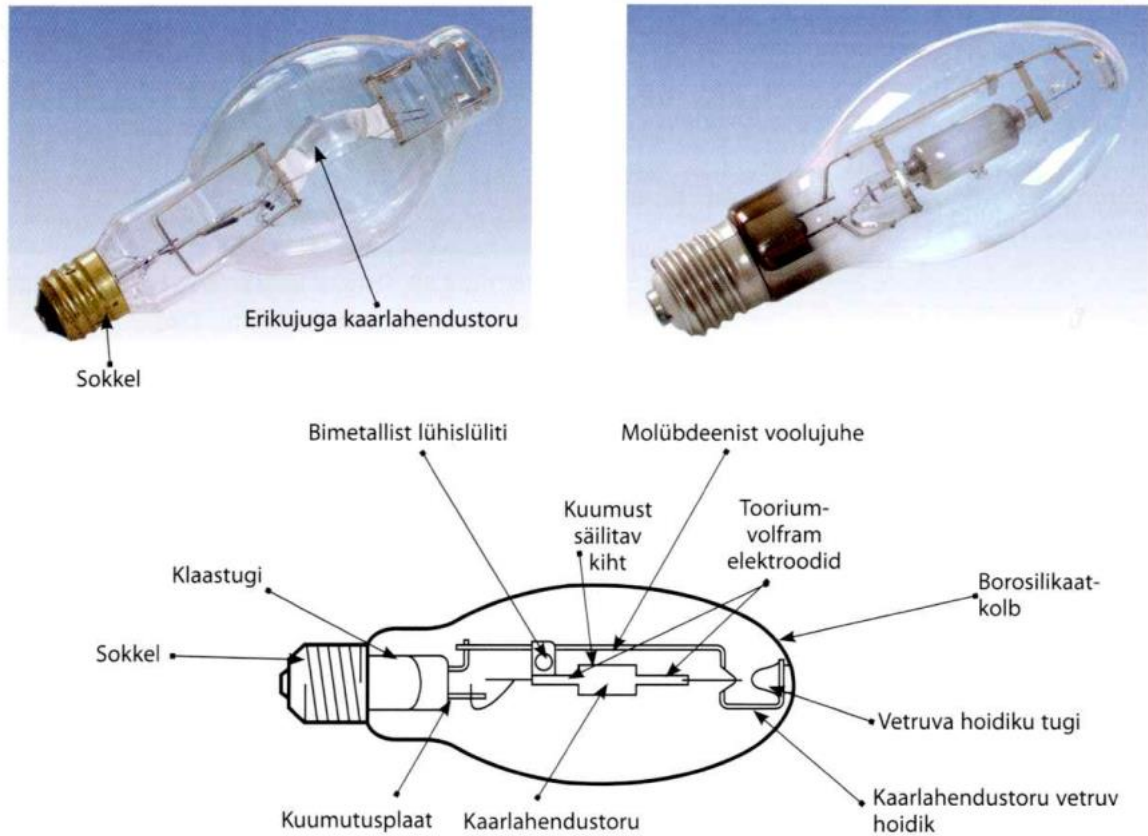
protsess võtab aega ja seetõttu võivad olla kaarlahenduslampide käivitusaeg kuni 10 minutit. Milline valgus realselt antud kolvist kiirgama hakkab sõltub pingest, gaasi koostisest, rõhust, kolvi kujust ja elektronide vahekaugusest. Põhiliselt liigituvad kaarlahenduslambid madal- ja kõrgrõhulampideks. [4]

ENSV aegsetel tänavavalgustusehitustel oli populaarseimaks lambiks kõrgrõhu-elavhõbelambid tänu oma suuremale valgusviljakusele ja elueale võrreldes hõõglampidega. Kõrgrõhu-elavhõbelambid on ka ühtlasi vanimad kõrgrõhulambid. Kaarlahendustoru on kvartsklaasist ja sisaldab elavhõbedat ja väikestes kogustes argooni, neoni ja krüptooni. Praeguseks hetkeks on nende tootmine Euroopa Liidus keelatud ja saadaolevate lampide kvaliteet on halvenenud. [4]



Joonis 1.4 Kõrgrõhu-elavhõbelambi ehituspõhimõte (a) ja lampide kujundusviise (b) [1]

Metallhalogeniidlambid on oma ehituselt sarnased kõrgrõhu-elavhõbelambiga, kaarlahendustoru konstruktsioon ja tööpõhimõte vastavad kõrgrõhu-elavhõbelambi omale. Kaarlahendustorus on metallhalogeniidlampil kasutusel mitmesuguste metallide halogeniid, tavaliselt jodiide. Antud lampe kasutatakse täna oma külmemale värvustemperatuurile põhiliselt kohtvalgustitena ja ülekäiguraja valgustamisel. Paigaldamisel tuleb jälgida, millises asendis võib antud lampi kasutada, sest vale asendi korral võivad muutuda nii valgusvärvus ja eluiga, või valgusti ei sütti üldse. [4]



Joonis 1.5 Metallhalogeniidlampi ehitus vertikaalse ja horisontaalse tööasendi puhul [4]

Kõrgrõhu-naatriumlambis annab valgust kõrgetemperatuuriline väikese läbimõõduga süüteelektroodita kaarlahendustoru, mis sisaldab naatriumi, elavhõbetat amalgaamiumi kujul ja kseoni. Antud lamp on kõrgrõhulampidest enim levinud Eesti tänavavalgustuses, oma heade tööomaduste poolest, nagu näiteks lülitamiskiirus ja väikse valgusvoo vähenemise tõttu. Kõrgrõhu-naatriumlampide tootmine on Euroopa Liidus keelatud. [4]



Joonis 1.6 Kõrgrõhu-naatriumlamp [4]

Tabel 1.2 Valgusallikate parameetrite võrdlus [7]

	Kõrgrõhu- elavhõbelamp	Kõrgrõhu- naatriumlamp	Metall- halogeniidlamp	Leedlamp
Võimsus, <i>W</i>	50- 1 000	35- 1 000	20- 1 500	1- 200
Valgusvilkakus, <i>lm/W</i>	40- 150	90- 140	80- 115	70- 200
Värvsustemperatuur, <i>K</i>	3 800- 4 100	2 000	3 000- 7 300	2 500- 10 000
Käivitusae, <i>min</i>	10	3	5	-
Eluiga, <i>h</i>	8 000- 12 000	10 000- 40 000	10 000- 20 000	80 000- 100 000

Tabelis 1.2 on välja toodud kõrgrõhulampide ja leedvalgustite võrdlus, lisaks iseloomustab leedvalgusteid väikesed hoolduskulud ja võimsuse vähendamise võimalus.

1.2 Juhtimine

Tänapäevase tänavavalgustuse lahutamatuks osaks moderne juhtimissüsteem koos kilbikontrolleriga, et tagada tänavavalgustusvõrgu probleemideta ja energiasäästlik töötamine. Enne tänavavalgustusvõrkude rekonstrueerimise alustamist tuleb välja valida antud KOV-ile sobilik juhtimissüsteem. Mida keerukam ja rohkemaid võimalusi pakkuv on juhtimissüsteem, seda kallim on ka alginvesteering ja igakuised side- ja programmikulud. Üldjuhul kasutavad KOV-id dynadimmer juhtimisega valgusteid ja kilbipõhist juhttarkvara, ehk distantsilt on võimalik jälgida kilbi parameetreid ja teostada lülitamisi distantsilt fiidrite kaupa. Antud lahendus on kasutusel ka Rapla vallas kasutades Gridens Software tehnoloogiat. [5]

1.2.1 Juhtimissüsteemid energiatõhususe seisukohast

Dynadimmeriga juhitavad valgustid võimaldavad öisel ajal säästa oluliselt elektrienergiat, samal ajal tagades ühtlase valgustuse. Võrreldes vana süsteemiga, kui programmkell lülitas kaks faasi kolmest välja ööseks, jättes põlema ainult iga kolmanda valgusti, mis tähendas seda, et öisel ajal oli põlevate valgustite vahe ca 120 meetrit. Juhtimissüsteemi poolt väljastava info põhjal on võimalik koheselt rikkele reageerida, näiteks kui kuskil valgustus põleb päevasel ajal või fiidri voolutarve on tavapärasest suurem, vähendades seeläbi energiakulu.

1.2.2 Juhtimissüsteemid hoolduse seisukohast

Kuna lõputöö autor hooldab teiste seas ka Rapla valla tänavavalgustusvõrku, on hooldaja kogemusele tuginedes teada, et pärast kilbipõhise juhtimis- ja jälgimissüsteemi kasutusele võttu on hoolduskulud nii hooldaja ja KOV-i jaoks langenud. Seda seetõttu, et juhtimissüsteem annab otsestest rikestest nagu näiteks fiidri kaitsme väljalülitus koheselt teada ja saame operatiivselt rikkega tegelema hakata, samas saab programmist saadava info, nagu näiteks pinge väärtuse ja fiidrikaitsmete asendi, põhjal järeltada, mis materjali ja tehnikaga on vaja objektile minna. Samuti vähendab antud süsteem tühiväljasõitude arvu ja rikketalituse aega. Kuna juhtimissüsteem jälgib ka fiidrite koormusvoole, saab selle põhjal avastada lekkevoole ja vöörtarbijaid.

2 Rekonstrueerimise projektid

2.1 Projektide analüüs

Alljärgnevalt analüüsin lähemalt Rapla valla ja Kohila valla tänavavalgustuse projekte valgustusvõrgu hooldaja seisukohalt, lisaks Rapla valla projekti ehitaja seisukohalt.

2.1.1 Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekt

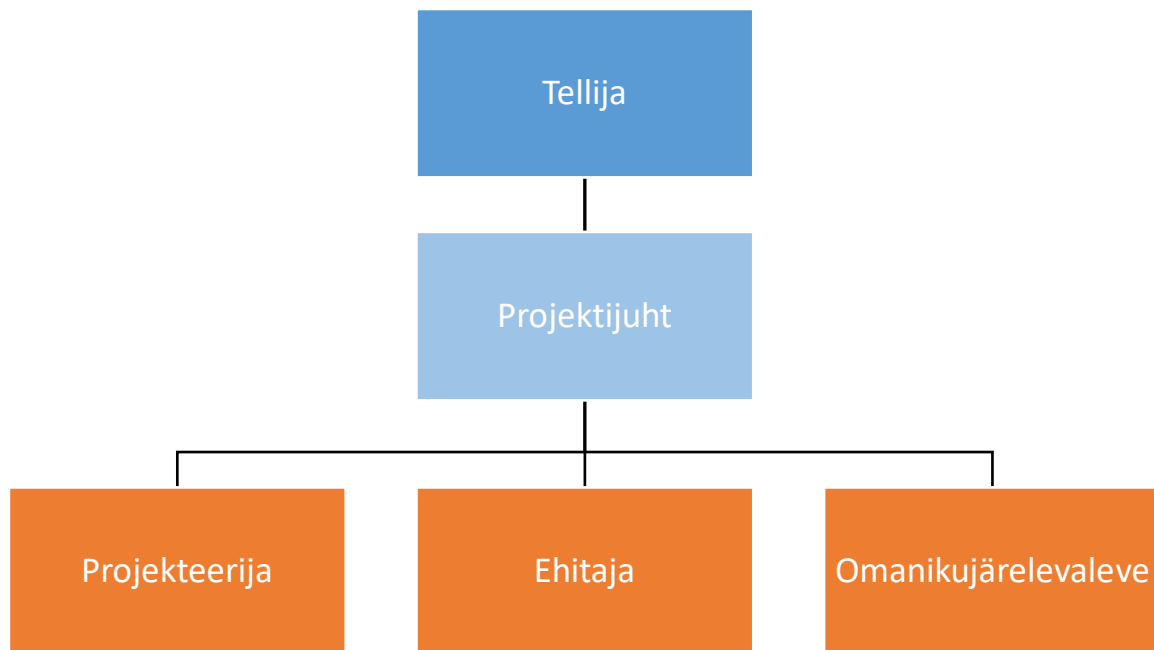
Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekti koostas Hepta Group Energy OÜ ja antud projekt tekitas probleeme nii tellijale, hooldajale kui ka ehitajale. Kuna projekteerija realselt piirkonda läbi ei käinud, puudus projekteerijal ka korralik ülevaade olemasolevast võrgust. Seetõttu tuli ehituse käigus näiteks lisatöödena teostada amortiseerunud tänavavalgustuse puitpostide vahetusi, mida projekteerija polnud ette näinud. Lisaks oli ette nähtud valed konsoolid mitmes kohas, mille tõttu asus valgusti lõpuks tee keskjoonest vastas teeserva pool. Hooldajana tuli projekti põhjalikult mitu korda üle kontrollida projekteerimise staadiumis ja saata parandusettepanekuid projekteerijale, aga kuna lõpuks polnud enam aega projekti parandada, sest ehitusaeg kannatas selle all, jäi ikkagi projekti arvestaval hulgal probleeme üles. [5]

2.1.2 Kohila Valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekt

Kohila valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekti koostas Leonhard Weiss ja see oli väga korralikult ja põhjalikult teostatud. Projekteerija käis kogu piirkonna läbi, pildistades kõik valgustuspunktid üles. Seetõttu oli projekteerijal hea ülevaade olemasolevast olukorrast, ning ehitajal ei tulnud tööde käigus ebameeldivaid üllatusi ette. Tähtaegadest peeti ilusti kinni, mistõttu laabus kogu projekteerimis- ja ehitusprotsess suuremate probleemideta. Kohila Vallavalitsus tellis projektijuhtimisteenuse sisse, kes tegeles antud projektiga projekteerimise algusest, kuni ehituse lõpuni, mis samamoodi aitas kaasa asjade sujuvaks kulgemiseks. [8]

2.2 Ettepanekud järgmistele projektidele

Eelpool toodust tuleb projekteerimisel projekteerijal tutvuda põhjalikult projekteeritava piirkonna olemasoleva võrguga, et vältida hilisemaid üllatusi ehitusajal. KOV-idel on mõistlikum KIK-i suuremahuliste objektide korral tellida projektijuhtimisteenus, kes tegeleks antud objektiga projekteerimise algusest kuni ehituse lõpuni. Antud teenusega tegeleb näiteks AS Infragate Eesti, kes teostas projektijuhtimisteenust ka Kohila valla rekonstrueerimisel.



Joonis 2.1 Töökorraldus projektijuhtimisteenuse korral

Joonisel 2.1 on kujutatud töökorraldus rekonstrueerimistöode läbiviimiseks koostöös väljastpoolt sisse ostetud projektijuhtimisteenusega. Antud juhul Tellija tellib projektijuhtimisteenuse konkreetse projekti elluviimiseks algusest lõpuni. Sellisel juhul ei teki viivitusi rekonstrueerimise projekti elluviimisel, mis oleks võinud tekkida seoses tellija poolsest tähelepanematusest või igapäeva kohustustele lisanduvate töödega seotud ülekoormusest.

Rapla valla renoveeritud tänavavalgustuse kohta on tulnud kohalike elanike tagasisidena, nõrk valgustus. See on tingitud sellest, et uus valgustusvõrk sai KOV teedel projekteeritud M6 valgustusklassile vastav, mis on kõige nõrgem valgustusklass. Kuna valgustitel on võimalus dynadimmer juhtimisele, millega vähendatakse valgustite võimsust öiseks ajaks, on mõistlikum projekteerida valgustus M5 klassile vastav ja öiseks ajaks rakendada säästurežiimi. [9]

Lõputöö autor analüüsis lähemalt nelja tänavalõiku, mis on ehitatud valmis M6 valgustusklassile vastavalt ja tegi kordus valgusarvutused M5 valgustusklassiga, et analüüsida kahe erineva valgustusklassi energiatõhusust. Aastase tarbimise arvutamisel on arvestatud valgustite tööajaga 4161 tundi, millest 2400 tundi on vähendatud võimsusega 50%. [10]

Tabel 2.1 Tänavavalgustuse elektrienergia tarbimine M6 valgustusklassiga [5] [11] [12]

	Valgustite arv	Valgustite võimsus (W)	Kogu võimsus (W)	Aasta tarbimine teelõigul (kWh)	Maksumus aastas (€)
Tallinna mnt I	6	20	120	499,32	58,52
Tallinna mnt II	6	25	150	624,15	73,15
Tõru tn	3	20	60	249,66	29,26
Mahlamäe tn	5	25	125	520,13	60,99

Tabelist 2.1 on näha, et projektijärgse M6 valgustusklassiga on nelja tänavalõigu valgustamisele kuluv elektrienergia maksumus 221,92 eurot aastas.

Tabel 2.2 Tänavavalgustuse elektrienergia tarbimine M5 valgustusklassiga, öine sääst alates 35W [11] [12]

	Valgustite arv	Valgustite võimsus täisvõimsusel (W)	Valgusti võimsus öisel ajal (W)	Aasta tarbimine teelõigul (kWh)	Maksumus aastas (€)
Tallinna mnt I	6	32	32	798,91	93,63
Tallinna mnt II	6	39	19,5	692,87	81,20
Tõru tn	3	25	25	312,08	36,58
Mahlamäe tn	5	32	32	665,76	78,03

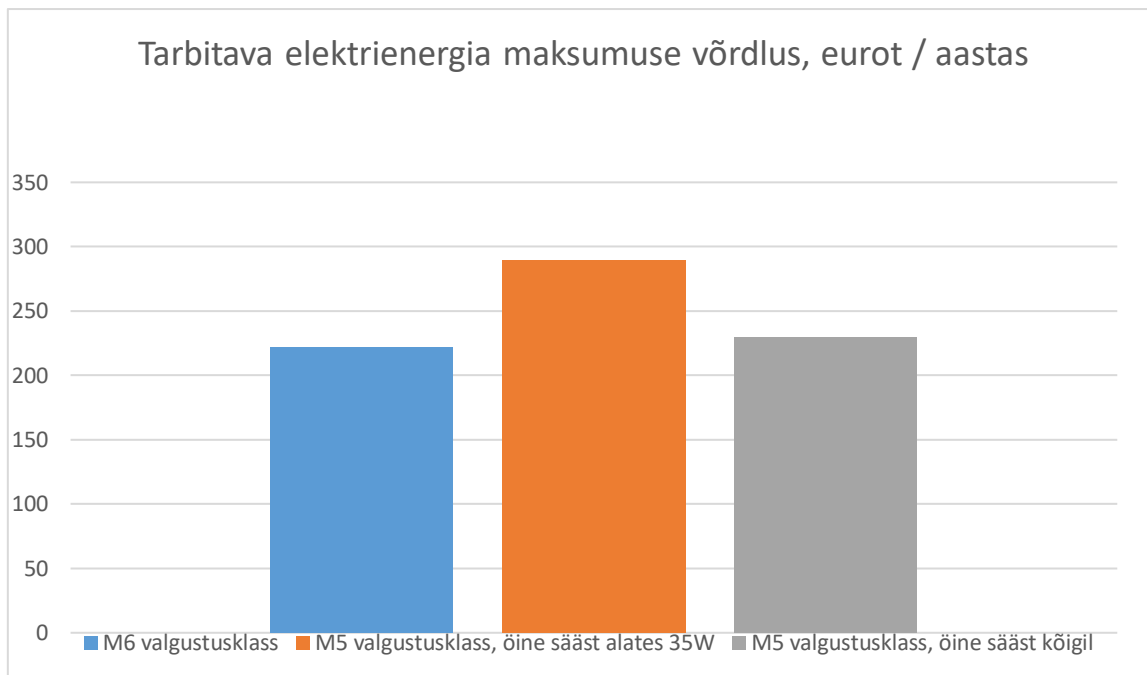
Tabelist 2.2 on näha, et M5 valgustusklassiga ja öise säästu rakendamisega alates 35W valgusti kohta on aastane elektrienergia maksumus 289,44 eurot aastas nelja tänavalõigu peale kokku.

Tabel 2.3 Tänavavalgustuse elektrienergia tarbimine M5 valgustusklassiga, öine sääst kõigil valgustitel [11] [12]

	Valgustite arv	Valgustite võimsus täisvõimsusel (W)	Valgusti võimsus öisel ajal (W)	Aasta tarbimine teelõigul (kWh)	Maksumus aastas (€)
Tallinna mnt I	6	32	16	568,51	66,63
Tallinna mnt II	6	39	19,5	692,87	81,20
Tõru tn	3	25	12,5	222,08	26,03
Mahlamäe tn	5	32	16	473,76	55,52

Tabelist 2.3 järeldeb, et M5 valgustusklassiga ja öise säästu rakendamisega kõikide võimsustega valgustitele on aastane elektrienergia maksumus 229,38 eurot aastas nelja tänavalõigu peale kokku.

Joonis 2.2 Neljale tänavalõigule kuluva elektrienergia maksumus aastas.



Ülaltoodud tabelitest ja joonisest selgub, kui valida teevalgustusklassiks M6-e asemel M5 ja öist säästu 50% rakendada kõigi võimsustega valgustitele tekib konkreetse nelja tänavalõigu valgustamisel elektrienergia lisakulu 7,46 eurot aastas. Protsentuaalselt on see 3,36% suurem iga-aastane energiakulu, aga töötavate valgustitega ajavahemikul 06:00 kuni 23:00 on tagatud M5 valgustusklass M6 asemel. Samas ajavahemikul 23:00 kuni 06:00 ei ole tagatud realselt valgustusklassi M6. Viies läbi pistelised kontrollid ajavahemikul 23:00 kuni 06:00 Rapla linna ja valla piirkondades, selgus, et antud ajavahemikul on inimeste ja autode liikuvus väga minimaalne.

Eelnevast lähtuvalt on lõputöö autori hinnangul mõistlik Rapla suguses KOV-is kasutada pigem tabel 2.3 toodud valgustuslahendust, M5 valgustusklassiga ja kõikide võimsustega valgustid programmeerida öiseks ajaks 50% võimsusega tööle. Antud lahendus tagab õhtuseks ja hommikuseks ajaks, kui on reaalne liikluskoormus teedel parema valgustuse ja öiseks ajaks, kui liiklust pole elektrienergia kokkuhoiu.

3 Rekonstrueerimise tasuvus

Enne rekonstrueerimise planeerimist tuleb põhjalikult kalkuleerida, kui põhjalikult ja millises mahus on majanduslikult mõistlik töid teostada. Alljärgnevalt uuritakse Rapla valla rekonstrueerimise elektrienergia sääst ja tasuvusaeg.

3.1 Elektrienergia sääst

Järgnevalt võrdlen elektrienergia säästu projekteerija poolt arutatud ja pisteliselt valitud kolmest LJS piirkonna tarbimise järgi. LJS tarbimise andmeteks kasutan Elektrilevi arvestite kuutarbimise informatsiooni.

Tabel 3.1 Projekteerija poolt arutatud elektrienergia kokkuvõid [5]

Näitaja	Võimsus (kW)	Tarbimine aastas (kWh)	CO ₂ / a
Enne rekonstrueerimist	64,527	258108	281338
Peale rekonstrueerimist	13,519	54076	58943
Kokkuvõid	51,008	204032	222395

Ülaltoodud tabelist on näha, et projektijärgne elektrienergia kokkuvõid peaks olema 79%.

Kontrolliks kasutan Rapla vallas, Valtu küla, Mitsurini LJS 57, Rapla linnas, Metsapargi LJS 13 ja Rapla linnas, Tammemäe LJS 21. Antud LJS piirkondades olid varasemalt kõik valgustid kas kõrgrõhu-naatriumlambid või kõrgrõhu-elavhõbelambid ja vahetusse läksid kõik valgustid. Vaadeldavaks perioodiks valiti november 2020 kuni veebruar 2021. CO₂ arvutamiseks on kasutatud 1 kWh=1,09 k CO₂.

Tabel 3.2 LJS 57 elektrienergia kokkuvõid [13]

Näitaja	Nelja kuu tarbimine (kWh)	kCO ₂
Enne rekonstrueerimist	4266,265	4650,2288
Peale rekonstrueerimist	1016,941	1108,4656
Kokkuvõid	3249,324	3541,7632
Kokkuvõiu %		76%

Tabel 3.3 LJS 13 elektrienergia kokkuhoid [13]

Näitaja	Nelja kuu tarbimine (kWh)	k CO ₂
Enne rekonstrueerimist	9810,766	10693,73494
Peale rekonstrueerimist	1894,132	2064,60388
Kokkuhoid	7916,634	8629,13106
Kokkuhoiu %	81%	

Tabel 3.4 LJS 21 elektrienergia kokkuhoid [13]

Näitaja	Nelja kuu tarbimine (kWh)	k CO ₂
Enne rekonstrueerimist	5706,508	6220,09372
Peale rekonstrueerimist	1801,145	1963,24805
Kokkuhoid	3905,363	4256,84567
Kokkuhoiu %	68%	

Ülaltoodust on näha, et projekteeritud elektrienergia kokkuhoid on ligilähedane tegeliku kokkuhoiuga.

3.2 Tasuvusaeg

Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimiseks viidi läbi kaks hanget riigihangete registrist, projekteerimishange ja ehitushange. Omanikujärelevalve hange viidi läbi hinnapäringu teel. Alljärgnevas tabelis on lepingute maksumused.

Tabel 3.5 Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise maksumus (€) [14]

	Maksumus ilma käibemaksuta	Maksumus koos käibemaksuga
Projekteerimistööd	24800	29760
Omanikujärelevalve	5700	6840
Ehitustööd	400237,9	480285,48
Kokku	430737,9	516885,48

Arvestades, et üldteenuse elektrienergia viimase aasta keskmine maksumus koos võrguteenusega on 0,13 €/kWh, saame arvutada rahalise kokkuhoiu elektrienergialt aastas. [11] [12]

$$204032 \times 0,13 = 26524,16$$

Arvutus 3.1 Rahaline kokkuhoid aastas elektrienergialt (€)

Arvestades, et aastas säästetakse elektrienergia ostult kokku 26524,16 eurot, leiame tasuvusaja ilma toetuseta.

$$516885,48 \div 26524,16 = 19,5$$

Arvutus 3.2 Tasuvusaeg ilma toetuseta (aastat)

Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimisest 61% toetas KIK ja 39% panustas KOV, leiame tasuvusaja toetusega.

$$19,5 \times 0,39 = 7,6$$

Arvutus 3.3 Tasuvusaeg toetusega (aastat)

Eeltoodud arvutusest on näha, et koos toetusega on tasuvusaeg ainult 7,6 aastat, mis on väga hea tulemus, ning tegelikult on tasuvusaeg veel kiirem, kuna rekonstrueerimise käigus ehitati ligemale kümme kilomeetrit uusi liine, mis tulnuks lähiajal nagunii teostada, sest vanad liinid olid lootusetult amortiseerunud.

3.3 Energiatõhusus ja elukaare kulud

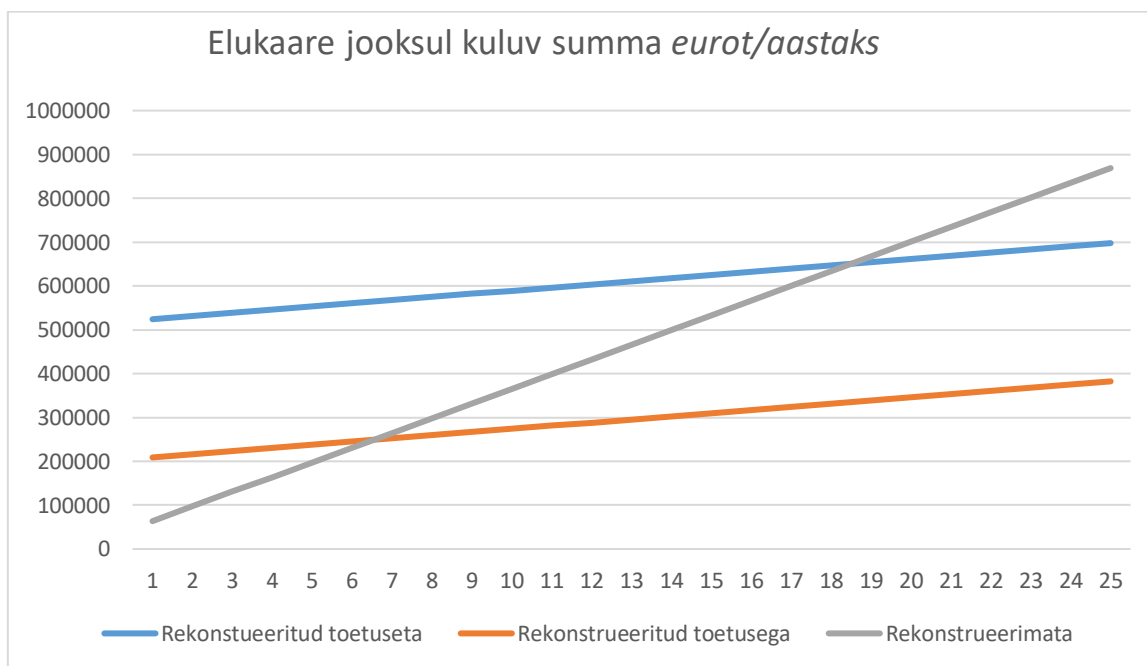
Tabel 3.6 Tänavavalgustuse rekonstrueerimise enne ja pärast võrdlus [5]

	Enne rekonstrueerimist	Peale rekonstrueerimist
Valgustite arv	471	571
Valgustite koguvõimsus <i>W</i>	64460	13938
Keskmise valgusti võimsus <i>W</i>	136,86	24,41
Energiakulu aastas <i>kWh</i>	268218,06	57996,02
Kokkuhoid aastas <i>kWh</i>	210222,04	

Tabelist 3.6 selgub, et kuigi rekonstrueerimise käigus lisandus 100 valgustit juurde vähenes iga-aastane energiakulu paarikümne majapidamise aastatarbimise võrra. Võttes arvesse, et tootja kinnitustel on leedtänavavalgustite eluiga vähemalt 100000 tundi, ei tohiks kuluda valgusti hooldusele rohkem, kui vastavalt vajadusele neid puhastada. Puhastamisvajaduse intervall sõltub ümbritsevast keskkonnast, Rapla

piirkonnas võib eeldatavaks vaheks hinnata 5 kuni 10 aastat, samas vana tüübi naatriumlambi eluiga varieerub 3 kuni 10 aasta vahel. Järelikult leedvalgustite hooldusele tehtavad töökulutused ja materjalikulutused kordades väiksemad võrreldes naatriumlambiga valgustitega. Samuti saab leedvalgustite puhastust ajatada sobilikule tööajale terve piirkonna korraga, aga naatrium lambi kustumisel tuleb koheselt reageerida üksiku valgusti pärast, mis tõstab tunduvalt ühe valgusti kohta tehtavaid kulutusi. Konkreetse projekti raames rekonstrueeritud tänavavalgustus lõigud oli valdavalt NSVL ajal ehitatud ja amortiseerunud, seetõttu tuleb arvestada lisaks lampide vahetusele ka valgustite vahetusega, postiühenduste korrastamisega, õhu- ja maakaabelliinide remondiga ja tänavavalgustuspostide vahetustega. Järgneva 25 aasta jooksul tulnuks teostada samas mahus rekonstrueerimistöid, mis teostati antud ehitustegevuse käigus.

Tabel 3.7 25 aastase elukaare jooksul tehtavad kogukulutused.



Tabelis 3.7 arvestati, et rekonstrueeritud võrgu hooldamiseks kulub aastas keskmiselt 200 €, rekonstrueerimata võrgu hooldamiseks ja remondiks keskmiselt 30000 €.Mida hiljem antud töid oleks teostatud, seda suuremad oleksid olnud KOV-ile tänavavalgustusele tehtavad kulutused arvestades energiakulu, jooksvaid rikkeid ja vajalikke ehitustöid. Sellisel juhul tulnuks tasuda KOV-il tehtavad kulutused omavahenditest, ilma KIK-i toetuseta, pikendades tasuvusaja 6,5 aasta pealt vähemalt 19,5 aasta peale, juhul kui vahepeal ei tekkiks kulukamaid rikkeid, mis tõstab tasuvusaega veelgi.

4 Valgusmõõtmised

Valgusmõõtmiste teostamine on KOV-idele vajalik, tagamaks neile kindlus, et valmishitatud tänavavalgustuspaigaldis vastab nende poolt soovitud, mis on täpsemalt välja toodud kas lähteülesandes või valitakse valgustusklass projekteerimise käigus. Sellest lähtuvalt tuleks valgusmõõtmised läbi viia enne objekti üleandmist KOV-ile ja enne garantiiaja lõppu, et teha kindlaks kas valgustuspaigaldis vastab algnõuetele ka pärast aastate pikkust kasutamist.

Valgusmõõtmised teostati viies piirkonnas. Kõik mõõtmised teostati Rapla vallas, täpsemalt Uuskülas Uusküla teel ja Tõru tänaval, Rapla linnas Mahlamäe tänaval ja Alu alevikus Tallinna maanteel kahel erineval lõigul. Eeltoodud tänavavalgustus lõikudest on Uusküla tee projekteeritud M5 ja ülejäänud M6 valgustusklassiga. Seetõttu on antud lõikudest ainult Uusküla teel öine valgustivõimsuse vähendamine 50%-le. Rekonstrueerimise käigus toimusid Uusküla mõlemal lõigul ainult valgustite vahetus, Rapla Ja Alu lõikudel paigaldati uued kaablid ja postid, mis andis projekteerijale võimaluse valida paremaid valgustite asukohti. [5] [9]

4.1 Üldandmed ja normdokumendid

Valgustehnilised mõõtmised telliti Tallinna Tehnika Ülikooli akrediteeritud valgustehnika labori poolt, lõputöö autor osales mõõtmistel vaatlejana ja tööde tellijapoolse esindaja. Antud tänavavalgustuse mõõtmistööd teostati ajavahemikul 19.04.2021 kuni 20.04.2021. Teepind oli kuiv, ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed, temperatuur 6°C ja nähtavus hea. Mõõtmiste käigus mõõdeti igal lõigul eraldi sõidusuundade teepinna heledus. Enne mõõtetööde teostamist tutvuti standardiga EVS-EN 13201-4:2015, Teevalgustus Osa 4: Valgusliku toimivuse mõõtemetodid. [15]

4.2 Mõõtetehnika

Mõõtevahendina kasutati Tallinna Tehnika Ülikooli valgustehnika labori digitaalset pildistava valguse heledusemõõtekaamerat LMK Mobile Air firmalt TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, mis asetseb mõõtmiste käigus 1,5 meetri kõrgusel statiivil, sõiduraja keskel.



Joonis 4.1 Pildistav valguse heledusmõõtekaamera LMK Mobile Air [16]

Kalibreerimiseks ja paranduskoefitsiendi saamiseks kasutati käsiheledusmõõtjat Konica Minolta LS-100 ja spektroradiomeetrit Specbos 1211UV-BT tootjalt JETI Technische Instrumente.



Joonis 4.2 Vasakul Konica Minolta LS-100 ja paremal Specbos 1211UV-BT [17] [18]

Nende seadmetega tehti enne LMK Mobile Air mõõtmisi kalibreerimine valgel pinnal, ning see on vaja teostada iga uue valgustitüübiga. Antud mõõtmistel oli Uusküla teel valgustiteks Philips BGP 282, ülejäänud lõikudel Philips BGP 281, ehk kalibreerimine tuli läbi viia kahel korral.



Joonis 4.3 Mõõtmiste eelse kalibreerimise teostamine

4.3 Mõõtetulemuste analüüs

Akrediteeritud valgustehnika labori poolt teostatud mõõtmiste mõõtetulemused on toodud Lisas 1.

4.3.1 Uusküla tee

Tabel 4.11 Uusküla tee valgusarvutuse andmed [5]

	Symbol	Calculated	Target	Check
Sõidutee 1 (M5)	L_{av}	0.54 cd/m ²	≥ 0.50 cd/m ²	✓
	U_o	0.45	≥ 0.35	✓
	U_l	0.45	≥ 0.40	✓
	TI	15 %	≤ 15 %	✓
	R_{EI}	0.55	≥ 0.30	✓

Uusküla teel on ainukesena valgustite võimsus üle 35W valgusti kohta, mis tõttu on seal ette nähtud valgusti võimsuse vähendamine 50% ajavahemikul 23:00 kuni 06:00. Esimene mõõdistus teostati kell 23:08, ja teine kell 23:55, aga mõlemal ajal töötasid valgustid 100% võimsusega. Grindens programmist selgus, et reaalse võimsuse vähendamine toimus kell 00:13. Antud juhtumi võis põhjustada kas vale programmeering, või lülitus tänavavalgustus tavapärasest hiljem tööle. Rapla vallas toimub tänavavalgustuse sisse- ja väljalülitamine hämaraanduriga läbi keskserveri, mitte astronoomilise kellaga.

Tabelist 4.2 selgub, et mõõdistatud lõigul paistab silma ere piklik laik, mis on teekattel olev rohkem peegeldav ala tee seisukorra tõttu. Mõõdistustulemused näitavad, et antud lõigu valgustus vastab M5 valgustusklassi nõuetele.

4.3.2 Tõru tänav

Tabel 4.12 Tõru tänava valgusarvutuse andmed [5]

	Symbol	Calculated	Target	Check
Sõidutee 1 (M6)	L_{av}	0.30 cd/m ²	≥ 0.30 cd/m ²	✓
	U_o	0.57	≥ 0.35	✓
	U_l	0.51	≥ 0.40	✓
	R_{EII}	0.79	≥ 0.30	✓
	$TI^{(1)}$	12 %	-	-

Tõru tänava lõigu teepinna heledus vastab nõuetele ja projekteeritud valgusarvutuse väärtustele.

4.3.3 Mahlamäe tänav

Tabel 4.13 Mahlamäe tänava valgusarvutuse andmed [5]

	Symbol	Calculated	Target	Check
Sõidutee 1 (M6)	L_{av}	0.38 cd/m ²	≥ 0.30 cd/m ²	✓
	U_o	0.60	≥ 0.35	✓
	U_l	0.52	≥ 0.40	✓
	TI	13 %	≤ 20 %	✓
	R_{EII}	0.67	≥ 0.30	✓

Mahlamäe tänava lõigu teepinna heledus vastab nõuetele ja läheneb juba M5 valgustusklassile. Tabelitest 4.5 ja 4.6 selgub, et teepinna heledus on ühel sõidurajal 0,45 cd/m² ja teisel sõidurajal 0,53 cd/m². Valgustusklassi M5 miinimumnõue teepinna heledusele on 0,5 cd/m². Kusjuures reaalne postivahe on 43,1 meetrit, aga valgusarvutus on teostatud 42 meetrise postivahega.

4.3.4 Tallinna maantee I

Tabel 4.14 Tallinna maantee I valgusarvutuse andmed [5]

	Symbol	Calculated	Target	Check
Sõidutee 1 (M6)	L_{av}	0.30 cd/m ²	≥ 0.30 cd/m ²	✓
	U_o	0.62	≥ 0.35	✓
	U_l	0.61	≥ 0.40	✓
	TI	12 %	≤ 20 %	✓
	R_{EI}	0.79	≥ 0.30	✓

Tallinna maantee II lõigu teepinna heledus vastab normidele ja ületab projekteeritud valgusarvutuste väärtusi. Tõenäoliselt on see tingitud sellest, et valgusarvutus oli arvutatud 40 meetrise postivahega, aga mõõdistatava ala postivahe oli 38,6 meetrit.

Tallinna maantee I lõigu teepinna heledus ei vasta nõutule, ehk M6 valgustusklassile, ega projekteeritule. Mõõtetulemused vastavalt tabelitele 4.7 ja 4.8 ei vasta valgusarvutustes seatud tingimustele $L \geq 0,30 \text{ cd/m}^2$, mis on ka valgustusklassi M6 miinimumnõue.

4.3.5 Tallinna maantee II

Tabel 4.15 Tallinna maantee II valgusarvutuse andmed [5]

	Symbol	Calculated	Target	Check
Sõidutee 1 (M6)	L_{av}	0.36 cd/m ²	≥ 0.30 cd/m ²	✓
	U_o	0.46	≥ 0.35	✓
	U_l	0.62	≥ 0.40	✓
	TI	14 %	≤ 20 %	✓
	R_{EI}	0.38	≥ 0.30	✓

Tallinna maantee II lõigu teepinna heledus vastab normidele ja ületab projekteeritud valgusarvutuste väärtusi. Tõenäoliselt on see tingitud sellest, et valgusarvutus oli arvutatud 40 meetrise postivahega, aga mõõdistatava ala postivahe oli 38,6 meetrit.

KOKKUVÕTE

Käesolev lõputöö teostati Elfi Elekter OÜ ettepanekul. Idee lõputöö koostamiseks tuli asjaolust, et praegusel ajal rekonstrueeritakse paljudes piirkondades tänavavalgustusvõrke.

Käesolev uurimustöö annab juhiseid, mida jälgida tänavavalgustusvõrgu rekonstrueerimise planeerimisel ja projekteerimisel, selleks uuris autor lähemalt Rapla valla tänavavalgustuse rekonstrueerimise projekti. Tuues välja projekti kitsaskohad ja andes nõuandeid, mida tuleks teisiti teha. Lisaks tutvustati kaasaegsete leedvalgustite kasumlikust vanade kõrgrõhu valgustite ees ja kuidas tänapäevased juhtimissüsteemid vähendavad kulutusi ja tõstavad võrgu töökindlust.

Lõputöö esimeses peatükis kirjeldati lähemalt vanu kõrgrõhu lampide ehitust, koos nende plusside ja miinustega. Samamoodi tutvustati tänapäevaseid leedvalgusteid, koos nende plusside ja miinustega, samuti milliseid lisavõimalusi nad võimaldavad, nagu näiteks eelprogrammeeringuga öine sääst. Uuriti kuidas tänapäevane juhtimissüsteem vähendab kulutusi elektrienergiale ja hooldusele ning tõstab oluliselt valgustusvõrgu töökindlust. Kuna hooldaja saab koheselt teate juhtimistarkvaralt kui kuskil on tänavavalgustuse fiidrikaitse väljas või puudub juhtimiskilbil elektritoide. Juhtimistarkvara poolt saadavate andmete analüüsi käigus on võimalik tuvastada lekkevoole ja võõrtarbijaid. Lisaks vaadeldi Viimsi ja Tartu tänavavalgustuse kavasad.

Teises peatükis analüüsiti lähemalt projekteerimise protsessi ja projekti terviklikust. Anti soovitusi järgmiste projektide koostamiseks, nagu näiteks olemasoleva valgustusvõrguga korralik tutvumine, mis Rapla projekteerijal jäi tegemata ning mis põhjustas hiljem ebameeldivusi ja lisakulutusi nii ehitajale kui tellijale. Valgusarvutuste teostamisel ja tulemuste analüüsimisel selgus, et mõistlikum on valida M6 valgustusklassi asemel M5 ja valgustite võimsust vähendada öiseks ajaks 50%. Sellega seoses tõusevad elektrienergiakulud minimaalselt, aga õhtuti ja hommikuti, kui on tihedam liiklus on tagatud parem valgustus.

Kolmandas peatükis arvatati tasuvusajad ja rahalise kokkuhoidu elektrienergia ja hoolduse pealt. Rapla tänavavalgustuse aastane kokkuhoid elektrienergia pealt on 26524,16 eurot. Mille järgi tasuvusaeg ilma toetuseta tuli 19,5 aastat ja toetusega 7,6 aastat. See on ainult elektrienergia kokkuhoiduga arvatud tasuvusaeg, tegelikult vähenesid ka remondile kuluvad summad ja seoses sellega, et osa vanast võrgust oli lootusetult amortiseerunud, tulnuks rekonstrueerimistööd varem või hiljem ikka teostada. Antud juhul sai need teostada toetusega. Energiatõhusust ja elukaare kulusid

analüüsid selgus, et arvestades koos vana valgustusvõrgu jooksva remondiga väheneb tasuvusaeg koos toetusega 6,5 aasta peale, ning antud projekt olnuks KOV-i jaoks kasumlik ka ilma toetuseta.

Viimases peatükis teostati valgusmõõtmised viies piirkonnas, kontrollimaks valgustuse vastavust projektile ja analüüsiti saadud tulemuste vastavust projektile. Mõõtmiste käigus selgus, et Alus, Tallinna maantee I valgustuse mõõtetulemused ei vastanud nõuetele ega projekteeritule. Antud olukorraga tuleb edasi tegeleda, kontrollida valgustite kaldeid ja konsoolide ristumist sõiduteega. Vajadusel pöörduda edasi ehitaja või projekteerija poole. Uuskülas, Uusküla teel selgus mõõtmiste käigus üks tunduvalt eredam ala võrreldes ülejäänud teelõiguga. Päevasel ajal üle kontrollides selgus, et antud alal on teekatte teistsugune, mis peegeldab valgust. Mõõtetulemuste järgi vastasid kõik teelõigud peale Tallinna maantee I nõuetele.

SUMMARY

This dissertation was carried out on the proposal of Elfi Elekter OÜ. The idea for the dissertation came from the fact that at present the street lighting networks of many areas are being reconstructed.

This research provides guidelines to be followed when planning and designing the reconstruction of a street lighting network, for which purpose the author studied the street lighting reconstruction project of Rapla municipality in more detail. Highlighting project bottlenecks and providing advice on what should be done differently. In addition, the profitability of modern LED luminaires over old high-pressure luminaires and how modern control systems reduce costs and increase network reliability were introduced.

The first chapter of the dissertation described in more detail the construction of old high-pressure lamps, with their pros and cons. Similarly, modern LED luminaires were introduced, with their pros and cons, as well as what additional features they offer, such as pre-programmed night savings. It was studied how a modern control system reduces the costs of electricity and maintenance and significantly increases the reliability of the lighting network. Because the caregiver immediately receives a message from the control software if somewhere the street lighting feeder circuit breaker is off or there is no power supply to the control panel. During the analysis of the data received by the control software, it is possible to identify leakage currents and bow consumers. In addition, the street lighting plans of Viimsi and Tartu were observed.

The second chapter looked in more detail at the design process and the integrity of the project. Recommendations were made for the preparation of the following projects, such as a proper acquaintance with the existing lighting network, which the Rapla designer did not do and which later caused inconveniences and additional costs for both the builder and the customer. When performing the light calculations and analyzing the results, it became clear that it is more reasonable to choose M5 instead of the M6 lighting class and reduce the luminaire power by 50% at night. Related to that, the increase in electricity costs is minimal, but in the evenings and in the morning, when there is more traffic, better lighting is provided.

In the third chapter, payback times and financial savings on electricity were calculated. The annual savings of Rapla street lighting on electricity are 26524,16 euros. According to which the payback period without support came to 19,5 years and with support to 7,6 years. This is only the payback period calculated with the electricity savings, the actual amount of repairs also decreased, and due to the fact that part of the old network was hopelessly depreciated, the reconstruction work would still have to be carried out

sooner or later. In this case, they were able to carry them out with support. Analyzing the energy efficiency and life cycle costs, it became clear that considering the continuous repairs of the old lighting network, the payback period with support will decrease to 6.5 years, and this project would have been profitable for the local government even without the support.

In the last chapter, light measurements were performed in five areas to check the conformity of the lighting to the design and to analyze the conformity of the obtained results to the design. During the measurements, it became clear that the measurement results of the lighting of Alu, Tallinna maantee I did not meet the requirements or the design. This situation needs to be addressed further, checking the inclination of the luminaires and the intersection of the consoles with the road. If necessary, contact the builder or designer. In Uusküla, on Uusküla road, one much brighter area was revealed during the measurements compared to the rest of the road section. Inspections during the day revealed that the pavement in the area is different, reflecting light. According to the measurement results, all road sections except Tallinn Road I met the requirements.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

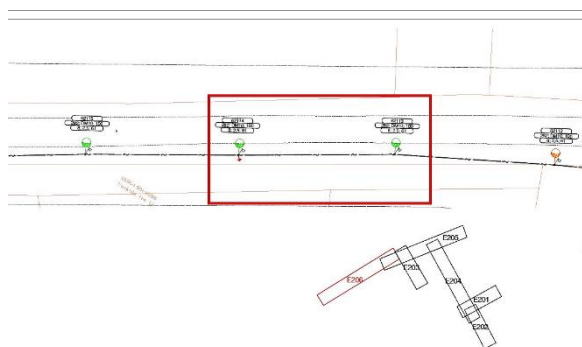
- [1] „Tänavavalgustuse taristu renoveerimise tingimused – Nõuded taotlusele” 09 august 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://kik.ee/sites/default/files/ST/st_tv_itv_nouded_taotlusele_eduardsizov.pdf [Kasutatud 01 aprill 2021].
- [2] V. Vallavalitsus, „Viimsi valla tänavavalgustuse arengukava 2019-2029” 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.viimsivald.ee/sites/default/files/inline-files/Viimsi%20valla%20t%C3%A4navavalgustuse%20arengukava%202019-2029.pdf> [Kasutatud 12.04.2021].
- [3] Tartu linn, „Energiasäästlik tänavavalgustus” 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://tartu.ee/et/t2navavalgustus#tanavavalgustuse-tulevikukavad> [Kasutatud 12.04.2020].
- [4] T. Tamm, Valgustustehnika I, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2009.
- [5] P. Turnau, “Rapla valla tänavavalgustuse renoveerimise põhiprojekti koostamine – põhiprojekt” (Projekti nr: 19-548), Tallinn: Hepta Energy OÜ, 2020.
- [6] Philips Lighting [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/road-and-urban-lighting/road-and-urban-luminaires/unistreet-gen2/910925866438_EU/product [Kasutatud 12.04.2021].
- [7] O. Pukk, “Energiaühenduse tänavavalgustuse väljaarendamine ning planeeritava juhtimissüsteemi analüüs Kakumäe küla näitel”, Tallinn: Tallinna Tehnika Ülikool, 2020.
- [8] J. Lõhmus, “Kohila alevi ja aleviga piirnevate külade tänavavalgustuse taristu rekonstrueerimine, Rapla maakond (hanke osa I) Kohila valla alevike ja külade tänavavalgustuse taristu rekonstrueerimine, Rapla maakond (hanke osa II) Kõited 1...7” (Projekti nr: ET1492), Tallinn: Leonhard-Weiss, 2018.
- [9] CEN/TR 13201- 1:2014 Teevalgustus. Osa 1: Valgustusklasside valiku juhised, Tallinn 2014.

- [10] Päikese, Kuu ja planeetide efemeriidid, tõus ja loojumine [Võrgumaterjal].
Saadaval:
<http://www.astronoomia.ee/tahistaevas/efemeriidid/?taevakeha=paike&tabel=touslooj&linn=tallinn&kuupaev=2021-01-01&ridu=365> [Kasutatud 04 mai 2021].
- [11] Elektriturg [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.energia.ee/era/elekter/elektriturg> [Kasutatud 01 aprill 2021].
- [12] Elektrilevi võrguteenuse hinnakiri [Võrgumaterjal]. Saadaval:
https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/kliendile/el_hinnakiri_vorguteenused_01112017_est.pdf [Kasutatud 01 aprill 2021].
- [13] Tarbimisajalugu - Elektrilevi [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<http://id.elektrilevi.ee/et/eteenindus/tarbimisajalugu> [Kasutatud 15 aprill 2021]
- [14] Riigihangete register [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://riigihanked.riik.ee/rhr-web/#/procurement/1814672/general-info> [Kasutatud 01 aprill 2021].
- [15] EVS-EN 13201- 4:2015 Teevalgustus. Osa 4: Valgusliku toimivuse mõõtemetodid, Tallinn, 2015.
- [16] Direct Industry [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.directindustry.com/prod/technoteam-bildverarbeitung-gmbh/product-63849-418222.html> [Kasutatud 02 mai 2021].
- [17] Konica Minolta [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://sensing.konicaminolta.asia/product/discontinued-ls-100-luminance-meter/>
[Kasutatud 02 mai 2021].
- [18] Jeti [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.jeti.com/Products/Spectroradiometer/specbos1211-2> [Kasutatud 02 mai 2021].
- [19] T. Varjas, "Valgustehniliste mõõtmiste aruanne nr. MP_20210403_V_ELF", Tallinn: Tallinna Tehnika Ülikool, 2021.

LISAD

Lisa 1 Valgustehniliste mõõtmiste aruanne nr. MP_20210403_V_ELF

Uusküla tee



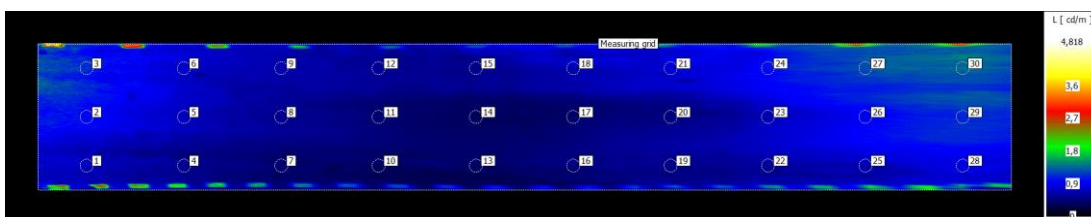
Joonis 4.4 Mõõdistatav ala Uusküla tee; suund Tallinna mnt. [19]



Joonis 4.5 Pilt mõõtekohalt suund Tallinna mnt. [19]



Joonis 4.6 Perspektiivvaade; Heleduspilt esitatud väärvärvides; suund Tallinna mnt [19]



Joonis 4.7 Mõõteala- heleduspilt väärvärvides ja mõõtepunktidega [19]

Tabel 4.1 Tulemused mõõtepunktides [19]

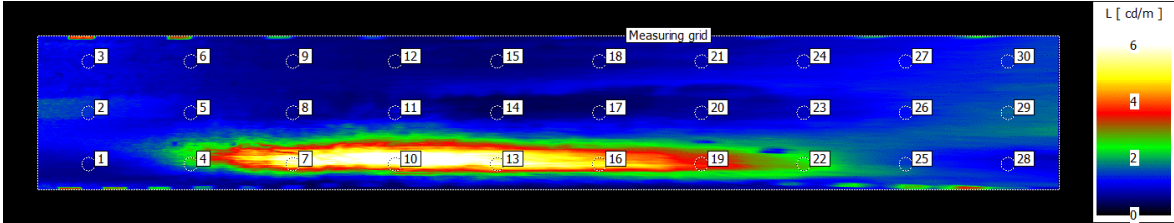
Mõõtepunktid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L_{max}	L_{min}	L cd/m ²	U_1	U_0
3	1.14	0.79	0.68	0.59	0.55	0.71	0.81	1.02	1.25	1.37	1.37	0.55	0.72	0.40	0.53
2	1.00	0.74	0.57	0.46	0.38	0.43	0.51	0.71	0.95	1.13	1.13	0.38		0.34	
1	0.73	0.57	0.44	0.39	0.41	0.50	0.55	0.60	0.70	0.86	0.86	0.39		0.46	



Joonis 4.8 Pilt mõõtekohalt suund Uusküla tee [19]



Joonis 4.9 Perspektiivvaade; Heleduspilt esitatud väärvärvides; suund Uusküla tee [19]

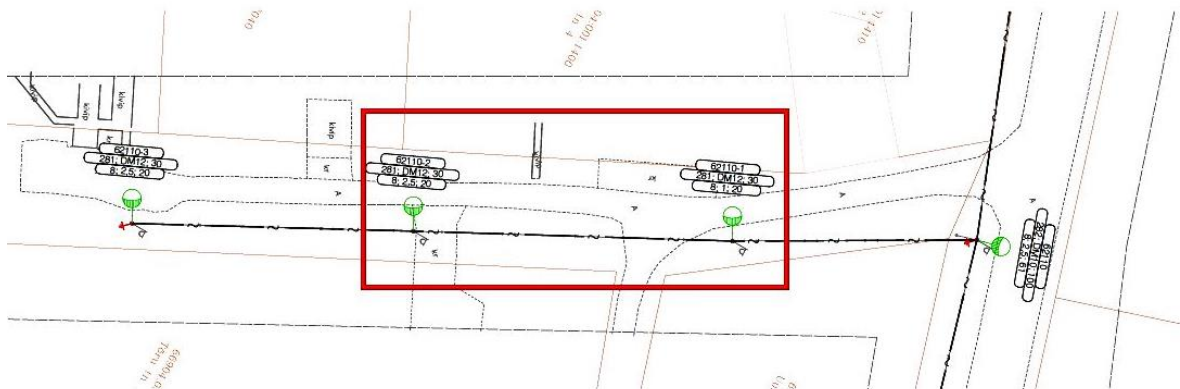


Joonis 4.10 Mõõteala - heleduspilt väärvärvides ja mõõtepunktidega [19]

Tabel 4.2 Tulemused mõõtepunktides [19]

Mõõtepunktid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L_{max}	L_{min}	L cd/m ²	U_i	U_0
3	1.07	0.81	0.66	0.58	0.56	0.69	0.85	0.99	1.22	1.42	1.42	0.56	1.71	0.39	0.30
2	1.42	0.92	0.71	0.87	0.51	0.61	0.79	0.94	1.30	1.66	1.66	0.51		0.31	
1	0.81	2.17	5.19	5.65	5.45	4.64	3.58	2.59	1.54	1.09	5.65	0.81		0.14	

Tõru tänav



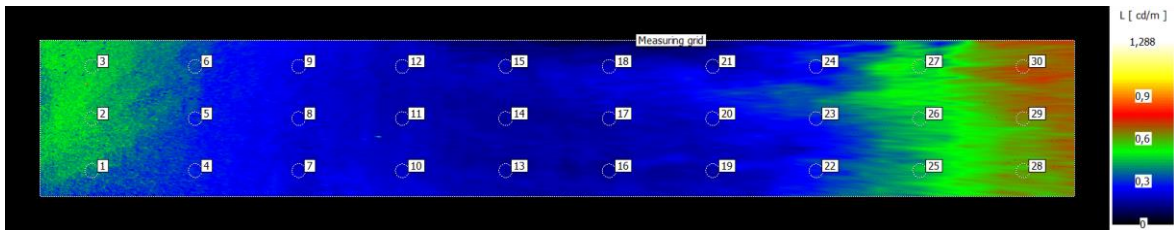
Joonis 4.11 Mõõdistatav ala Tõru tn; suund Rapla. [19]



Joonis 4.12 Pilt möõtekoht Rapla [19]



Joonis 4.13 Perspektiivvaade; Heleduspilt esitatud suund väärvärvides; suund Rapla [19]



Joonis 4.13 Mõõteala- heleduspilt väärvärvides ja mõõtepunktidega [19]

Tabel 4.3 Tulemused mõõtepunktides [19]

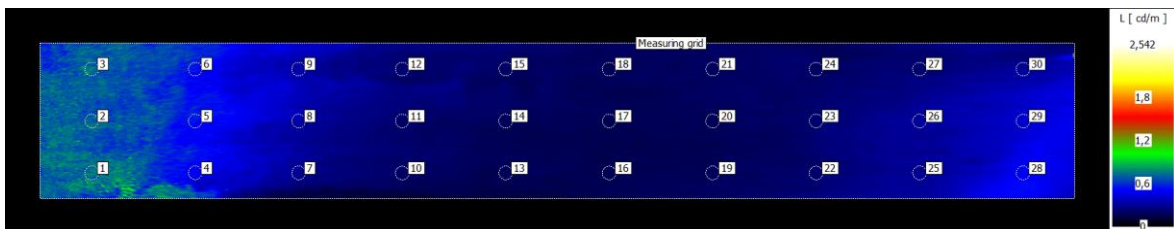
Mõõte- punktid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L_{max}	L_{min}	L cd/m ²	U_i	U_0
3	0.46	0.34	0.23	0.20	0.18	0.19	0.19	0.27	0.48	0.69	0.69	0.18	0.31	0.27	0.51
2	0.46	0.30	0.23	0.18	0.17	0.18	0.22	0.29	0.46	0.64	0.64	0.17		0.26	
1	0.40	0.29	0.22	0.21	0.17	0.16	0.18	0.28	0.45	0.60	0.60	0.16		0.26	



Joonis 4.14 Pilt möõtekoht suund Uusküla tee [19]



Joonis 4.15 Perspektiivvaade; Heleduspilt esitatud väärvärvides; suund Uusküla tee [19]

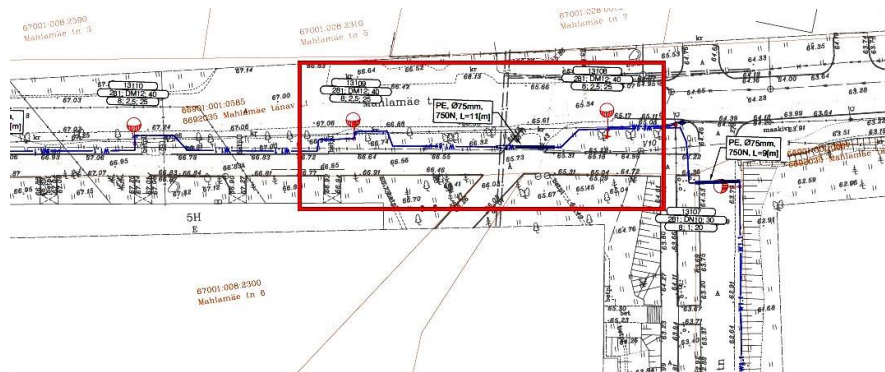


Joonis 4.16 Mõõteala - heleduspilt väärvärvides ja mõõtepunktidega [19]

Tabel 4.4 Tulemused mõõtepunktides [19]

Mõõtepunktid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L _{max}	L _{min}	L cd/m ²	U _l	U _o
3	0.73	0.55	0.35	0.24	0.22	0.19	0.21	0.21	0.23	0.32	0.73	0.19	0.33	0.26	0.54
2	0.72	0.55	0.36	0.23	0.20	0.18	0.19	0.23	0.32	0.43	0.72	0.18		0.25	
1	0.74	0.49	0.30	0.22	0.19	0.18	0.19	0.23	0.30	0.51	0.74	0.18		0.24	

Mahlamäe tänav



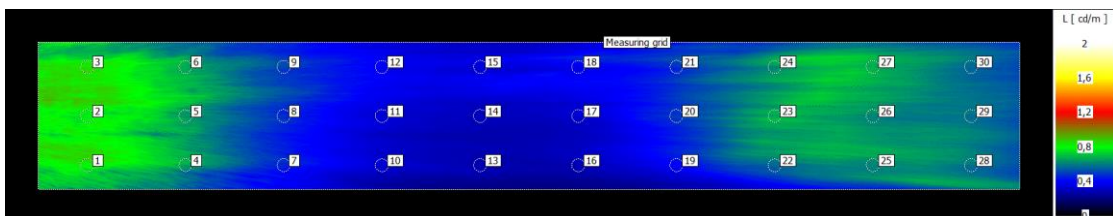
Joonis 4.17 Mõõdistatav ala Mahlamäe tn., Rapla; suund Viljandi mnt. [19]



Joonis 4.18 Pilt mõõtekohalt suund Viljandi mnt [19]



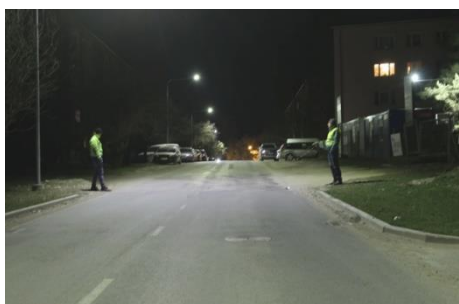
Joonis 4.19 Perspektiivvaade; Heleduspilt esitatud värvvärvides; suund Viljandi mnt [19]



Joonis 4.20 Mõõteala- heleduspilt värvvärvides ja mõõtepunktidega [19]

Tabel 4.5 Tulemused mõõtepunktides [19]

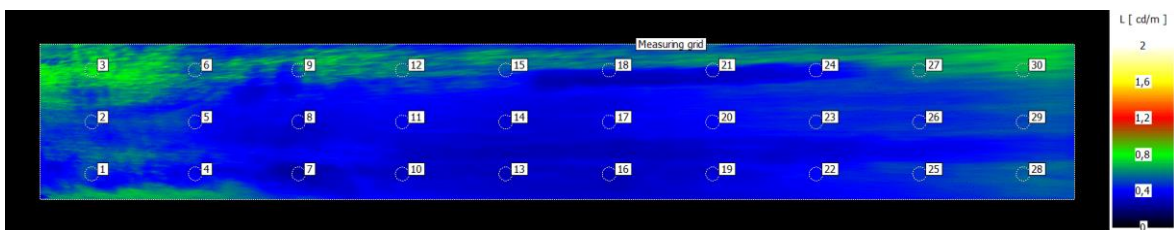
Mõõte- punktid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L _{max}	L _{min}	L cd/m ²	U _i	U _o
3	0.85	0.68	0.51	0.40	0.35	0.39	0.49	0.64	0.69	0.58	0.85	0.35	0.53	0.42	0.54
2	0.78	0.66	0.48	0.34	0.31	0.34	0.49	0.68	0.62	0.59	0.78	0.31		0.39	
1	0.82	0.67	0.46	0.34	0.29	0.29	0.41	0.57	0.62	0.59	0.82	0.29		0.35	



Joonis 4.21 Pilt mõõtekohalt suund Tallinna mnt [19]



Joonis 4.22 Perspektiivvaade; Heleduspilt esitatud väärvärvides; suund Tallinna mnt [19]

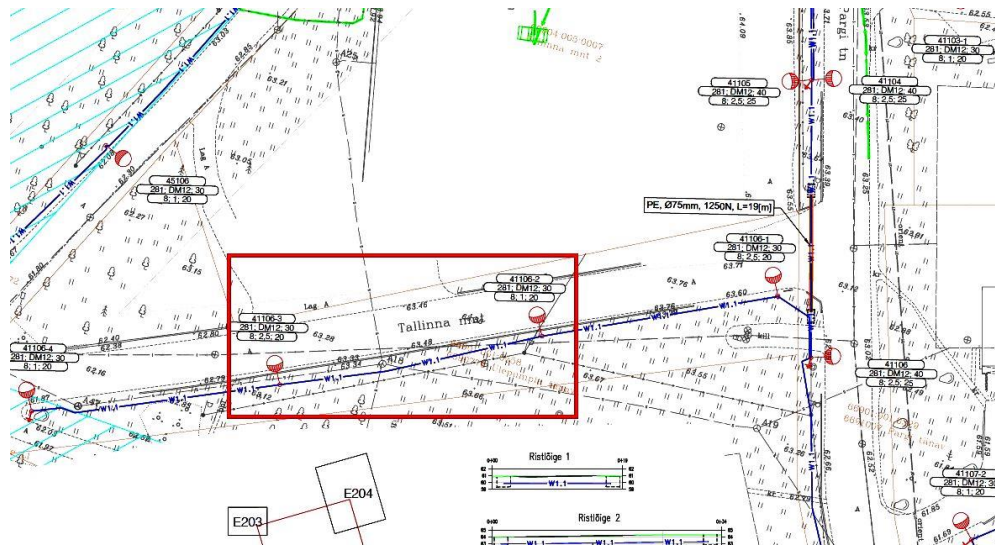


Joonis 4.23 Mõõteala - heleduspilt väärvärvides ja mõõtepunktidega [19]

Tabel 4.6 Tulemused mõõtepunktides [19]

Mõõte- punktid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L _{max}	L _{min}	L cd/m ²	U _i	U _o
3	0.75	0.57	0.56	0.60	0.52	0.44	0.40	0.40	0.60	0.67	0.75	0.40	0.45	0.54	0.60
2	0.50	0.44	0.34	0.38	0.34	0.37	0.40	0.45	0.46	0.51	0.51	0.34		0.66	
1	0.50	0.38	0.27	0.31	0.31	0.30	0.34	0.42	0.48	0.56	0.56	0.27		0.48	

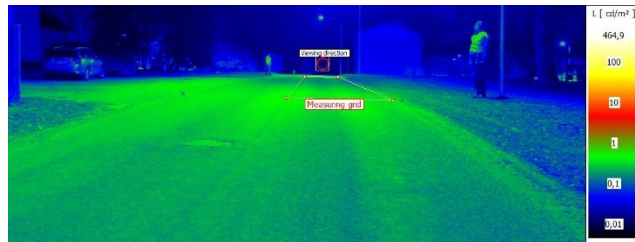
Tallinna maantee I



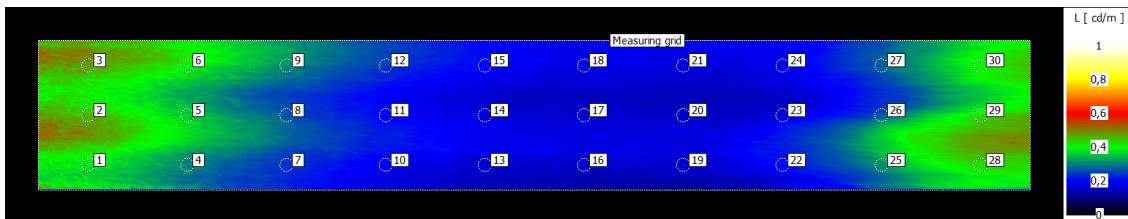
Joonis 4.24 Mõõdistatav ala Tallinna mnt I., Alu; suund Tallinn [19]



Joonis 4.25 Pilt mõõtekohalt suund Tallinn [19]



Joonis 4.26 Perspektiivvaade; Heleduspilt esitatud värvvärvides; suund Tallinn [19]



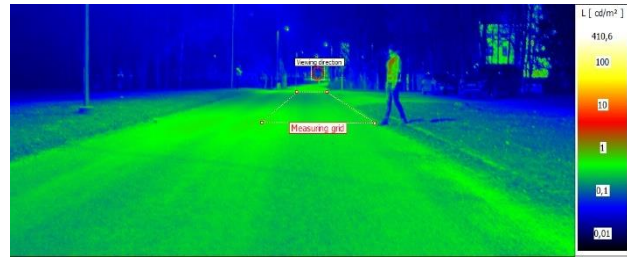
Joonis 4.27 Mõõteala- heleduspilt värvvärvides ja mõõtepunktidega [19]

Tabel 4.7 Tulemused mõõtepunktides [19]

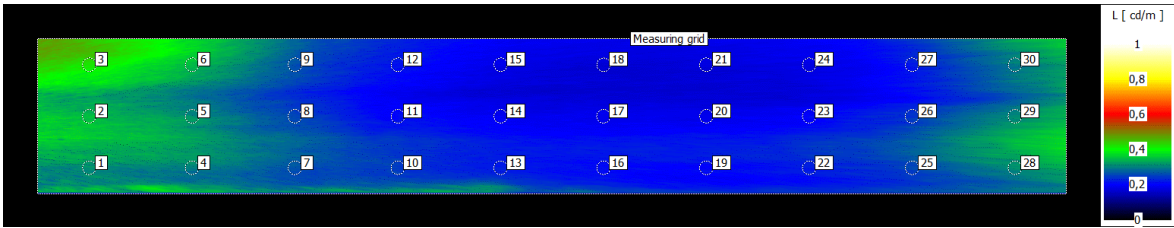
Mõõtepunktid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L_{max}	L_{min}	L cd/m ²	U_1	U_0
3	0.48	0.41	0.32	0.25	0.20	0.18	0.18	0.19	0.28	0.41	0.48	0.18	0.27	0.38	0.60
2	0.46	0.37	0.27	0.21	0.18	0.17	0.16	0.18	0.27	0.42	0.46	0.16		0.36	
1	0.38	0.31	0.24	0.20	0.17	0.17	0.16	0.21	0.32	0.43	0.43	0.16		0.38	



Joonis 4.28 Pilt mõõtekohalt suund keskus [19]



Joonis 4.29 Perspektiivvaade; Heleduspilt esitatud värvivärvides; suund keskus [19]

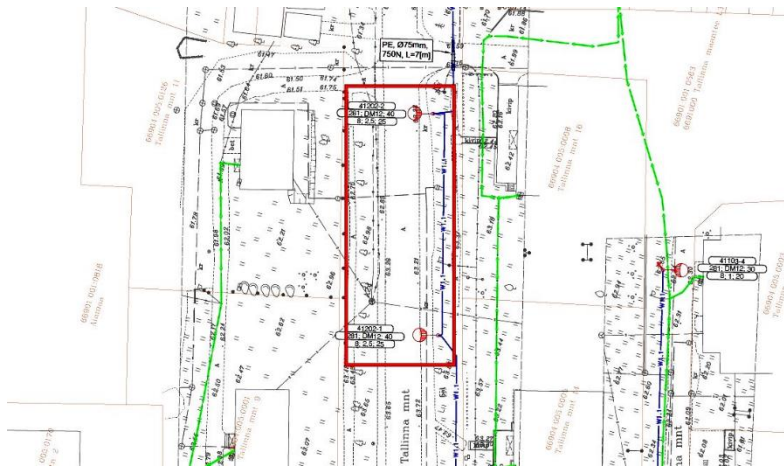


Joonis 4.30 Mõõteala - heleduspilt värvivärvides ja mõõtepunktidega [19]

Tabel 4.8 Tulemused mõõtepunktides [19]

Mõõtepunktid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L_{max}	L_{min}	L cd/m ²	U_i	U_o
3	0.42	0.35	0.27	0.22	0.19	0.17	0.18	0.18	0.22	0.30	0.42	0.17	0.25	0.41	0.69
2	0.35	0.31	0.26	0.21	0.20	0.19	0.19	0.20	0.24	0.31	0.35	0.19		0.54	
1	0.32	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.21	0.23	0.26	0.31	0.32	0.21		0.67	

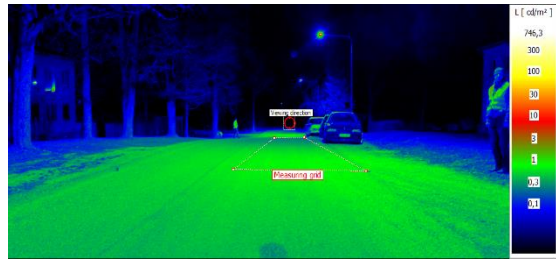
Tallinna manatee II



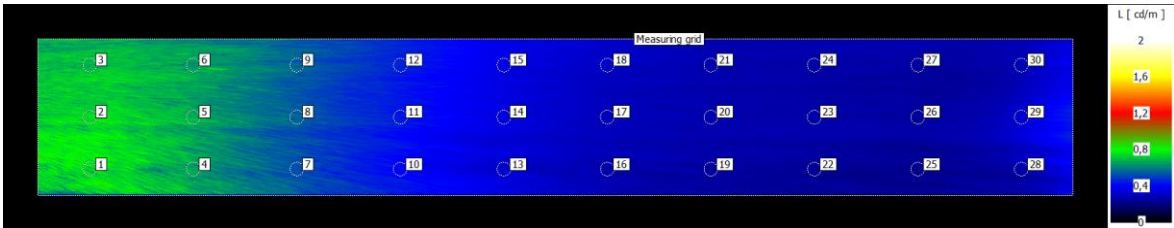
Joonis 4.31 Mõõdistatav ala Tallinna mnt lõik II., Alu; suund Tallinn [19]



Joonis 4.32 Pilt mõõtekohalt suund Tallinn [19]



Joonis 4.33 Perspektiivvaade; Heleduspilt esitatud väärvärvides; suund Tallinn [19]



Joonis 4.34 Mõõteala- heleduspilt väärvärvides ja mõõtepunktidega [19]

Tabel 4.9 Tulemused mõõtepunktides [19]

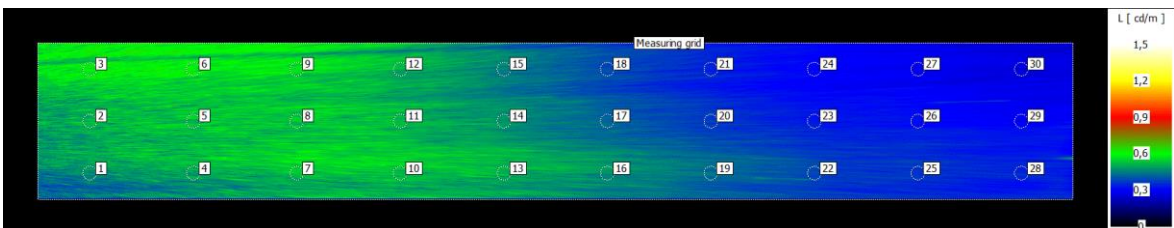
Mõõtepunktid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L_{max}	L_{min}	L cd/m ²	U_1	U_0
3	0.70	0.65	0.56	0.46	0.37	0.32	0.29	0.27	0.26	0.30	0.70	0.26	0.41	0.38	0.56
2	0.75	0.68	0.56	0.44	0.36	0.30	0.28	0.27	0.26	0.34	0.75	0.26		0.35	
1	0.75	0.66	0.53	0.41	0.33	0.28	0.26	0.24	0.23	0.28	0.75	0.23		0.31	



Joonis 4.35 Pilt mõõtekohalt suund Kooli tn [19]



Joonis 4.36 Perspektiivvaade; Heleduspilt esitatud väärvärvides; suund Kooli tn [19]



Joonis 4.37 Mõõteala - heleduspilt väärvärvides ja mõõtepunktidega [19]

Tabel 4.10 Tulemused mõõtepunktides [19]

Mõõte- punktid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	L_{max}	L_{min}	L cd/m²	U_i	U_o
3	0.59	0.59	0.57	0.51	0.46	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.59	0.27	0.44	0.45	0.61
2	0.52	0.53	0.54	0.52	0.48	0.42	0.38	0.33	0.32	0.30	0.54	0.30		0.56	
1	0.47	0.50	0.54	0.53	0.51	0.48	0.43	0.39	0.37	0.35	0.54	0.35		0.65	