



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ENERGIATÕHUSA TÄNAVAVALGUSTUSE  
VÄLJAARENDAMINE NING PLANEERITAVA  
JUHTIMISSÜSTEEMI ANALÜÜS KAKUMÄE KÜLA  
NÄITEL

DEVELOPMENT OF ENERGY EFFICIENT STREET LIGHTNING AND ANALYSIS OF  
THE PLANNED MANAGEMENT SYSTEM BASED ON THE EXAMPLE OF  
KAKUMÄE VILLAGE

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Ott Pukk

Üliõpilaskood: 164799

Juhendaja: Toivo Varjas

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.

“.....” ..... 202.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

“.....” ..... 202.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Ott Pukk

*Lõputöö liik:* Bakalaureusetöö

*Töö pealkiri:* Energiatõhusa tänavavalgustuse väljaarendamine ning planeeritava juhtimissüsteemi analüüs Kakumäe küla näitel.

*Kuupäev:* 20.05.2020

53 lk

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendaja(d):* Toivo Varjas

*Töö konsultant (konsultandid):* -

*Sisu kirjeldus:*

Lõputöös anti ülevaade erinevatest, tänapäeval kasutust leidvatest, juhtimissüsteemidest. Lisaks anti ülevaade valgustite projekteerimisest ja sellega kaasnevatest protsessidest ning dokumentatsioonist. Töö põhieesmärgiks oli analüüsida mitmeid juhtimise versioone, mille autor paigaldas parema ülevaate saamiseks Kakumäe külla, ehk kasutas sealseid arvutustulemusi.

Lõputöö esimeses peatükis kirjeldas autor gaaslahendusvalgusteid ja uuemaid leedvalgusteid ning võrdles neid omavahel tänavavalgustuse perspektiivis. Lisaks analüüsiti antud peatükis erinevaid faktoreid, millega peab projekteerimise käigus arvestama. Kirjeldati protsessi, mõõtmist, kuidas valgustaristu võetakse kasutusse.

Teises peatükis analüüsiti erinevaid juhtimissüsteeme, mida tänapäeval pakutakse. Vaatlusesse tulid faasjuhtimine, DALI, Cityntel ja Comlight juhtimissüsteemid. Lõputöö autor kasutas projekteeritud Kakumäe küla tänavavalgustuse projekti, et analüüsida kõikide juhtimissüsteemide sobivust väiksematesse alevikesse ja küladesse.

Lõputöö viimasel peatükil kirjeldas autor materjalide spetsifikatsioonide kui ka tööde mahtude tabelit ning selle kaasnevat eelarvet. Koostati tabelid, mis on olulised dokumendid tellijale, et välja kuulutada ehitushange. Lisaks on käsitleti ka säästuarvutusi, mis tehti Kakumäe küla baasil. Vaadeldi, kuidas on Eestis arenenud tänavavalgustus Euroopa Liidu direktiivide täitmise suunas.

*Märksõnad:* leedvalgustus, valgustusarvutused, juhtimissüsteemid, energiatõhusus, projekt

## ABSTRACT

<i>Author:</i> Ott Pukk	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Title:</i> Development of energy efficient street lighting and analysis of the planned management system based on the example of Kakumäe village.	
<i>Date:</i> 20.05.2020	53 pages
<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	
<i>Consultant(s):</i> -	
<i>Abstract:</i> <p>The thesis gave an overview of the best place, modern use, management systems. In addition, an overview of luminaire design and all accompanying processes and documentation was provided. The main goal of the industry was the management versions, in which the authors installed the best needs in the village of Kakumäe, used the calculation results there.</p> <p>The first descriptions of the safety content of the dissertation are the author's gas-discharge luminaires and newer LED luminaires and comparison requirements for them from the perspective of street lighting. In addition, it is necessary to analyse if there are different factors in the market. Described the process, measuring how light infrastructure users use.</p> <p>The second market analysed the various management systems offered today. Phase control, DALI, Cityntel and Comlight control systems were considered. The author of the dissertation used the designed street lighting projects of Kakumäe village to analyse the suitability of all control systems for smaller towns and villages.</p> <p>Description of finishing documents as material specifications as well as work volume tables and vendors accompanying budget. Tables were compiled, which are important documents for the client, and the construction contract was announced. In addition, savings calculations based on the village of Kakumäe have been completed. They looked at how popular street lighting is in Estonia towards complying with European Union directives.</p>	
<i>Keywords:</i> LED lighting, lightning calculation, management system, energy efficacy, project	

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	<b>Energiatõhusa tänavavalgustuse väljaarendamine ning planeeritava juhtimissüsteemi analüüs Kakumäe küla näitel.</b>
Lõputöö teema inglise keeles:	<b>Development of energy efficient street lighting and analysis of the planned management system based on the example of Kakumäe village.</b>
Üliõpilane:	<b>Ott Pukk, 164799EAAB</b>
Eriala:	<b>Elektroenergeetika ja mehhatroonika, elektroenergeetika peeriala</b>
Lõputöö liik:	<b>Bakalaureusetöö</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Toivo Varjas</b>
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	<b>01.09.2020</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>20.05.2020</b>

---

Üliõpilane (allkiri)

---

Juhendaja (allkiri)

---

Õppekava juht (allkir

## 1. Teema põhjendus

Eestis on väiksemad alevikud ja külad läbi Keskkonna Investeeringute Keskuse (KIK) hakanud jõudsalt rekonstrueerima oma tänavavalgustuse taristut. Aina enam kasutatakse erinevaid juhtimissüsteeme, et muuta kogu valgustussüsteem energiasäästlikumaks ja viia kommunaalkulud miinimumini. Käesolevas töös uuritakse erinevaid kasutusel olevaid tänavavalgustuse juhtimissüsteeme ning neid analüüsid baseerutakse Kakumäe küla valgustuslahendusele.

## 2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on uurida erinevaid juhtimise süsteeme, mis on kasutust leidnud tänavavalgustuse taristul. Autor kasutab lahenduste analüüside võrdluseks projekteeritud Kakumäe küla, mis paikneb Lääne- Virumaal, Vinni vallas.

## 3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

1. Leedvalgustite efektiivsus võrreldes gaaslahenduslampidega?

2. Millised oleksid juhtimissüsteemi alternatiivsed võimalused Kakumäe külas?

3. Milliste normdokumentidega peab arvestama ja kas hankes püstitatud lähteülesanne on nendega kooskõlas?

4. Kui marginaalse tähendusega sääst saavutatakse Kakumäe külas läbi valgustustaristu uuendamise?

#### **4. Lähteandmed**

Uuritakse kohaliku omavalitsuse lähtedokumenti ja samuti lähtutakse ka hankedokumendist ning selle kooskõlastamise nõuetest. Lisaks analüüsitakse antud teemaga sarnase sisuga teadustöid, raamatuid ja teadusartikleid. Lähtutakse ka ettevõtetest, kes pakuvad erinevaid valgustusega seotuid juhtimissüsteeme ning tutvutakse nende kirjelduste ja tehniliste andmetega. Analüüsideks ja võrdlusteks kasutatakse valdade ja linnade arengukavasid.

# SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT .....	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	5
EESSÕNA.....	9
MÕISTED .....	10
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....	11
SISSEJUHATUS .....	12
1. PÕHIMÕTTED, MIDA JÄRGITAKSE VALGUSTUSE PROJEKTEERIMISEL.....	14
1.1 Võrdlus leed- ja gaaslahendusvalgustite vahel .....	14
1.2 Tänavavalgustitele esitatavad tehnilised tingimused .....	18
1.2.1 ENEC ja CE märgis.....	18
1.2.2 Kaitsetähistused IP ja IK .....	19
1.2.3 Valgustite värvsüsteemid .....	20
1.3 Kakumäe külas projekteeritavad valgustid .....	21
1.3.1 Teeklassi määramine .....	21
1.3.2 Schreder – TECEO S/5244/24 LED .....	22
1.3.3 Mõõdistused, mis sooritatakse peale trassi valmimist .....	23
2. JUHTIMISSÜSTEEMID JA NENDE VÕRDLUS .....	25
2.1 Faasijuhtimine.....	25
2.1.1 Faasijuhtimise sobivus Kakumäe külla .....	26
2.2 Digitaalne ehk DALI juhtimine.....	27
2.2.1 DALI juhtimissüsteemi kasutamine Kakumäe külas .....	28
2.3 Cityntel juhtimissüsteem .....	30
2.3.1 Cityntel juhtimissüsteemi analüüs Kakumäe külas .....	31
2.4 Comlight juhtimissüsteem .....	32

2.4.1 Comlight juhtimisesüsteemi analüüs .....	33
2.4.2 Juhtimissüsteemide kokkuvõttev analüüs .....	34
3. DOKUMENTATSIOON PROJEKTI JÄRGMISEKS ETAPIKS JA ENERGIASÄÄSTUARVUTUSTE ANALÜÜS	
38	
3.1 Ehitustööde mahud.....	38
3.2 Materjalide spetsifikatsioonid .....	39
3.3 Olemasoleva ja projekteeritava taristu võrdlus lähtudes keskkonna mõjudest.....	40
3.3.1 Säätuarvutuste analüüs .....	41
3.3.2 Euroopa Liidu tulevikuvaatega sobitumine.....	42
KOKKUVÕTE .....	44
SUMMARY .....	46
KASUTATUD KIRJANDUS .....	48
LISAD .....	52
Lisa 1 Kakumäe küla sõidutee klassi määramine .....	52
GRAAFILINE OSA.....	53
Graafiline osa 1 Kakumäe küla asendiplaan .....	53
Graafiline osa 2 Kakumäe küla kilbiskeem.....	53



## EESSÕNA

Käesolev lõputöö on koostatud Hepta Group Energy OÜ soovitusel ning sõnastatud Toivo Varjas'e juhendamisel. Töös kasutatavad lähteandmed on saadud Hepta Group Energy OÜ esindajalt Henri Klemmer'ilt. Töös kasutatud kirjalik materjal on kokku kogutud raamatutest, standarditest, teadusartiklitest, juhtimissüsteeme pakkuvate firmade registritest, arengukavadest ning internetist.

Lõputöö autor soovib tänada tema juhendajat Toivo Varjas't ning Hepta Group Energy OÜ kollektiivi, kes aitasid lõputöö valmimisele kaasa omapoolsete soovitustega.

Ott Pukk

Uus – Karja 4, Kuressaare, Saaremaa

+372 56 257 496

## MÕISTED

Tehniliste mõistete loetelu selgitamiseks on kasutatud Endel Ristheina „Valgustehnika sõnaraamat“ [1] ja Tiiu Tamme „Valgustehnika I“ [2] raamatuid.

**Eluiga** (*life time*) - ajavahemik, mille jooksul peavad kõik seadme komponendid korrapäraselt töötama.

**Heledus** (*luminance*) - valgustugevuse näiv tihedus valgust andvalt või peegeldavalt pinnalt. Pinna heledus sõltub vaataja vaatenurgast ja pinna peegeldusvõimest. Heleduse ühikuks on kandela ruutmeetri kohta ( $cd/m^2$ ).

**Valgusregulaator** (*dimmer*) - seade, mis võimaldab valgusallikal muuta valgusvoogu

**Valgusti** (*luminaire*) - seade, mis jaotab valgusallika valgust ja sisaldab peale valgusallika kõiki komponente, mis on vajalikud lampide kaitseks, kinnitamiseks ja vooluahelaga ühendamiseks.

**Valgustustihedus** (*illuminance*) - pinnale langeva valgusvoo ja pindala jagatis. Valgustustiheduse ühikuks on luks ( $lx$ ).

**Valgusviljakus** (*luminous efficacy*) - lambi valgusvoo ja tema poolt tarbitava võimsuse jagatis ehk valgusallika kasutegur. Valgusviljakuse ühikuks lumen vati kohta ( $Lm/W$ )

**Valgusvoog** (*luminous flux*) - kogu kiirgusvõimsus, mis väljub valgusallikast ja mida tajub inimese silm. Valgusvoo ühik on lumen ( $lm$ ).

**Värvi temperatuur ehk värvustemperatuur** (*colour correlate temperature*) - mustkiirguri temperatuur, kus vastav kiirguse väärtus langeb kokku vaadeldava kiirguse väärtusega. Värvi temperatuuriga saab mustkiirguri värvi baasil võrrelda valgusallika värvi, kus madalamatel temperatuuridel on kiirgus punakas ja kui seda tõsta muutub kiirgus kollakaks, edasi valgeks ning kõrgemate temperatuuride korral sinakaks. Värvustemperatuuri ühikuks on Kelvin ( $K$ ).

# LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

## Tähised

<i>A</i>	Amper
<i>Bd</i>	baud
<i>cd</i>	kandela
<i>cd/m<sup>2</sup></i>	kandela ruutmeetri kohta
<i>CO<sub>2</sub></i>	süsinikdioksiid
<i>J</i>	džaul
<i>K</i>	kelvin
<i>kW</i>	kilovatt
<i>lm</i>	luumen
<i>lm/W</i>	Luumen vati kohta
<i>lx</i>	luks
<i>mA</i>	milliamper
<i>MWh</i>	megavatt tund
<i>V</i>	volt
<i>W</i>	Vatt

## Lühendid

<i>ARLC</i>	keerutatud ja tihendatud alumiinjuhtmetega maakaabel koos vasest signaaljuhtmega (Road lighting cable with aluminium conductor and Copper signal conductor)
<i>AXPK</i>	keerutatud ja tihendatud alumiiniumjuhtmetega maakaabel (Power cable with aluminium conductor)
<i>KIK</i>	Keskkonna Investeeringute keskus
<i>KOV</i>	Kohalik omavalitsus

## SISSEJUHATUS

Tänavavalgustuse rekonstrueerimine on oluline, et tagada kindlas piirkonnas ohutus ja turvalisus läbi sõidutee valgustamise. Paljudes maapiirkondades, mille eest vastutav KOV, on praegusel ajal endiselt kasutusel vanema generatsiooni gaaslahenduslambid, mis on, nii majanduslikult kui ka ohutegurit järgides, mõistlikum uute ja täiustatud leedlampide vastu vahetada. Lisaks valgustuse vahetamisele tuleb KOV-il võtta vastu otsus, missugust juhtimissüsteemi oleks kõige mõistlikum projekteeritavas piirkonnas kasutada. Antud küsimus tuleb läbi analüüsida ning panna paika kindlad kriteeriumid, mida soovitakse juhtimisega saavutada. Juhtimissüsteeme valgustuses on küll uuritud, kuid mitte sellisest vaatevinklist, kui asetada süsteemid küladesse või väiksematesse asulatesse ning analüüsida, milline majanduslik ja energeetiline kokkuvõtte sealt saavutada oleks võimalik.

Käesoleva lõputöö teema on aktuaalne, kuna paljude külade ja alevike valgustustaristud on amortiseerinud ning neid hakatakse järk-järgult välja vahetama, abi küsitakse suurtest fondidest. Eestis üks suurematest rahastajatest on KIK, kes annab arvestataval määral välja toetusi, et rekonstrueerida KOV tänavavalgustust. Käesoleva töö abil saavad hanke koostajad, KOV ametnikud, teostada analüüsi ja otsustada, millist juhtimissüsteemi lahendust soovivad nad rakendada planeeritavas piirkonnas. Analüüsis tuuakse välja kirjeldatud juhtimissüsteemide positiivsed ja negatiivsed pooled ning vaadeldakse majanduslikku ja elektrienergia kokkuvõtte erinevate süsteemide korral.

Lõputöö autor valis teema isiklikust huvist juhtimissüsteemide vastu ning samas nähes ka probleemi, et hanke koostajad ei ole täiesti kursis, milliseid süsteeme on tänapäeval võimalik ja mõistlik rakendada. Autor on projekteerinud Kakumäe küla valgustuslahenduse koos juhtimissüsteemiga, mida praeguseks välja ehitatud ei ole, kuid baseerutakse erinevate süsteemide analüüsimisel käesolevast külast.

Projekti koostamisel on kasutatud järgmisi programme:

- AutoCAD (projekteerimiseks)
- DIALux evo (valgustusarvutused)
- MS Excel (arvutused ja tabelid)
- Lühisvoolud 3 (kaitseadmete ja kaabelduse määramiseks)

Käesolevas lõputöös on käsitletud tänavavalgustuse rekonstrueerimiseks vajalikke teadmisi ning KIK nõudeid, mida on kasutatud valgustrassi projekteerimisel. Analüüsitud on erinevaid juhtimissüsteeme ning leida etteantud süsteemile alternatiivseid lahendusi. Lisaks vaadeldakse, kas

väiksematesse asulatesse tasub, tulevikku vaadates, paigaldada keerukamad ning rohkem energiat säästvaid süsteeme.

Lõputöö on jaotatud kolmeks põhiosaks:

- Põhimõtted, mida järgitakse valgustuse projekteerimisel
- Juhtimissüsteemid ja nende võrdlus
- Dokumentatsioon projekti järgmiseks etapiks ja energiasäästuarvutuste analüüs

Esimene peatükk käsitleb valgustite põhimõtteid, mida kasutatakse, et saaks projekteerida tänavavalgustust. Autor võtab vaatluse alla tänapäeval kasutatavad leedvalgustid ja vanema generatsiooni gaaslahenduslambid ning analüüsib nende tehnilist erinevust. Lisaks antakse ülevaade Kakumäe külla kavandavatest valgustitest ning KOV poolt hankega kaasatud tehnilisi nõudeid, millest lähtutakse projekteerimisel. Kirjeldatakse ka mõõtmisi, mis teostatakse peale projekti väljaehitamist, et saada taristule kasutusõigus.

Teises peatükis võetakse vaatluse alla erinevaid tänavavalgustusega seotud juhtimise versioone. Seal tuleb arutluse mitmed erinevad juhtimissüsteemid. Milliseid lahendusi tänapäeval pakutakse ja kas KOV poolt hankes nõutav süsteem on põhjendatud või peaks kaaluma alternatiivseid võimalusi. Vaatluse alla võetakse faasipõhine juhtimine, DALI, Cityntel ja Comlight juhtimissüsteemid, tuuakse välja süsteemide positiivsed ja negatiivsed pooled, millega hanke koostaja peab arvesta, kas ehitusel või edaspidiselt, kui taristu on töökorras. Juhtimissüsteemide analüüs teostatakse autori poolt projekteeritud Kakumäe küla andmete põhjal.

Kolmandas peatükis antakse ülevaade materjalide kogustest, mida kasutatakse projekti elluviimisel. Välja on toodud, milliste mahtudega peab ehitaja arvestama, et Kakumäe küla valgustustaristu saab välja ehitatud. Käsitletakse Euroopa Liidu direktiive ja Eesti energiamajanduse arengukava ning kuidas KOV aitavad tänavavalgustuse rekonstrueerimise projektidega liikuda arengukava täitmise suunas. Lisaks teostati energiasäästuarvutused, mille analüüs on sooritatud Kakumäe küla tehniliste andmete baasil.

# 1. PÕHIMÕTTED, MIDA JÄRGITAKSE VALGUSTUSE

## PROJEKTEERIMISEL

Valgustite projekteerimisel saadakse esmalt kätte lähteülesanne, mis on saadud KOV poolt korraldatud riigihanke tulemusena, mis on kooskõlas kehtivate standardite ja nõuetega. Ülesandes on välja toodud erinevad nüansid ja täpne analüüs, mida soovitakse projektiga saavutada.

Esmalt tuleb välja selgitada, millise värvsustemperatuuriga valgusteid soovib tellija saada. See saab määravaks, kui hakatakse teostama valgusarvutusi. Viimast saab sooritada, kui on paika pandud mastide pikkused ja omavahelised vahekaugused, jalami kaugus teekatte servast, konsooli väljaulatuvas ja vajadusel ka selle kaldenurk ning valgusvoo hooldustegur. Valgusarvutustes tuleb järgida peale mastide paika panemist ka tee laiust ning selle klassifikatsiooni, et milline peab olema sealne heledus tihedus, mida määratakse sõiduteedel. Pärast kõikide parameetrite paika panemist otsitakse parimat optika lahendust. Sobiva leidmisel ei kinnitata seda koheselt ära, vaid tuuakse energiasäästu võrdluseks simulatsiooni paar sobivat optikat lisaks.

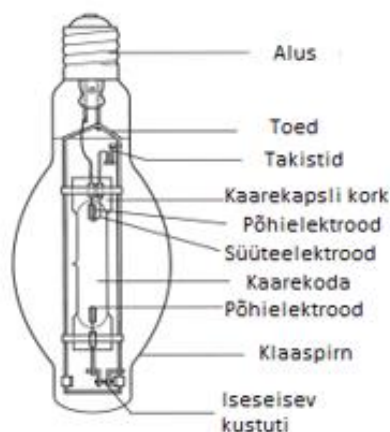
Lisaks tehnilistele aspektidele, mida kasutatakse valgustusarvutusi tehes, tuleb järgida keskkonnamist seisukohta. Tähendab, projekteerija peab hindama olukorda ka reaalses elus, kuidas antud valgus sobib vastavasse keskkonda ning vajadusel hindama ka kõrvalisi objekte, mida kavandatav valgusti võib häirida. Tähele peab panema, et valgusti ei oleks projekteeritud kohta, kus valgusviht langeks liialt maja seinale ega elamu akendesse.

### 1.1 Võrdlus leed- ja gaaslahendusvalgustite vahel

Nõukogude Eestis hakati ehitama uut tänavavalgustust, kuid antud ajahetkel olid parimad kasutusel olevatest variantidest gaaslahendusvalgustid, mis on praegusel ajastul väga energiakulukad. Tänapäeval ehitatakse paljud valgustrassid ümber uuteks ning vahetatakse kõrgrõhulambid välja efektiivsemate leedvalgustite vastu.

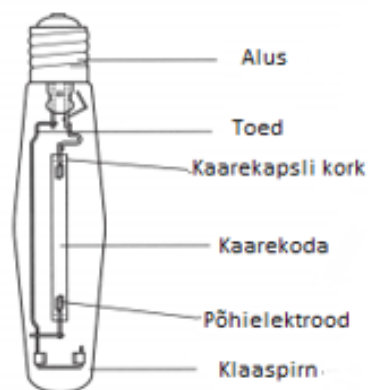
Gaaslahendusvalgustid ehk kaarlahenduslambid on erinevate vääriskaasi osade toimel toimiv valgustussüsteem, mida jaotatakse omakorda madal- ja kõrgrõhulampideks. Lambis toimiv elektrilahendus sõltub pingest, gaasi koostisest, rõhust, kolvi kujust ja elektronide vahekaugusest. Piisavalt suure süütepinge korral saavad elektronid suure kineetilise energia ning hakkavad liikuma, põrgates samaaegselt kokku gaasi aatomite ja molekulidega. Antud lahenduses on osakeste kineetiline energia piisavalt suur, et lambi kolvis olev gaas muutub intensiivselt kiirgavaks helendavaks plasmaks. [2] [3]

Gaaslahenduslampidest üheks populaarsemaks sai tänavavalgustuses kõrgrõhu-elavhõbelambid tänu oma suurele valgusviljakusele ning pikale elueale. Valgust andvaks elemendiks on seal kaarlahendustoru, mis sisaldab endas elavhõbedat, väikses koguses argooni, neoni ja krüptooni, lisaks peab sealne keskkond väga hästi vastu kõrgetele temperatuuridele. [2]



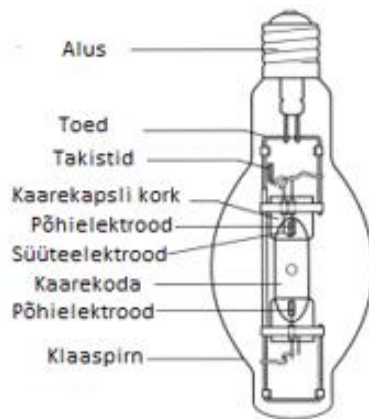
Joonis 1.1 Kõrgrõhu-elavhõbelambi ehituspõhimõte [2]

Kõrgrõhu-naatriumlambil annab valgust kõrge temperatuuriline väikese läbimõõduga kaarlahendustoru. Kõrgrõhu lampidest on naatriumiga versioon kõige kindlam, kuna selle valgusvoog väheneb teistest töötundidega palju vähem ning lülitamise kiirus on üks paremaid, mida vanema generatsiooni valgustitel peab arvesse võtma. [2]



Joonis 1.2 Kõrgrõhu-naatriumlambi ehituspõhimõte [2]

Metallhalogeniidlampi ehitus on sarnane kõrgrõhuelavhõbelambi ehitusega. Valgust tootvaks elemendiks on kaarlahendustoru, milles on kaks tööelektroodi. Lamp on oma tööasendi suhtes väga tundlik ning võib valel käitlemisel puruneda. [2]



Joonis 1.3 Metallhalogeenilambi ehituspõhimõte [2]

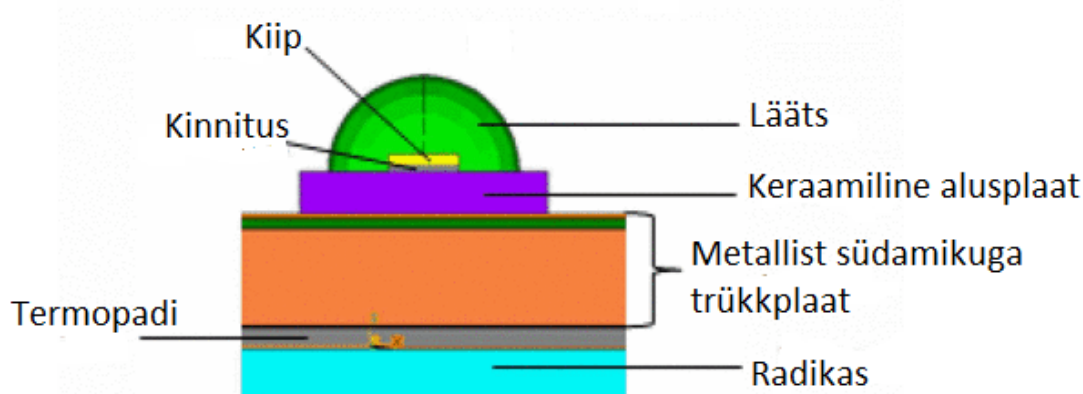
Tänapäeval üks tuntumaid ning laialdasemalt kasutatavaks valgusallikaks on leedvalgusti ehk valgusdiod, mis on pooljuhtvalgusallikas. Valgus eraldub p-n siirdega pooljuhist päri voolu läbi lastes, kus elektronide ja akude rekombineerumisel eralduvad footonid ehk valgusosakesed. [4]

Leedlampide ajalugu on olnud päris muljetavaldav ja nende praktilist kasutust leidva versiooni väljatöötamist peetakse pikaks protsessiks. Täna sel päeval tuntav lahendus on saavutatud mitme teadlase katsetuste tulemusena. Esmased versioonid, mida katsetati aastatel 1907. kui ka 1920. olid läbikukkunud, kuna valgustugevus jäi nõrgaks, et seda oleks saanud otstarbekalt kasutada. Esimene praktiliselt kasutatav valgusdiod leiutati aastal 1962. Algsed leedvalgustid olid punast värvi, kuid siis hakati erinevaid värve omavahel kombineerima, et saavutada juba tänapäeval tuttav kollakas valgus. Tulemuseni jõuti 1972. aastal, kus kombineeriti roheline ja oranž valgus. 1990. aastal leiutati Saksamaal helesinise värvusega leedvalgusti lahendused, mida loetakse tänapäeval aluse panijaks kulutõhusate ja ülimalt funktsionaalsete valgete valgustite väljatöötamiseks. [5]

Leedlambid on tänapäeval üks suurim läbimurre valgustusajaloos. See on tingitud, et ühe leedmooduli tekitatav valgusviljakus on oma väikese võimsuse kohta väga suure väärtusega. Lisaks heale valgustusele on leedid ühed esimesed valgusallikad, mida on võimalik juhtida ning reguleerida vastavalt vajadusele, mis annab haldajatele paindlikkuse ja säästa elektrienergiat. Need on põhjused, miks kasutatakse leedvalgustuse mooduleid (joonis 1.4) tänavavälivalgustite lampides. Tänavavalgusti ei koosne ainult valgusallikast, vaid sinna juurde kuuluvad lisaks jahutusseadmed ja juhtimisseadmed. Enamik leedtänavavalgustitel on leedpaneelil lääts, mis aitab valguse heledust koondada kindlas suunas ja tänu sellele ei tekitata ümbritsevasse keskkonda valgusreostust. Tänavavalgustuses kasutatakse leed mooduleid mitme kaupa, et saavutada väiksematel võimsustel töötavate diodide koostööl suurem valgusviljakus. Leedvalgustus on temperatuuri suhtes tundlik. Keskmiseks temperatuuriks võetakse 25°C, kus peaks toimima kõik laboris katsetatule. Suurem erinevus tuleb temperatuuri muutustega, mida kasutatakse ära tänavavalgustuse korral. Kui



temperatuur on madal siis leedlampi värvus muutub kirkamaks, kui on aga temperatuur kõrge siis toimub vastupidine reaktsioon. [6] [2]



Joonis 1.4 Leedlampi mooduli ehituspõhimõtte [7]

Tabel 1.1 Valgusallikate parameetrite võrdlus [2] [8] [9]

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

Leedvalgustid, võttes arvesse suhteliselt lühikest eluiga, on tehnoloogilise poole pealt kõrgrõhulampe juba edestanud. Ajapikku arenevad need aina edasi ning tabelis 1.1 kirja pandud parameetrite tulemused lähevad aina paremaks, kindlasti lisandub juurde ka uudsemaid lahendusi. Tabelist 1.1 on näha, miks kasutatakse vanema generatsiooni gaaslahenduslampide asemel uuemaid valgusdiodi baasil välja töötatud valgusteid. Üks suuremaid erinevusi on eluiga, kus on näha suurt erinevust. Leedvalgusti eluiga, lähtudes labori saavutustest, on viis või enam korda kõrgem, kui teistel gaaslahenduslampidel, mis on väga tugevaks argumendiks, sest valgustustaristus tehtav investeering on pikaajalisem. Lisaks pikendab leedvalgusti eluiga ka Eesti kliima, kuna aasta keskmine õhutemperatuur on, võrreldes valgustite normaaltingimustega, palju madalam. Kui lisada valgustustaristule juurde juhtimissüsteem, mis reguleerib valgustit ning viimane ei ole töös pidevalt täisvõimsusel, siis tõuseb teoreetiliselt valgusti eluiga veelgi, kuna

etteantava eluea katsetused on teostatud 100%-lise võimsusega. Teiseks järgitakse energiasäästu, tabelis on näha valgustite võimsuste erinevus, millistes vahemikes on neid saadaval. Mida väiksemad on võimsused, seda minimaalsemad on elektrikulud. Lisaks sellele on näha tabeli teisest reast, et valgusviljakus on leedlampidel väga suure vahemikuga, mis teeb kasutamise paindlikumaks. Koos energiatarbimise vähenemisega saavutatakse ka minimaalne süsinikdioksiidi eraldumise kogus aasta kohta. Sääst tuleb väikese küla mastaabis kuskil 90%, mida saab vaadata lahendatud Kakumäe küla projekti energiasäästu arvutuste tabelist 3.3, kus väljavahetatava taristu süsinikdioksiidi eraldumine keskkonda oli aasta kohta 20 t. Uue leedvalgustitega projekteeritud valgustusvõrgust süsiniku eraldumine on viidud 2 t aastas. Tulemuseni on jõutud, kui lahutada olemasoleva taristu andmetest, süsinikdioksiidi aasta keskmine kogus *MWh* kohta, uue projekteeritava valgustusliini tulemused, arvutus resultaat on välja toodud tabelis 3.3. Sellest saab järeldada, et praegused pakutatavad leedvalgustuse lahendused on, võrreldes eelmise generatsiooni valgustitega, kümme korda efektiivsemad. Tänu teaduse jõudsale arengule võib kindel olla, et leedlahendused ei ole kõige ökonoomsemad ning peatselt võidakse välja tulla hoopis kolmanda versiooniga.

## **1.2 Tänavavalgustitele esitatavad tehnilised tingimused**

Enne projekteerimist peab projekteerija viima kurssi, mida KOV hankes nõuab ja milliseid tehnilisi tingimusi on nad taristule esitanud. Üks suuremaid rahastajatest on KIK, mida kasutavad paljud KOV renoveerimaks oma amortiseerinud tänavavalgustust. Nende toetus on enamasti suunatud energiasäästmise poole ning läbi selle on loodud ranged kriteeriumid hangetele, mida KOV hanke koostajad ka arvestavad, vastasel juhul jäävad nad toetustest ilma ja peavad taristu ehitama 100% oma kuludega.

### **1.2.1 ENEC ja CE märgis**

Üks esimestest nõuetest, mis on esitatud tehnilistes tingimustes on see, et valgustid peavad omama kehtivat CE ja ENEC märgist koos sertifitseeritud labori numbriga. CE- märgis näitab, et toode, mis seda kannab vastab EL-i ohutus-, tervise- ja keskkonnanõuetele. ENEC märgis on elektritoodete kvaliteetne Euroopa kaubamärk, mis näitab vastavust Euroopa Liidu standarditele. Antud märgistusi jagatakse firmadele, kes on taganud oma toodetele ohutusnõudeid, mis kehtivad Euroopa Liidus. Lisaks lastakse teha heakskiidetud testlaboris katsetusi, mille baasil vormistatakse tõendatav tehniline toimik, kui kõik vastab nõuetele ja läbitakse testimine edukalt, siis saavutataksegi selle vääriline märgistus. Tellijal, hetke seisuga KOV projekti eest vastutav isik, on alati õigus küsida valgustustootja käest testraporteid ja vastavaid dokumente, mis tõestavad, et

omatakse märgise kvalifikatsioon. Nii CE kui ka ENEC märgistus näitavad tarbijale ainult ohutusnõuetele vastavust. [10] [11] [12]



Joonis 1.5 CE ja ENEC märgistuse tähistus toodetel [12] [13]

## 1.2.2 Kaitsetähistused IP ja IK

Valgustitel, mida kasutatakse projekteerimisel, peab olema täidetud KOV poolt ette antud kaitseaste. Välisvalgustuse projektis, mida rahastab KIK, on selleks määratud IP66 ja IK08. Kui vaadelda tabeleid 1.2 ja 1.3 siis on näha, et tänavavalgustusel on väga kõrged kaitseastme nõuded.

Kaitsetähistusega IP (*Ingress Protection*) näidatakse toote kesta võimet kaitsta sisemist tehnoloogiat välismõjude eest. Testimisel kuuluvad sinna alla erinevad võõrkehad, tolm ja vesi. IP koodi järel on standardi kohaselt kaks numbrit, kus esimene näitab kaitset tahkete kehade suhtes ja teine kaitset kahjuliku vee suhtes. Tehnilistes tingimustes on määratud kaitseaste IP66, mis autori arvates tuleneb keskkonnast, kus valgusti peab vastu pidama. IP66 on kaitseaste, mille esimeseks omaduseks on vastupidavus tolmule ja peenematele osakestel, mis on välistes tingimustes oluline, kuna suuremat tolmu tekitavad autod, kui nendega sõidetakse kuival teel, tänu millele tekitatakse tolmu, ja taimestik, kui kevadisel ajal toimub õite tolmlamine. Teiseks omaduseks on vastupidavus vee kallamise eest, mida saab piltlikult kujutada, kui kaitset tugevale vihmale, mis Eesti kliimas ei ole haruldane nähtus. [10] [14]

IK kood on rahvusvaheline numbriline klassifikatsioon kaitseastmete jaoks. Antud terminit kasutatakse, et hinnata, kui suurel määral pakub korpus kaitset väliste mehaaniliste mõjude eest. Tabelis 1.2 on välja toodud, vastavalt IK koodi numbrile, kokkupõrke energia suurused ehk millisele löögi tugevusele peab vastava klassifikatsiooniga kaitseaste vastu. Kaitseaste IK08, mis on välja toodud KOV hankes, on autori arvates pandud tehnilistesse tingimustesse optimaalseim variant. Valgusti ise asub 8 m kõrgusel maapinnast, tänu millele on temaga vandaalitsemine raskendatud ja ei ole kõige tugevama kaitseastme nõudmine vajalik. Kui tegemist oleks pargis oleva valgustiga, mille masti kõrgus ulatus 4-5 m kõrgusele, siis on ka valgustil olev kaitseklaas tugevam, kuna viimane asub maapinnale lähedamal. Käesolevalt on KOV määranud kaitseastmeks IK08, mis tähendab, et valgusti peab vastu pidama kuni 5 J kokkupõrkele. [10] [15]

Tabel 1.2 IK koodi kaitsetüüpide määratlus ehk löögikaitse tase [15]

<b>IK kood</b>	00	01-05	06	07	08	09	10
<b>Kokkupõrke energia (J)</b>	Kaitse puudub	< 1	1	2	5	10	20

Tabel 1.3 IP kood, mis näitab kaitseastet [14]

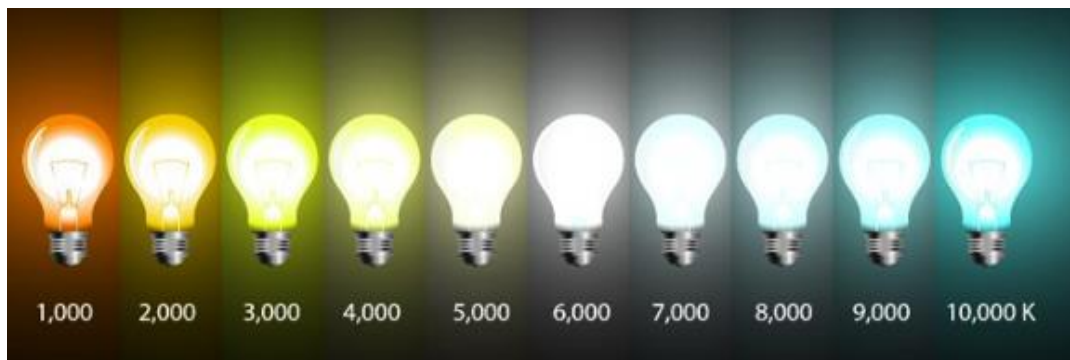
<b>Number</b>	<b>IP koodi esimese numbri seletus, võõrkeha iseloomustus, mis ei tohi valgustisse sattuda</b>	<b>IP koodi teise numbri seletus, vee iseloomustus, mis kaitseb korpuse sisu</b>
0 või X	hindamata	hindamata
1	objekt, mille läbimõõt on $\geq 50$ mm	vertikaalselt tilkuv vesi
2	objekt, mille läbimõõt on $\geq 12,5$ mm	15° kalde all tilkuv vesi
3	objekt, mille läbimõõt on $\geq 2,5$ mm	vee pihustamine
4	objekt, mille läbimõõt on $\geq 1,0$ mm	vee pritsimine
5	tolmukaitsega	vee kallamine
6	tolmukindel	vee kallamine joana
7	-	ajutine vette kastmine
8	-	pidev vette kastmine

### 1.2.3 Valgustite värvsustemperatuur

Tänavavalgustusel, mida projekteeritakse, peab täisvõimsusel olema valgusviljakus värvsustemperatuuril 4000 K vähemalt 110 lm/W ja 3000 K korral vähemalt 100 lm/W kohta. Uutele valgustitele on lubatud värvsustemperatuuri piires ka hälve, milleks on 3000 K korral  $\pm 200$  K ja 4000 K korral  $\pm 250$  K. Eelpool mainitud värvsustemperatuurid on tänavavalgustuses ühed tihedamini kasutatavatest. Erandiks on tänavatel olevad ülekäigurajad, millele standardi kohaselt paigaldatakse üldisest keskkonnast veelgi kõrgema värvsustemperatuuriga, et viimane oleks sõidukijuhtidele selgesti eristatav. [10]

Värvsustemperatuuride vailik otsustatakse KOV mastaabis, milleks on tänavavalgustuse puhul, kas 3000 K või 4000 K (tabel 1.6). Valikut tehes lähtutakse miljööst, mida soovitatakse luua projekteeritavasse keskkonda, kas selleks on soojem, 3000 K, või külmem valgus, 4000 K. Uuringutes on välja toodud, et avalikus eelistab sooja valgust külmale valgusele, kuna taas pimedasse minnes suudab inimene, eelnevalt olles sooja valguse käes, kiiremini kohaneda. [9]

Olukord, kus peab tähelepanelik olema värvsüsteemidega on simulatsiooni katsetamine õige optikaga, et oleks tagatud tellija poolt soovitud värvustemperatuur.



Joonis 1.6 Valgustite värvsüsteemide skaala [16]

### 1.3 Kakumäe külas projekteeritavad valgustid

Kakumäe külas, projekteerimise piirkonnas, on hetkel kasutusel nii naatrium kui ka elavhõbeda baasil olevad gaaslahenduslambid, mida KOV soovib täielikult ära demonteerida. Projekti elluviimine on vajalik olemasoleva taristu parendamiseks ja turvalisuse tõstmiseks.

#### 1.3.1 Teeklassi määramine

Et sooritada valgustusarvutusi tuleb määrata, missuguse valgusklassi teega on projekteeritavas kohas tegemist. Klassi määramise lihtsustamiseks on tehtud mootorsõidukite tee standardikohane arvutustabel, mille projekteerija täidab ära, analüüsides tee reaalselt olukorda. Peale arvude sisse kandmist tuleb liita kõik valitud kaaluväärtused kokku, kui viimaste liitmisel tuleb negatiivne tulemus peab selle võrdsustama nulliga. Saadud tulemust tuleb kasutada valemis 1.1. Kakumäe külas saadi sõidutee klassifikatsiooniks M6, mis on madalaim ja küla mastaabis ka oodatud tulemus. [17]

$$M = 6 - V_{WS} \quad (1.1)$$

kus  $M$  - valgustusklassi number

$V_{WS}$  - kaaluväärtuste summa

Kakumäe küla sõidutee klassifikatsiooni arvutustabel on toodud Lisas 1.

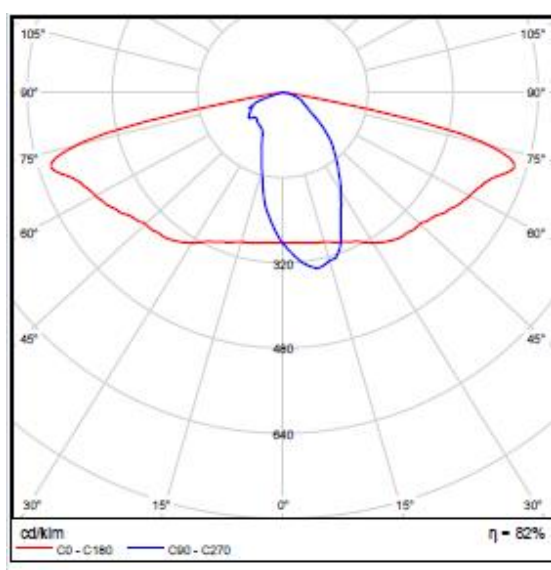
### 1.3.2 Schreder – TECEO S/5244/24 LED

Projekti valgustitena kasutati Schrederi toodetud TECEO S valgusteid, mis paigaldatakse 8 m kooniliste metallmastidele ja 1 m pikkuste konsoolide külge. Valgusti valikul sai määravaks tellija poolt lihtsad nõuded, kuna tegemist on standardsete tänavatega, mis ei asu muinsuskaitse piirkonnas seega ei ole nõutud erilisi, miljöösse sobivaid, laternaide. Viimaseid kasutatakse parkides või vanalinnades, kus soovitakse saavutada kunagine õhkkond valgustite näol.

Tehnilised andmed [18]:

- võimsus: 15,0 W
- valgusviljakus: 140,9 lm/W
- värvustemperatuur: 3000 K
- leedide arv: 24
- kaitseaste: IP66
- löögikindlus: IK09

Valgusti on laialdaselt kasutatud just tänavavalgustuse kontekstis. Valgusviht on enamasti suunast külgedele ja korpusest alla poole, et valgus ei läheks lihtsalt atmosfääri, mis on vanema generatsiooni valgustitele iseloomulik. Mastide omavaheliseks kauguseks on määratud projekti kõige pikem vahekaugus, milleks on 41 m, mastijalam asub teeservast 1,5 m kaugusel.



Joonis 1.5 Schreder TECEO S / 5244 / 24 LED 200mA WW 730

### 1.3.3 Mõõdistused, mis sooritatakse peale trassi valmimist

Peale projekti välja ehitamist ja enne kasutusele võtmist tellitakse projektile valgustuse mõõdistused. See on vajalik, et projekteerija poolt määratud tehnilised andmed ja tulemused kattuksid väljaehitatuga. Samasugune mõõtmine sooritatakse ka garantiiaja lõpus, et kontrollida valgustite vastupidavust aastate vältel ja vaadeldakse projekteeritud parameetrite kestvust. Andmete omavaheliseks võrdluseks võetakse simulatsiooni käigus saadud tulemused. Tabelist 1.6 on välja toodud lahendustulemused, mille projekteerija on saavutanud DIALux evo keskkonnas andmete töötlemise käigus.

Tabel 1.6 Kakumäe küla valgustuse arvustulemused

Hinnanguväli (M6)	M6 valgustusklassile nõutavad väärtused	Arvustuslahendus
Keskmine heledus, Lm ( <i>luminance</i> ) [ $cd/m^2$ ]	$\geq 0,30$	0,30
Heleduse üldühtlus, Uo ( <i>Uniformity, over</i> )	$\geq 0,35$	0,53
Heleduse pikiühtlus, Ul ( <i>Uniformity, line of sight</i> )	$\geq 0,40$	0,72
Heledusläve kõrgenemistegur, TI ( <i>Threshold increment</i> )	$\leq 20$	12
Ääre-valgustihedussuhe, EIR ( <i>Edge Illumination Ratio</i> )	$\geq 0,30$	0,62

Valgustuse mõõtmisi teostatakse vastavat kvalifikatsiooni omava spetsialisti poolt hilisõhtul või öösel, kui päike on täielikult horisondi taha läinud ja ilmastikuolud on kuivad. Oluline faktor on, et loetletud tingimused oleksid täidetud, kuna antud juhul on tagatud, et arvustulemused oleksid võimalikult täpsed ja vähe moonutatud teiste valgusallikate poolt. Kakumäe külas on ainult sõidutee ja eraldi jalakäijate tee puudub, seega teostakse heleduse mõõtmine. Mõõtevahendina kasutatakse digitaalse heleduse mõõtekaamerat, näiteks ILMD LMK Mobil ning andmete töötlemiseks vastavat tarkvara, konkreetse seadme puhul LMK LabSoft programmi. Mõõdistamiseks valitakse kindlad mastide vahed, kus ei ole häirivaid tegureid lisa valgustuse näol ning sooritatakse heleduse mõõtmine. Enne, kui teostatakse kaameraga mõõtmine tuleb see ära kalibreerida. Seda sooritatakse spektroradiomeetri ja valge kalibreerimisplaadi kaudu, kus teostatakse valguse spektrist lähtuvalt mõõteriista kalibreerimine. Sellega kaasnevalt saadakse

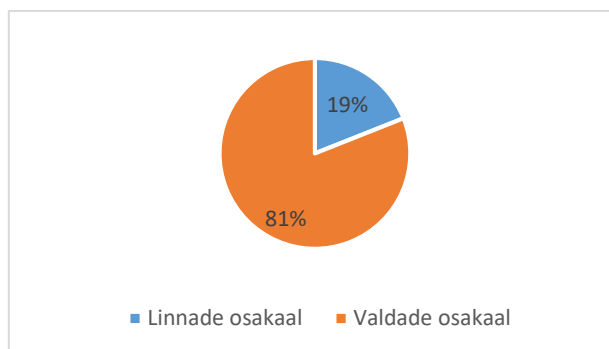
koheselt fikseerida ka mõõdetavas piirkonnas värvsustemperatuur ja määrata ära, milline on selle hälve. Kalibreeritud kaameraga tehakse mõõdetavast piirkonnast pilt, mis sooritatakse mõlemast sõidusuunast. Pildid tehtud, läheb töötamine edasi arvutipõhiseks, kuna seal määratakse esmalt ära piirkond, mida hakatakse vaatlama. Peale seda sooritatakse vastavad arvutused ning teostatakse võrdlusmoment projekteerituga. Peale vajalike protsesside tegemist koostatakse mõõtmise protokoll, mis antakse tellijale. Kui konflikte mõõtmiste käigus ei esinenud, siis võetakse tänavavalgustuse kasutusõigused vastu ja taristu saab ametlikult töötada.

Lõputöö autor ei saanud teostada objektil mõõtmisi, kuna töö esitamise hetkel ei ole seda veel välja ehitatud. Seega ei saanud sooritada simulatsiooni ja reaalse olukorra analüüsi.



## 2. JUHTIMISSÜSTEEMID JA NENDE VÕRDLUS

Tänavavalgustuses on võimalik kasutada mitmeid erinevaid juhtimissüsteeme. Tänapäevases maailmas on saadaval suur ja lai valik erinevaid süsteeme, mida saavad KOV planeeritavasse võrku soovida. Käesolevas töös uuritakse KOV, kes rekonstrueerivad oma võrke väiksemates küldades ehk vallad ja neid on Eestis kokku 81% (joonis 2.1), 64 valda, kogu omavalitsuste loetelust. Seega üle kolmandiku KOV saaksid oma analüüsimisel käesolevat lõputööd kasutada. [19]

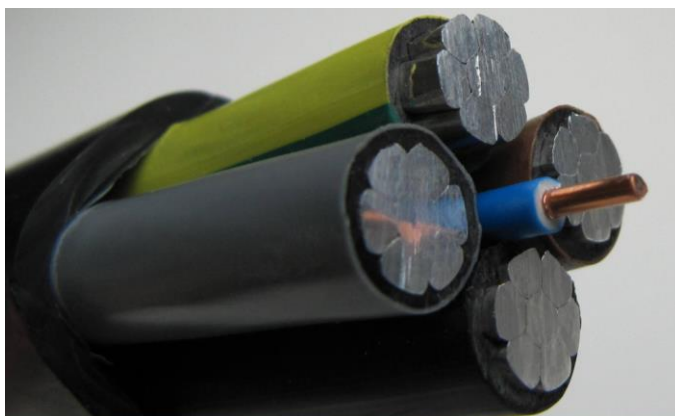


Joonis 2.1 KOV osakaal [19]

Hetkel enamus süsteemidest töötavad terve öö vältel täisvõimsusega, kuigi liiklejaid, teelõigul ei ole ning seeläbi raisatakse tohutul hulgal energiat. Linnade ja asulate kuludest moodustab suure osa just tänavalgustus, riiklikus mastaabis moodustub see hinnanguliselt 30% kogu elektri tarbimisest. See on ka juhtimissüsteemide üks peamisteks eesmärkidest, et kokku hoida elektrienergiat ning läbi selle vähendada keskkonnasaastet ja minimeerida elektriarveid. Läbi intelligentse juhtimise on võimalik energiakulusid kokku hoida 30 – 70% ulatuses. [20]

### 2.1 Faasijuhtimine

Üks vanemaid ja enamlevinud juhtimisviisideks on faasijuhtimine. Antud juhtimise viis on üks kõige kindlamaid ning lihtsaima struktuuriga, haldaja soovi korral saab rakendada koheselt 50%-list energiasäästu. Juhtimissüsteemi taristul kasutatakse laialdaselt ARLC kaablit (joonis 2.2), kus on lisaks alumiiniumist juhtidele ka keskel vasest lisasoon. Lisasoonale on võimalik anda peale 230 V ning kogu valgustaristu on suuteline ümber lülituma etteantud säästu peale. Kogu protsess toimub häirevabalt ning ei nõua jooksvaid kulusi. Lisaks sellele on tegu ühe odavama juhtimissüsteemiga. [21]



Joonis 2.2 Vasest lisasoonega kaabel, ARLC [22]

### 2.1.1 Faasijuhtimise sobivus Kakumäe külla

Faasijuhtimise süsteem on lahendus, kus tekib säästurežiimil olekus ebaühtlane valgusjaotus, kuna valgustusarvutused on sooritatud, arvestades kõikide lampide töötamist. Öisel ajal säästmine tähendab antud süsteemi korral seda, et välja lülitatakse terve faas. Kui toiteta on 1 faas, siis järjestikusest kolmest lambist põleb ainult kaks, kui lülitatakse välja 2 faasi, siis kolmest lambist põleb üks. Antud olukord ei taga teedele kehtivaid nõudeid.

Tabel 2.1 Faasijuhtimise energiasäästu võrdlus Kakumäe küla baasil

Informatsioon	Ühik	Väärtus
Elektrihind koos võrgutasu ja aktsiisiga	€/MWh	40
Uue taristu valgustuspunktid	tk	37
Võimsus valgustuspunkti kohta	W	15
Keskmiselt valgustite töötamise aeg päevas	h	11
Juhtimissüsteemi kasutamine ehk faasi välja lülitamine (kell 00.00-06.00)	h	6
Taristu energiakulu päevas	kWh	6,105
Taristu energiakulu päevas, 1f väljalülitamisel	kWh	5,025
Taristu energiakulu päevas, 2f väljalülitamisel	kWh	3,945
Elektrimaksumus	€/a	89,13
Elektrimaksumus, öösel 1f väljas	€/a	73,37
Elektrimaksumus, öösel 2f väljas	€/a	57,60

Projekteeritavas Kakumäe külas on üks võimalikest lahenduse variantidest just faasijuhtimisega süsteem koos distantslülitusseadmega. Seda lahendust saab kasutada, kui see on reguleeritud vastavalt öisele perioodile, millal inimeste liikumine on minimaalne. Sel juhul saaks tulemuse, kus öösel ühe faasi välja lülitamise korral 37-st lambist tarbiksid energiat 25 ja kahe faasi välja lülitamise korral 13 lampi. Taolise süsteemi kasutamisel pikeneks faasidel, kus valgustus lülitatakse välja, leedvalgusti eluiga kahekordselt. See tuleneb sellest, et suurem osa ajast nad ei põle, mis tähendab,

et nad ei tarbi ettenähtud kasutusaega ja sedasi saavutavadki valgustid pikema eluea, kuna päeva keskmine valgustusaeg läheb poole väiksemaks. Tabelist 2.1 on välja toodud rahaline ja energeetiline erinevus, kui kasutada faasidega juhtimise süsteemi. Energia koha pealt hoiab iga faasi välja lülitamisega, ajavahemikul kella 00.00 kuni 06.00, päeva kohta kokku 1 kWh elektrit. Aastas teeks säärane kokkuvõtte juba märgatava vahe, mis on 0,37 MWh.

Tabel 2.2 Faasijuhtimise plussid ja miinused

Positiivsed omadused	Negatiivsed omadused
töökindel	Säästu rakendamisel ei täida valgustusnõudeid
Lihtne ehituslik struktuur	Valgustamata lõigud
Ei nõua jooksvaid kulusi	
Odav paigaldamine	
Osade valgustite teoreetiline eluea pikendamine	

Käesolev juhtimissüsteem on küla mastaabis asjakohane nagu positiivsetest punktidest võib välja lugeda ja aitaks suurel määral kaasa säästmisele. Küla keskkonnas on oluline, et süsteemi maksumus oleks odav ja töökindlus tagatud, seega analüüsitud süsteem sobiks Kakumäe külla. Arvestama peab ka kitsaskohtadega, et antud lahendus ei lase öösel, kui süsteem on rakendunud, täita vajalikke valgustamise kriteeriumeid. Pikemateks valgustamata mastivahedeks oleks 1 faasi välja lülitamise korral 80 m ning 2 faasi korral 120 m, mis tekitavad tee valgusühtluses suuri pimedaid auke, mis satub KOV nõudega, turvalisuse tõstmise, vastuollu.

## 2.2 Digitaalne ehk DALI juhtimine

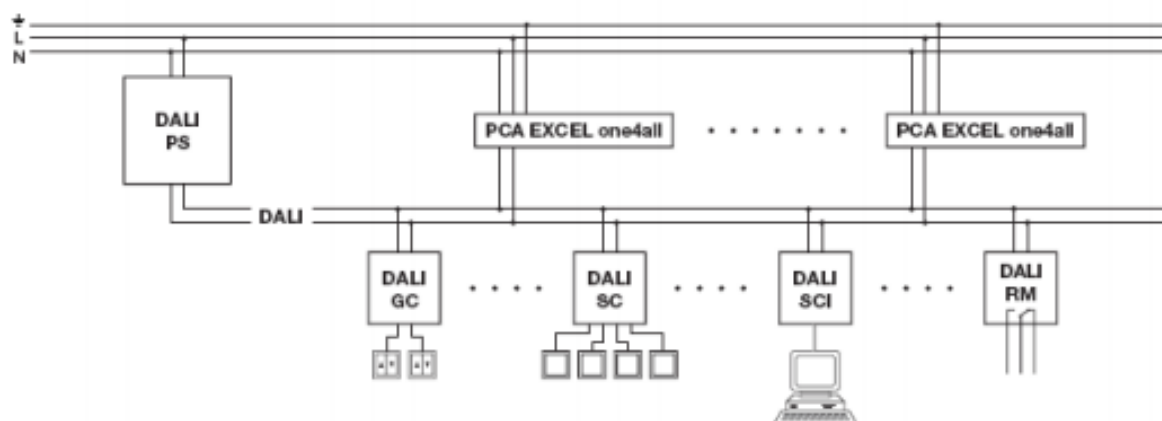
DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) on digitaalselt juhitud süsteem, mis on määratletud standardi IEC 60929 lisas E.4 järgi. Intelligentne valgustuse lahendus annab igale valgustile oma aadressi, tänu millele võimaldab see igaühete eraldi juhtida vastavalt vajadusele. Süsteemi toimimiseks on vajalik, et igas valgustis on antenn, kuna signaali edastamine ja vastuvõtmine toimub traadita andurivõrgul. Tänu sellele on DALI protokoll võimeline kasutajale kuvama palju parameetreid mis võib anda infot lambi parameetrite ja oleku kohta. Viimane on energia säästmise ja hoolduse mastaabis väga oluline, kuna läbi selle on võimalik tuvastada igal lambil esinevaid

törkeid, mis võimaldab ennetavat hooldust. Tänapäevaks on DALI süsteem niivõrd laialdane, et erinevad tooted ühilduvad omavahel DALI protokollis. [23] [24]

DALI süsteemi on väga lihtne paigaldada ning valgustites kasutatav programm on Excel one4all, millel baasil toimub juhtimine digitaalkoodi abil. Selles lahenduses pole oluline, kus mingi valgusti asub, vaid sellele saab ära määratleda väga täpse valgustamise stsenaariumi alusel, kuidas hakkab see toimima. Ühest juhtimisliinist saab juhtpult kontrollida 64 erinevat valgustit ning neid on võimalik üksikult reguleerida. Ei oma tähtsust, et nad kõik on ühendatud ühele juhtpuldile. Seda olukorda saab teostada tänu sellele, et iga valgustil on isiklik aadress, mille järgi neid eristatakse. [24]

DALI juhtimissüsteemi tehnilised andmed: [24]

- tööpinge: 9,5- 22,4 V
- süsteemi maksimaalne vool: 250 mA
- andmeedastamise kiirus: 1200 Bd
- kaabli maksimaalne pikkus: 300 m



Joonis 2.3 DALI põhimõtteline juhtimisskeem [24]

### 2.2.1 DALI juhtimissüsteemi kasutamine Kakumäe külas

Viimisi arengukavas 2019- 2029 on üheks võimalikuks versiooniks määratletud DALI juhtimine. Olukorda, kus kasutatakse juhtimissüsteemi on hinnanguliselt energiasääst 26 % efektiivsem, kui valgustid töötaksid öö vältel pidevalt täisvõimsusel. [25]

Tabel 2.3 DALI juhtimine Kakumäe küla baasil, lähtudes Viimsi arengukavast

<b>Informatsioon</b>	<b>Ühik</b>	<b>Väärtus</b>
Keskmiselt valgustite töötamise arv aastas	<i>(h)</i>	4 000
Elektrihind koos võrgutasu ja aktsiisiga	<i>(€/MWh)</i>	40
Kogu uus taristu	<i>tk</i>	37
Võimsus uuel taristul, valguspunkti kohta	<i>W</i>	15
Aastane tarbimine, 100% võimsusel	<i>kWh</i>	2 220
Keskmine kokkuhoid	<i>%</i>	26
Aasta tarbimine koos juhtimissüsteemiga	<i>kWh</i>	1 642,8
Elektrihind ilma juhtimiseta	<i>€/a</i>	88,8
Elektrihind juhtimisega	<i>€/a</i>	65,7

Vaadates tabelit 2.3 on eristatav, et hea juhtimissüsteemiga on võimalik märgatavalt raha ja energiat hoida kokku. Kui juhtimissüsteemi ei kasutata, siis pidevalt täisvõimsusel olek 4000 *h* aastas tuleb valla kommunaal kulud neljandiku võrra kõrgemad, kui seda on juhtimissüsteemiga. Igal juhtimissüsteemil on oma positiivsed pooled ja kitsaskohad.

Tabel 2.4 DALI juhtimise positiivsed ja negatiivsed pooled

<b>Plussid</b>	<b>Miinused</b>
Valgustipõhine valgustugevuse reguleerimine	Haldaja olemasolu vajalikkus
Määratletav valgustuse stsenaarium	Süsteemide vajadus
Valgustusgruppide moodustamine	
Andmete kuvamine hooldustööde ennetamine	

DALI juhtimissüsteemi üldiselt väiksematesse küladesse ei ehitata, kuna üks funktsioonidest on valgusti reguleerimine, mis nõuab teatavat personali. Väiksemates valdades ja alevikes selline asi puudub. Suuremates linnades kasutatakse võrguhaldajate teenust, kus dispetšerite üheks ülesandeks on tänavavalguse haldamine ja reguleerimine, kui selleks tekib vajadus. Külas, kus elab inimesi alla 100 ja vald, kus antud üksus asub, on sisse kirjutatud alla 7 000 inimese, siis sellise süsteemi ehitamine ja võttes tööle inimese, kes seda võrku haldab, ei tasu see ennast ära. Määratledes ära oodatava summa, mis hoitakse juhtimissüsteemi säästu pealt kokku on aasta lõikes 20 €. Süsteemi haldamine, hoides rahaliselt kokku väga vähe ei tasu ennast ära. Seetõttu ei ole DALI juhtimissüsteemi ehitamine Kakumäe külla mõistlik. Loomulikult saaks analüüsitava süsteemiga

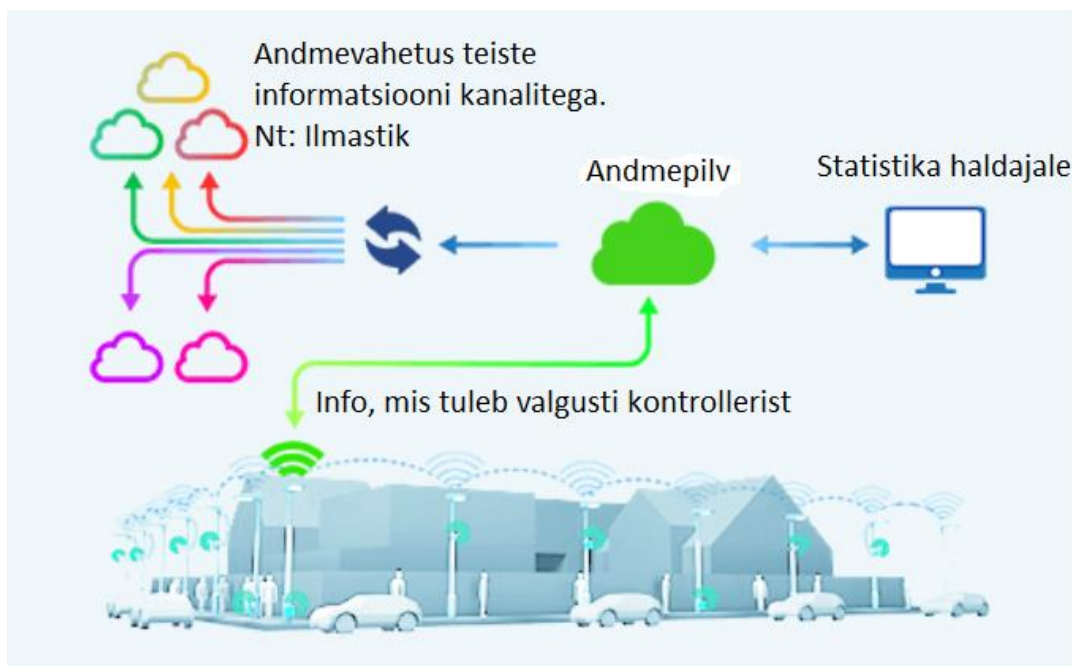
teoreetiliselt pikendada valgustite eluiga, reguleerides neid vastavalt vajadusele ja ennetada suuremaid rikkeid, kuid sedasorti süsteeme ehitatakse rohkem linnadesse, kus saavutatakse marginaalsem säästetav rahaline summa.

## 2.3 Cityntel juhtimissüsteem

Cityntel on üks uuemaid tänavavalgustuse juhtimissüsteemide lahendusi. Antud süsteem suudab valgustuse teha targaks läbi kontrollerite, mis reguleerivad valgustugevust. Erinevalt olemasolevatest kaugjuhtimissüsteemi lahendustest, kus iga kontroller vajab tegevuseks uut käsku, suudab käesolev lahendus ise toimetada. Sealne programmeeritud kood suudab iseseisvalt tuvastada kellaega, kuupäeva ja oma asukohta. Seega valgusti on võimeline ennast ise navigeerima ja selle baasil paika panna, mis kell tõuseb ja millal loojub päike. [26]

Cityntel süsteem toimib raadiokanalite toimetel, kus kõik seadmed on omavahel ühendatud. See võimaldab otsest traadita ühendust eri sõlmede vahel. Kõikidel kontrolleritel on võimalus saata andmeid edasi ja samamoodi ka vastu võtta. Antud lahendus võimaldab valgustuse süsteemil edasi toimida ka juhul, kui mingis valgustuspunktis on rike ja läbi tema andmete edastamine ei toimu. Seoses sellega, et andmetöötlus on hajutatud, tagatakse suurepärane töökindlus, kuna ükski sõlm ei ole sõltuv. Töötamise aja reguleerib ära kasutaja ehk inimene, kellele on tehtud volitus. Tema paneb paika hämardamise ajakavad, vastavalt tee klassifikatsioonile ja nõuetele, mis peavad olema täidetud ning millest hakkab süsteem lähtuma ja edaspidi talitlema. Cityntel süsteem suudab anda kasutajale koheselt ka statistikat, millised on hetkelised elektrikulud ja mis on taristu energiasääst. Lisaks suudab süsteem ka tuvastada, kui on toimunud valgustis mingisugune rike. See annab suure eelise, et on võimalik saata spetsialistid esimesel võimalusel probleemiga tegelema. [26] [27]

Cityntel süsteem on avatud kasutusele võtma erinevaid andureid, mis teevad tänavavalgustuse taristu täiuslikumaks. Üks kasutatavamaid on liikumisanduriga süsteemilisa, mis tähendab, et lisaks kontrolleritele valgustites on mastide külge paigaldatud ka liikumisandur. Nende integreerituse põhimõtte seisneb selles, et üldine süsteem jääb samaks. Kui läbi kontrolleri on valgusti reguleeritud öösel 50%-lise võimsuse peale ja anduri sektorisse tuleb inimene, siis ta tuvastatakse, saadetakse vastav info kontrollerisse ning sealt reguleeritakse valgusti võimsus teatud ajaks ümber 100% peale. Seda lahendust katsetatakse SmartEnCity programmis, millest võtab osa Tartu linn, mis võib olla tugev tulevikumõjutaja. [27]



Joonis 2.4 Cityntel lahenduse algoritm [27]

### 2.3.1 Cityntel juhtimissüsteemi analüüs Kakumäe külas

Cityntel on noor firma, kellel pole veel palju teostatud projekte. Kaks testprojekti, mille nad on sooritanud, Tallinna vanalinnas olev valgustus ja Tartus tänavavalgustus. Võrdluse analüüsiks valib lõputöö autor Tartu, kuna seal teostati sõidutee valgustamist, 1 200 valgustuspunkti. Prognoositav energiasääst olemasolevast taristust on 85%, mis saavutatakse uuema generatsiooni leedvalgustite ja Cityntel juhtimissüsteemi abil. Tallinna vanalinna välistas autor, kuna see asub muinsuskaitse tsoonis, mis tekitab valgustite koha pealt palju erinõudeid, mida Kakumäe külas ei esine. [27] [28]

Tabel 2.3 Potentsiaalne Cityntel juhtimissüsteemi kasutamine Kakumäe külas

Informatsioon	Ühik	Väärtus
Keskmiselt valgustite töötamise arv aastas	(h)	4 000
Elektrihind koos võrgutasu ja aktsiisiga	(€/MWh)	40
Olemasoleva taristu suurus	tk	33
Võimsus taristul, valguspunkti kohta	W	210
Aastane tarbimine	kWh	27 720
Prognoositav sääst	%	85
Aastane tarbimine uutel taristul	kWh	4 158
Elektrihind olemasoleva võrguga	€/a	1 108,8
Elektrihind tulevasel võrgul	€/a	166,32

Tabeli 2.3 baasil Cityntel süsteemi kasutamise kaudu saavutatakse Kakumäe külas üle kolmveerandi energiakuludest. Prognoositud 85% sisse oli arvestatud ka valgustuspunktide tihendamine,

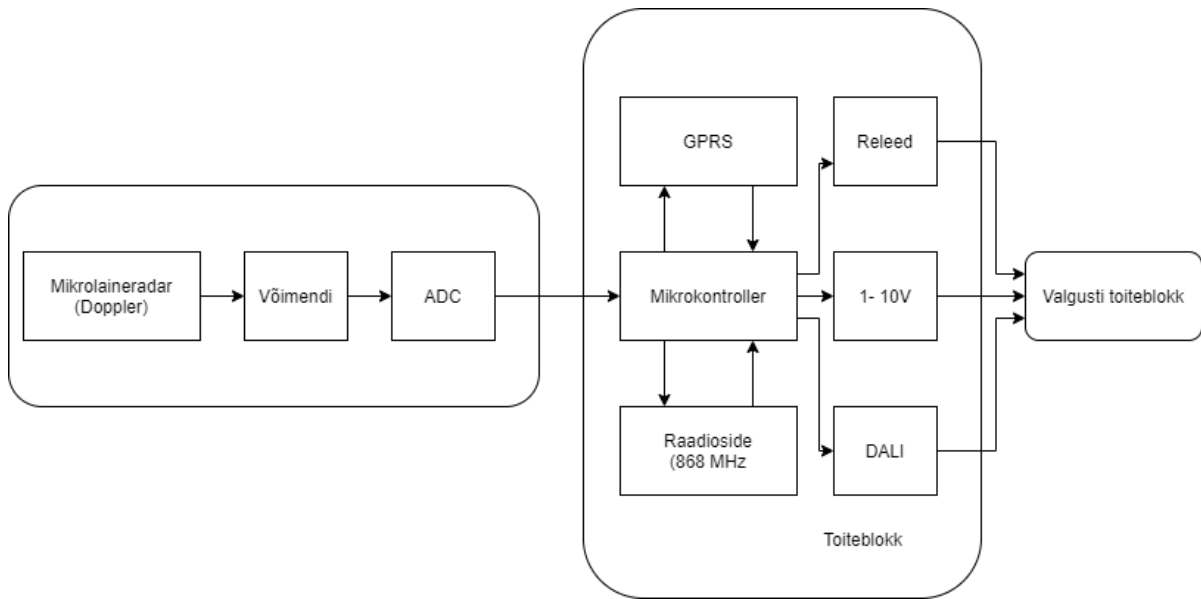
kohtadesse, kus seda eelnevalt ei esinenud. Kui võtta võrdluseks projektis olev energiasääst 2,2 *MWh* (tabel 3.3) ja hetkel Cityntel süsteemiga saavutatud sääst 4,2 *MWh* (tabel 2.3), siis vahetõr on kahekordne. Hetkel külla planeeritav süsteem annab parema tulemuse, kui seda saavutatakse SmartEnCitys kasutatava juhtimise baasil. Põhjuseks võib olla eelpool mainitud tihendamine, kus väikese küla andmetest võib välja lugeda 10%. Seega kui vaadelda Tartu linna, kus vahetatakse välja 1 200 valgustuspunkti ja arvestada sinna sisse 10% tihendamist, siis tekibki olukord, kus prognoositav protsentuaalne kokkuvõte tuleb väiksem, seoses uute valgustusmastide lisamisega. Tuginedes arvudele ei ole mõistlik käesolevat juhtimissüsteemi kasutada Kakumäe külas, kuna välja arvatud tulemused jäävad üpris suureks ja see ei tasu ennast teiste süsteemide kõrval ära.

## 2.4 Comlight juhtimissüsteem

Comlight juhtimise süsteem on maailmas üks ainulaadsemaid. Nende süsteem sarnaneb Citynteliga, kuid selle taga ei ole suurt andmevõrku. Liikumistundlik tänavavalgustuse süsteem on Comlight firma patenteeritud lahendus, mis hoiab kokku valgustuses kasutatavat energiat. Nutikas süsteem on üles ehitatud liikumisandurite ja valgustugevuse reguleerimise baasil, kui süsteem tuvastab piirkonnas liikumist, siis ta aktiveerub. Valgustitele on paigaldatud *Eagle Eye* radarite detektor, mis tuvastab kogu tegevuse ning läbi kiire analüüsi seadistab valgustugevuse just nõutavale astmele. [29]

Valgustite ja andurite omavaheline suhtlus toimub raadio teel. Kui andur tuvastab ära liikumise siis edastatakse informatsioon lähimatele mastidele, et sealne reguleerimine saaks samuti rakenduda. Antud lahendus toimub, kui lainetus liikuva objektiga koos, mis rakendub pigem etteruttavalt, pakkudes samal ajal liiklejale ohutust ning säästes elektrienergiat. Kui piirkonnas liikumist ei toimu, siis on süsteem programmeeritud energiasäästlikule režiimile, kuid on tagatud, et täiesti pimedusse antud taristu ei jää. [29] [20]





Joonis 2.5 Comlight süsteemi põhimõtteskeem [30]

### 2.4.1 Comlight juhtimissüsteemi analüüs

Eestis on Comlight juhtimissüsteemiga sooritatud pilootprojekt, kus vaadeldavaks piirkonnaks oli Tallinnas asuv Suur-Sõjamäe. Antud lõigus on kasutusel 110 W valgustid, liiklussagedus hinnanguliselt 4000 sõidukit ööpäevas ja teeklassiks oli määratud M4. Lähtudes Suur- Sõjamäe pilootprojektist ning sealsetest, tabelitest koostas lõputöö autor Kakumäe küla kohta analoogsed arvutused, et välja tuua Comlight juhtimissüsteemiga prognoositav sääst. Hämmardumise keskmiseks ajaks võetakse 61%, mis baseerus lõigust, kus oli kasutusel väikseima võimsusega valgustus, 35 W. [30]

Tabel 2.4 Comlight juhtimissüsteemi arvutuslikud tulemused Kakumäe küla kohta baseerudes Suur- Sõjamäe pilootprojektile.

Informatsioon	Ühik	Väärtus
Keskmiselt valgustite töötamise arv aastas	(h)	4 000
Elektrihind koos võrgutasu ja aktsiisiga	(€/MWh)	40
Kogu uus taristu	tk	37
Võimsus uuel taristul, valguspunkti kohta	W	15
Aastane tarbimine, 100% võimsusel	kWh	2 220
Keskmine hämmardumise aeg	%	61
Hämmardus talitlus	%	50
Aastane tarbimine koos juhtimissüsteemiga	kWh	1 542,9
Täisvõimsusel olev elektri maksumus	€/a	88,80
Juhtimissüsteemiga elektri maksumus	€/a	61,72

Tabelist 2.4 on näha, et läbi Comlight juhtimissüsteemi säästetakse energiat neljandiku võrra. Selline säästmine, kus võidetakse aasta vältel 25 % on märkimisväärne saavutus, samas tuleb vaadelda reaalselt olukorda. Hetkel käsitletav lahendus on mõtteliselt planeeritud küla valgustitele, kus elab alla 100 inimese, pilootprojekt on sooritatud Tallinnas ja teelõigul, kus päevane liikumissagedus on väga kõrge võrreldes Kakumäe külaga. Lisaks peab hindama kriitiliselt ka keskmist hämardus aega, mis küla mastaabis on kindlasti palju väiksem, kuna liikumist on seal märkimisväärselt vähem, kui pealinnas. Seega prognoositavaks saavutuseks oleks veelgi suurem säästumäär, kui seda praegused tulemused näitavad. Samas tuleb ehituse kohapealt arvestada kallite komponentidega, milleks analüüsitavas süsteemis on Eagle Eye radarid, mis peavad vastu pidama Eesti kliimale. Üldiselt antud süsteemiga muutuks liikumine turvalisemaks, kuna sel hetkel, kui objekt liigub valgusti sektoris reguleeritakse see täisvõimsusele, mis tagab liikujale ohutu teekonna.

Kui vaadeldav süsteem paigutada külla, siis peab arvestama ka metsloomade liikumisega, millele andur reageerib. Inimese seisukohast vaadeldes oleks selline olukord positiivne, kuna saadakse informatsioon, et lõigul, millel liigutakse on lisaks temale veel metsloom, keda tasub vältida. Inseneri seisukohalt on halb, et andur reageerib liikumisele, mis ei nõua valgustamist. Sellest punktist saab edasi uurida, kuidas sellist süsteemi saaks edasi arendada, et eristatud oleksid inimesed ja loomad.

Tulemuste analüüsi järgi võib öelda, et Comlight süsteem on väiksemates asulates päris efektiivne, kuna liikumissagedus on väike ja öine energiasääst tänu sellele suur. Samas peab arvestama, et väikese võimsusega tänavavalgustusele ei tasuks Comlight süsteemi paigaldamine ära, kuna võimsuste reguleerimine on suuremas mastaabis väike. Otstarbekam on taolist süsteemi kasutada suuremates linnades, kus on kõrgemad nõuded teedele, kuid ei ole nii arvukat liiklusvoogu, et valgustid oleksid reguleeritud pidevalt maksimumini. Lisaks kasutatud võimsamaid valgusteid, mille reguleerimine võimsuse näol annab marginaalsemaid tulemusi.

## **2.4.2 Juhtimissüsteemide kokkuvõttev analüüs**

### **2.4.2.1 Kakumäe küla juhtimissüsteem**

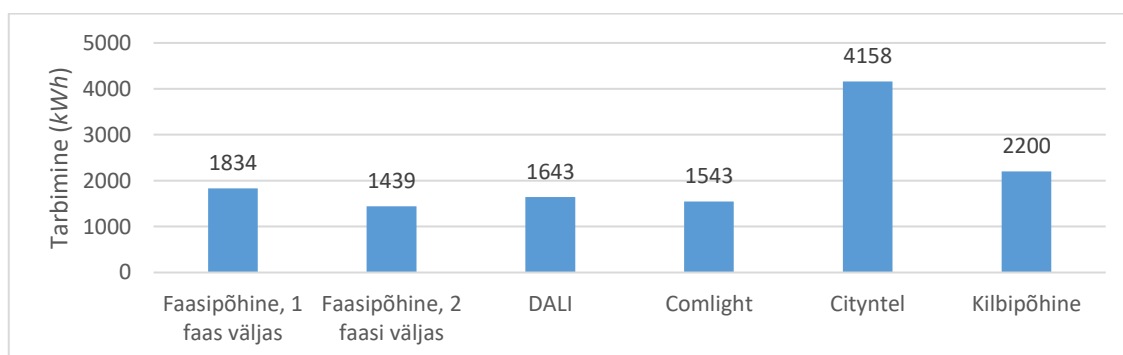
Kakumäe külla on hetkel projekteeritud juhtimine, mis on kilbipõhine. Valgustuse sisse- ja väljalülitamine toimub hämaraanduriga ja astronoomilise kellaga. Viimane kontrollib hämarandurilt saadud signaali, et tuvastada, kas tegu on öö või päevaga. Sellega välistatakse olukord, kus tahtlikult imiteeritakse hämarust või valgenemist. Valgustite öine valgusvoo vähenemine toimub eelprogrammeeritud draiveritega. Viimasel on sisse programmeeritud funktsioon, läbi mille

kohanetakse vastavalt aastaajale ning korrigeeritakse hãmardamisaegu. Juhtimise sũsteem on projekteerijale KOV poolt hankes ette määratud.

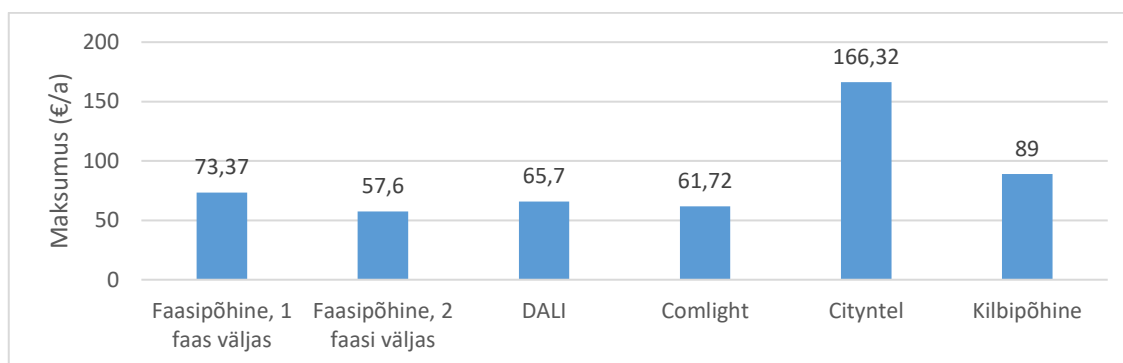
Kakumäe küla kilbiskeem on toodud graafilises osas 2.

#### 2.4.2.2 Optimaalseima juhtimissũsteemi leidmine

Käesolevas peatũkis sai analũsitud mitut erinevat juhtimise sũsteemi, mis pandi autori poolt analũsiks küla mastaapi. Tulemused olid suhteliselt ũllatavad, kui võrrelda sũsteemiga, mis projekteeritakse Kakumäe külla avastas autor, et leidub veel säästlikumaid versioone, mida saaks kasutada alternatiivse võimalusena.



Joonis 2.6 Juhtimissũsteemide elektrienergia tarbimise kokkuvõte



Joonis 2.7 Juhtimissũsteemide majanduslik kokkuvõte

Võttes juhtimissũsteemid kokku ja tehes uuesti analũsi Kakumäe küla juhtimise kohta on joonistelt 2.6 ja 2.7 näha, et säästlikumaks osutus faasipõhine juhtimine, kus saavutatakse 2 faasi väljalũlitamisega kuueks tunniks energia kulu 1 439 kWh. ũldiselt on joonistelt näha, et peaaegu kõik juhtimissũsteemid töötavad väga väikeste erinevustega, vaadeldes küla mastaapi. Cityntel sũsteemiga tekkis arvutamisel, lähtudes Tartu linna prognoositavatest tulemustest, ebarealistlik resultaati. Tegemist on siiski SmartEnCity programmiga ja analũsitud tulemus jäi Kakumäe külas alla sũsteemile, kus valgustid põlevad õõ läbi täisvõimsusel. Lähtudes linna programmist võib välja

lugeda, et säästumäärade alla on lisatud ka tihendamine, mis tekitab olukorra, kus trassi koguvõimsus läheb suuremaks ja seeläbi saadakse väiksem protsent võrreldes esialgsega. Kuna tegemist on suurlinnaga ja lõputöö autor tegi analüüsi külas, siis prognoositav protsentuaalne tulemus jääb käesolevas töös adekvaatselt arvutustulemusest kaugeks. Kui vaadelda teisi süsteeme, ning jätta Cityntel kõrvale, on kõikide süsteemide energiakulu ja samuti ka rahaline pool üsna sarnane. Siit tuleneb ka põhjus, miks küladesse valitakse pigem lihtsamakoeline süsteem, sest kui võrrelda taristu algset olukorda, kus aastane väljaminek oli ligikaudu 1 100 € (tabel 3.3) ja uue süsteemi korral on prognoositav kulu ligikaudu 65 € aastas, siis rahaline säästmine on olnud juba uue taristu väljaehitamise suurusjärgus 1 000 €. Samas kui panna Kakumäe külla faasipõhine juhtimine, siis peab arvestama olukorraga, kus säästu režiimile mineku ajaks ei tagata teelõigul ühtlast valgust ja kohatakse pimedaid lõike. Lisaks vajavad osad süsteemid ka haldajaid, mis omakorda nõuab personali või haldusjuhile tööülesannete lisamist, mis on KOV lisakulu, mida üldiselt välditakse ja seetõttu valitakse süsteem, mis toimib kindlalt ja iseseisvalt. Samas tagatakse süsteemidega, kus toimub väljalülitamine või hämardamine, teoreetiliselt leedvalgustile pikem eluiga, kuna tehnilistes andmetes saavutatud tulemus on laboratoorse katsetuse käigus saadud resultaat, mis on saavutatud täisvõimsusel. Antud katsetust ei ole käesoleva tööga tõestatud ja järeldusi tehakse teooria baasil.

#### **2.4.2.3 KOV arengukava tänavavalguse juhtimissüsteem**

Peale erinevate KOV arengukavadega tutvumist ja juhtimissüsteemide analüüsi läbi mitmete väljaehitatud projektide on autor jõudnud arusaamale, et KOV peaksid arengukavades kaasama erinevate alade spetsialiste. Käesolevas peatükis analüüsiti erinevaid juhtimissüsteeme, mida on võimalik tänavavalgustuses kasutada ja mille vahel võiksid KOV arengukava koostajad valida. Tutvudes erinevate arengukavadega ei ole üheski välja toodud, millist juhtimissüsteemi soovitakse tulevasele renoveeritavale taristule saada või missugust ühist süsteemi võiks KOV kasutada kõikides kohtades, mida hallatakse. Paljudes dokumentides oli eesmärgiks jõuda vaid suurele energiasäästule, kuid tegelikult suudetakse tänapäevaste juhtimissüsteemidega palju enam saavutada, kui vanema generatsiooni valgustite pealt üleminek uuema generatsiooni leedvalgustile. Järgmiseks sammuks ongi uue taristu juhtimine ja sellega saavutatav elektri kokkuhoid. Kui hakata juhtimissüsteeme arengukavasse ja hiljem ka hankesse lisama, siis tuleb ära määratleda tingimused, kus süsteem ja sinna juurde kuuluv tarkvara oleks kättesaadav kõikidele volitatud osapooltele. Vastasel juhul tekiks olukord, kus firma, kes vastavat teenust pakub, omab kõiki andmeid ja ei lase KOV midagi reguleerida ja selle kallal tegutseda, saavutatakse piltlikult monopol. Teiseks oluliseks aspektiks on erinevate süsteemide analüüs planeeritavasse kohta nagu tegi autor käesolevas peatükis, kus analüüsis küla mastaapi ja tuli välja, et keerulisemad

juhtimissüsteemid tuleks ära välistada ning valida lihtsam süsteem. KOV peaksid analüüsimise juurde kaasama eriala konsultandid, kes oskaksid tutvustada otsustajatele lisaks säästetud numbritele ka süsteemi tehnilist poolt.

### 3. DOKUMENTATSIOON PROJEKTI JÄRGMISEKS ETAPIKS JA ENERGIASÄÄSTUARVUTUSTE ANALÜÜS

Peale projekti projekteerimist tehakse alati KOV esindajale üldine ülevaade. Selleks pannakse kokku töö mahtude, materjalide spetsifikatsioonide ja säästuarvutuste tabelid. Esimesed kaks on alati nõutud erinevates hangetes, kuid KIKi projektides on lisaks mahtude ja spetsifikatsioonide tabelile nõutud ka energiasäästu tabel, kus on välja toodud taristu vahetusega saavutatav sääst. Käesolevas peatükis tehtud tabelid on sooritatud käsitsi ja tänapäeva mõistes ajamahukalt, uuemate lahendustega ei pea neid ise tegema, vaid need koostatakse, programmi MeteorCalc, automaatselt vastavalt projektile, mis teeb ajalise võidu nii projekteerivale firmale kui ka KOV-ile.

#### 3.1 Ehitustööde mahud

Tööde ja mahtude tabel on dokument, kust ehitaja saab vajaliku informatsiooni. Sinna kuuluvad nii postide paika panemise arv ning kaabelduse pikkus, mis on vaja kaevata maa alla või ühendada valgustuspunktide vahele õhuliinina. Mahtude tabeli järgi teostab projekteerija ka töö eeldatava eelarve, millest võib hankija lähtuda, kui pannakse välja avalik ehitushange. Tihti tekib olukord, kus tellija saab projekteerija poolt toodud ühikuhinnast soodsama maksumuse. Makseartiklid, mida kasutatakse, on valitud Maanteeameti poolt välja toodud numbritega. [31]

Tabel 3.1 Projekti töö mahtude tabel ning planeeritav tööde eelarve

Spets.nr.	Tööde kirjeldus	Möötühik	Maht	Ühikuhind	Summa
1	2	3	4	5	6
80308	Kaablikaeviku kaevamine kaabli/kaablite paigaldamisega torusse/torudesse koos taastamisega. Trassi pikkus	m	1 444	30	43 320
80309	Kaabli paigaldus kinnisel meetodil. Trassi pikkus	m	31	50	1 550
80313	Valgustuse lülituskilp ja seadmete montaaž	tk	1	500	500
80314	Kordusmaanduse komplekt	tk	12	60	720
80316a	Valgustuse metallmasti (h = 8m), jalandi, konsooli, valgusti montaaž. Lisandub valgusti maksumus	tk	37	550	20 350
80324	Kontrollitoimingud	objekt	1	1 000	1 000
80325	Mahamärkimine ja teostusmöödistus	m	1 475	2	2 950
	TECEO S / 5244 / 24 LEDS 200mA WW	tk	37	220	8 140

Tabeli 3.1 järg

Spets.nr.	Tööde kirjeldus	Möötühik	Maht	Ühikuhind	Summa
1	2	3	4	5	6
	Elektripaigaldise nõuetekohasuse deklaratsioon, elektripaigaldise kasutuselevõtule eelneva auditi protokoll, mõõteprotokollid (maandustakistuse, kaitse-, PEN- ja potentsiaaliühtlustusjuhtmete katkematus ja isolatsioonitakistuse mõõtmine)	objekt	1	500	500
	Kaitseeadme paigaldamine fiidri algusesse	tk	1	10	10
				<b>Summa</b>	<b>79 040 €</b>

## 3.2 Materjalide spetsifikatsioonid

Materjalide spetsifikatsioonide tabel, mida on nimetatud ka tükitabeliks, kus projekteerija on kirja pannud kogu tööks vajaminevad vahendid. Tabel 3.2 on lõputöö autori poolt tehtud spetsifikatsioonide tabel, kus on kirjas vahendid, millega peab arvestama, kui hakatakse ehitama Kakumäe küla valgustustaristut.

Tabel 3.2 Materjalide spetsifikatsioonide tabel Kakumäe külas

Vinni valla, Kakumäe küla tänavavalgustuse rekonstrueerimine				
Materjalide spetsifikatsioon				
Välisvalgustus				
Pos.	Materjali nimetus	Tüüp	Ühik	
1	TECEO S / 5244 / 24 LEDS 200mA WW	Liigpingepiirik 10kV, paigalduskaabliga (5x1,5mm <sup>2</sup> )	tk	37
2	Kooniline metallmast h=8m		tk	37
3	Metallmasti jaland + tihend	RBJ-4,5B (6-10m mastile)	tk	37
4	Konsool 1m		tk	37
5	Maakaabel 1,2kV +5% varu	AXPK 4G35	m	1 743
6	Installatsioonikaabel +5% varu	XPK 5G1,5 mm <sup>2</sup>	m	330
7	Kaablikaitsetoru	PVC Ø75mm, 450N	m	1 355
8	Kaablikaitsetoru	PVC Ø75mm, 750N	m	58
9	Kaablikaitsetoru	PE Ø63mm, 1250N	m	31
10	Maakaabli hoiatuslint		m	1 444
11	Kaabliotsa tihendussõrmik 1,2kV	35mm <sup>2</sup> kaablile	komplekt	74
12	Kordusmaanduskomplekt valgustusmastidele	5 x 1m	tk	12
13	Sulavkaitse 6A ja mastiklemmid (..50mm <sup>2</sup> )	SV 16.06	tk	37
14	Automaatkaitseüliti	3xB20A	tk	1

Tabeli 3.2 järg

Pos.	Materjali nimetus	Tüüp	Ühik	
15	LJS Kilp + seadmed	Komplekteerida vastavalt E600 skeemidele ning vajadusele	komplekt	1
16	Maanduskomplekt	Kilbile või kilpide komplektile	Komplekt	1
17	Kilbi tähistused		objekt	1
<b>Demonteerimine</b>				
1	Valgustusliini demontaaž (ÕL) kõikide kinnitusega		m	1 125
2	Valgustusliini demontaaž (maakaabel)		m	350
3	Valgusti (k.a konsooli) demontaaž		tk	4
4	Valgustusmasti ja valgusti demontaaž kõikide kinnitustega		tk	28
5	LJS kilbi ja seadmete demontaaž		tk	1

Käesolev tabel on oluline ehitajatele, kes osalevad projekteeritud lahenduse ehitamise hankel. Spetsifikatsioonide tabeli järgi saavad projektijuhid hinnata materjalide ostu hinda ja kogust ning panna kokku oma pakutava teostushind koos sinna kuuluvate kuludega. Spetsifikatsioonide tabel on projekti kuuluv üks olulisemaid dokumente, kuna see liigub edasi, eelpool mainituna, järgmisele hankele, millest lähtutakse. Sealsed arvud peavad olema 100% täpsusega paigas, välja arvatud kaabeldus, mille pikkusele lisatakse alati varu, mis on reeglite kohaselt +5%.

Kakumäe küla projekti mahtude tabel on vormingult ja sisult primitiivne. Kui vaadata tabelit 3.2 siis on näha et materjalide erinevus puudub, see tähendab, et ei ole ühte liiki asju mitu erinevat versiooni. Suuremates projektides, kus on erinevad sõidutee klassid ja -laiused, võib kasutusel olla mitmeid erinevaid optika versioone. Kakumäe külas on, tänu lihtsale teevõrgustikule, tulnud valgusarvutuste käigus kasutusele vaid üks kasutatav optika, mis teeb ehitajate töö lihtsamaks. Peale valgustite saab projekti materjalide lihtsus kinnituse ka kaabli pikkusest, mis on 1,7 km. Lisaks on võimalik, et ühest kilbist välja minevad fiidrid on erineva ristlõikega, kuid käesolevas projektis kasutatakse terve ala vältel vaid AXP 4G35 maakaablit.

### **3.3 Olemasoleva ja projekteeritava taristu võrdlus lähtudes keskkonna mõjudest**

Kakumäe küla välisvalgustuse taristu rekonstrueerimise projekt on sooritatud KIKi rahastusel. Üks olulisemaid aspekte, mida KIK projektid soovivad sooritada on suur energiasäästlikus ning vähenev CO<sub>2</sub> hulk aasta kohta. Eesmärgiks on hoida ning väärtustada ümbritsevat keskkonda ja muuta see läbi uudseima tehnoloogia veelgi „rohelisemaks“.



### 3.3.1 Säastuarvutuste analüüs

Säastuarvutuste tabel annab nii KOV-ile kui ka KIK-le, kes on üks projekti toetajatest, ülevaate sellest, kui palju läheb taristu energiasäästlikumaks. Tabelis on lähtutud hetkelisest turu elektri hinnast, milleks on 40 €/MWh kohta. [32] Lisaks elektri hinnale, mis on ajas kõikumine, on paika pandud ka keskmine valgustite töötundide arv aastas, milleks on 4 000 h ning CO<sub>2</sub> emissioonide kogus energiaühiku kohta, milleks on 1,09 t/MWh. Eelpool mainitud andmed on üldised, millest lähtutakse arvutuste tegemisel ja neist kõikumine on vaid elektrituruhind, mis kõrgema tariifi korral tekitab ka suuremat rahalist säästu. Lõputöö autor on teinud energiasäästu tabeli 3.3, mis käsitleb Kakumäe küla planeeritava uue ja olemasoleva taristu säästu. [20]

Tabel 3.3 Kakumäe küla energiasääst

<b>Üldandmed</b>	<b>Ühik</b>	
Elektri hind koos võrgutasu ja aktsiisiga	(€/MWh)	40
Valgustite töötundide arv aastas	(h)	4 000
CO <sub>2</sub> emissioon energiaühiku kohta*	(t/ MWh)	1,09
<b>Renoveeritav taristu</b>		
Valgustuspunktide arv praegu	(tk)	33
Praegu ühe valgustuspunkti võimsus (keskmine)**	(W)	210
Praegu keskmine energia kulu valgustuspunkti kohta aastas	(kWh/a)	840,0
Praegu ühe valgusti kulu aastas	(€/a)	34
Taristu energiakulu aastas	(MWh/a)	27,7
Seniste valgustite rahaline kulu aastas	(€/a)	1 109
Senise taristu süsihappegaasi eraldumise kogus	(t/a)	30
<b>Kavandatav taristu</b>		
Uute leedvalgustus punktide arv	(tk)	37
Uue taristu koguvõimsus	(W)	555
Ühe leedvalgustus punkti võimsus (keskmine)	(W)	15,0
Keskmine energia kulu ühe leedvalgustus punkti kohta aastas	(kWh/a)	60,0
Ühe valgusti kulu aastas	(€/a)	2,4
Uue taristu energiakulu aastas	(MWh/a)	2,2
Leedvalgustite rahaline kulu aastas	(€/a)	89
Uue taristu süsihappegaasi eraldumise kogus	(t/a)	2
<b>Kokkuhoid</b>		
Saavutatav energiasääst valgustuspunkti kohta aastas	(kWh/a)	772,7
Elektrienergia tarbimise vähenemine aastas	(MWh/a)	25,5
Rahalise kulu vähenemine aastas	(€/a)	1 020
Süsihappegaasi vähenemine aastas	(t/ a)	28

Aktsepteeritavate arvutuste sooritamiseks on KOV kontaktisik kohustatud andma ülevaate hetkelisest olukorrast. Projekteerija jaoks on oluline teada valgustuspunktide arvu ning taristu kogu võimsust. Enamikel juhtudel on tegemist vanade gaaslahenduslampidega, mille tõttu tuleb ühe valgustuspunkti keskmine võimsus kõrge, Kakumäe külas üle 200 W. Teiseks sisestab projekteerija uue taristu andmed, kus on samuti oluline teada valgustuspunktide arvu ja kogu taristu võimsust, mis käesolevas projektis on 555 W. Kõige olulisem osa, mida arvestab nii tellija kui ka KIK, on kokkuvõid, mis leitakse, kui lahutada olemasolevast olukorrast projekteeritava taristu andmed.

Arvutatud tulemustest, mis on välja toodud tabelis 3.3 on näha, et sääst, mis saavutatakse Kakumäe küla valgustustaristu projektiga, on väikese asula kohta väga mahukas. Külas oli eelnevalt valgustuspunkte 33 ning projekteeritavas, läbi valgustustiheduse saavutamise, 37 valguspunkti. Elektrienergia tarbimine vähenes aastas 25,5 MWh, mis teeb rahalises suhtes 1 020 €. Kui elektrituruhind, mis võib olla kaootiline, läheb kallimaks, siis saavutatav rahaline sääst on kordades suurem. Tähtsamaid aspekte, mida järgitakse, on soov vähendada süsihappegaasi hulka, mis käesolevas projektis saavutati. Eelnevalt toodetud kasvuhoonegaaside hulk, milleks oli 20 tonni aasta kohta, eraldab uus ja modernne võrk keskkonda vaid 2 tonni. Analüüsides CO<sub>2</sub> kokkuvõidu küla kohta, kus elab alla saja elaniku, siis on selgelt näha, et ainuüksi läbi valgustuse taristu moderniseerimise, saab keskkond suure mõjutuse. Kui võtta protsentuaalselt, siis paranes kasvuhoonegaaside hulk 90% võrra. Vaadates kaugemale on oluline, et lisaks tavapärasele säästuarvutusele lisaks tabelisse ka säästurežiimil oleva aja, kus valgusteid ei kasutata täisvõimsusel, läbi mille suudaks veel suuremat elektrienergia minimeerimist saavutada.

### **3.3.2 Euroopa Liidu tulevikuvaatega sobitumine**

Eesti on loonud Euroopa Liidu direktiividest lähtuvalt Energiamaajanduse arengukava aastani 2030, mille on heaks kiitnud ka Vabariigi Valitsus. See on dokument, kus on kirjeldatud Eesti tulevikuplaanid, kuhu peab jõudma aastaks 2030. Põhjalikult on pandud paika plaan erinevates energivaldkondades, kuidas peavad asjad selleks ajaks toimima. [33]

Üks olulisemaid punkte, mis puudutab otseselt ka tänavavalgustuse taristut, on kasvuhoonegaaside vähendamine, mis peaks aastaks 2030 vähenema vähemalt 70% ja ette planeerides aastaks 2050 heitekoguseid vähendama 80% ulatuses. Protsendid, mida käsitletakse, on saadud, kui aluseks on võetud aasta 1990, mille tõttu on vaadeldavad suurusel marginaalsed. Kui analüüsida seda nõuet valgustuse perspektiivis, siis minnakse, liigutakse selle ülesande täitmise poole, kuna amortiseerinud taristute rekonstrueerimisega saavutatakse arvestatav kasvuhoonegaaside kokkuvõid. Käesolevast korraldusest võib välja lugeda, et valgustusliinide rekonstrueerimine on

väga positiivse vaatega suund lähtudes Euroopa Liidu direktiividest. Viimast tõestab ka Eestis riiklik eelarve strateegia, kus kõige enam on investeeritud vahemikel 2018- 2021 energiasäästumeetmetele tööstuses ja tänavavalgustuses. Kokku paigutati raha vastavasse sektorisse 101,2 miljonit eurot. [33]

Teiseks olulisemaks punktiks on majanduse energiamahukuse vähendamine, mis on planeeritud 2030. aastaks vähendada 66% võrra, võrreldes aastaga 2012, mis on samuti seotud otseselt ka valgustuse rekonstrueerimisega. Vanema generatsiooni valgustid, mis on ümber projekteeritud uuteks leedvalgustiteks, annavad marginaalselt mõju energiamahukuse vähendamisel. Võttes vaatluse alla Kakumäe küla valgustuslahenduse, siis on näha, et olemasoleva trassi aastane energiakulu on hetkel 27,7 *MWh*, kuid uuel projekteeritud trassil on see viimasega võrreldes vaid 2,2 *MWh*. Tulemustest saab välja lugeda, et uus taristu on üle kümne korra energiasäästlikum. Lisades tänavavalgustusele juurde ka juhtimissüsteemi, siis jõutakse tulemuseni, kus võimsuste vahekord läheb veelgi suuremaks ning hoitakse üleliigset elektrienergia kasutamist öötundidel, kui seda enamus inimesi ei vaja. Tänu tehnika suurejoonelisele arengule. Käesolevat võrdlust võib lugeda üheks energiamahukuse vähendamise protsessiks, mida Euroopa Liidu direktiiv ette näeb ja kuna Eesti on Euroopa Liidu liikmesriik, siis selle suunas ka liigutakse. [33]

## KOKKUVÕTE

Käesolev lõputöö on teostatud Hepta Group Energy OÜ soovitusel. Lõputöö idee tuli autori entusiasmil, et teada saada põhjalikumalt valgustite projekteerimisest ja sinna juurde rakendatavatest juhtimissüsteemidest. Mõttega pöörduti Tallinna Tehnikaülikooli valgustusspetsialisti Toivo Varjas'e poole ning pakuti välja oma idee, kus koostööl pandi paik töö struktuur.

Lõputöö autoril tekkis professionaalne huvi, kuidas sobiksid erinevad, suuremates linnades kasutusel olevad juhtimissüsteemid küla keskkonda ja milline oleks saavutatav energiasääst. Süsteemide valikul võeti analüüsiks nii vanemaid kui ka uuemaid versioone, mida tänapäeval paigaldatakse. Mõtteliselt ja arvutuslikult asetati erinevad juhtimissüsteemid autori poolt projekteeritud Kakumäe küla valgustus taristusse ning analüüsiti sobivust keskkonda.

Lõputöö peamiseks eesmärgiks oli analüüsida erinevate juhtimissüsteemide sobivust väiksematesse alevikesse ja küladesse. Näidates sellega KOV-le, et läbi juhtimissüsteemide suudetakse tagada veelgi suurem energiasääst, kui ainult vanema generatsiooni valgustite vahetamisega uute leedvalgustite vastu. Lisaks analüüsiti tehnilisest aspektist uuema generatsiooni valgusteid võrreldes vanema generatsiooniga. Üks suuremaid teemasid, kuhu edasi areneda käesolevast lõputöö peamisest eesmärgist on pikaajalisem vaatlus ning võrdlus, kuidas säästetakse läbi juhtimissüsteemi, mis hämardab valgusteid võrreldes pidevalt täisvõimsusel töötavatega. Lisaks saaks teostada ka uurimue leedvalgustite eluea kohta, samade parameetrite alusel, mida eelnevalt kirjeldati.

Lõputöö esimeses peatükis analüüsitakse gaaslahendusvalgusteid ja tänapäeval laialdasemalt kasutusel olevaid leedvalgusteid. Samas peatükis antakse ülevaade KOV poolt väljastatud tehniliste tingimuste kohta, millest võeti vaatluse alla CE ja ENEC märgistused, valgustite värvsustemperatuur, IP ja IK kaitseklassid. Samas peatükis on välja toodud ka Kakumäe külasse projekteeritavad valgustid, milleks oli valitud Schreder TECEO S. Tutvustati ka mõõtmisi, mis teostatakse peale väljaehitamist, et analüüsida, kas projekteerija poolt määratud nõuded on ehituse käigus jäänud samaks või on seal toimunud muudatusi. Mõõtmised jäid autori poolt tegemata, seoses sellega, et projekt ei ole lõputöö esitamise hetkeks välja ehitatud.

Teises peatükis sooritas autor lõputöö põhilise uuringu, milleks olid erinevad juhtimissüsteemid. Vaatluse alla tulid faasjuhtimine, DALI, Comlight ja Cityntel süsteemid. Viimaseid analüüsis autor läbi kindlate lahenduste tehtud projektidest, lähtudes enda teostatud Kakumäe küla tehnilistest andmetest. Lõpuks leiti, et lisaks tellija poolt valitud juhtimisele, milleks oli kilbipõhine eelprogrammeeritud draiveriga süsteem, sobiks veel küla keskkonda kasutamiseks faasipõhine

juhtimine, mis saavutas suurema energiasäästu, kui hetkel planeeritav. Kokkuvõtvalt olid kõik süsteemid kokkuhoiu mõttes mõistlikud, kuid väljaehitamise ja süsteemi keerukuse suhtes ei sobinud kõik küla keskkonda. Hetkel keskenduvad KOV ainult vanemate taristute rekonstrueerimisele ja juhtimissüsteemid, mis tagaksid veelgi suurema elektrilise kokkuhoiu, jäävad pigem tahaplaanile. Autor soovitaks arengukavadesse kaasata spetsialiste, kes oskavad erinevatele nüanssidele tähelepanu pöörata ja täpsemalt dokumenti lahti kirjutada, millist juhtimissüsteemi KOV hakkab kasutama ühtse tervikuna. Lisaks on lõputöö autor on veendunud ka selles, mida aeg edasi, seda paremaks muutuvad juhtimissüsteemid, kus läbi erinevate andurite kombineerimise saavutatakse veelgi suurem energiasääst, kui seda on tänasel päeval ja mida on käesolevas töös analüüsitud. Kindlasti ei saa välistada olukorda, et käesolevas töös analüüsitud juhtimissüsteemid on tulevikus külade ja väiksemate asulate keskkonnas tavapärane nähtus.

Lõputöö viimases peatükis tegi autor, lähtudes Kakumäe küla projektist, materjalide spetsifikatsioonide ja töömahtude tabeli. Materjalide spetsifikatsioonid ja mahtude tabelid on olulised dokumendid just projekti järgmises faasis, milleks on ehitamine. Spetsifikatsioonide tabel annab ehitajatele ülevaate, milliste materjalidega peavad nad arvestama ja kui suured on kogused. Mahtude tabel annab ülevaate teostavate tööde hulgast ühikute kaupa. Lisaks teeb projekteerija viimasesse tabelisse oletatava eelarve, kuid ehitushanke käigus võivad etteantud numbrid muutuda. Arutluse võeti Euroopa Liidu poolt määratud direktiivid, mida Eesti Vabariik täidab energiamajanduse arengukavaga. Lähtudes viimasest on oluline, et projekteerijad tootsid aruandluses välja ka säästuarvutuste tabeli, mida KIK nõuab projektides. Analüüsi kokkuvõttes võib kinnitada, kui juba väikses külas saavutatakse 90% ulatuses kasvuhoonegaaside parendamine, siis läbi optimaalse juhtimissüsteemi läheks see kõrgemaks.

## SUMMARY

This dissertation has been performed on the recommendation of Hepta Group Energy OÜ. The idea of the dissertation came from the author's enthusiasm to learn more about the design of luminaires and the control systems applied to them. The idea was turned to Toivo Varjas, a lighting specialist at Tallinn University of Technology, and his idea was proposed, where the structure of the work was established in cooperation.

The author of the dissertation became professionally interested in how the different management systems used in larger cities would fit into the village environment and what energy savings could be achieved. When selecting the systems, both older and newer versions, which are installed today, were used for analysis. Thoughtfully and computationally, various control systems were placed in the lighting infrastructure of Kakumäe village designed by the author and the suitability for the environment was analysed.

The main goal of the dissertation was to analyse the suitability of different management systems for smaller towns and villages. By showing the local government that control systems can ensure even greater energy savings than just replacing older generation luminaires with new LED luminaires. In addition, from a technical point of view, the newer generation of luminaires was analysed compared to the older generation. One of the major topics for further development from the main goal of this dissertation is a longer-term observation and comparison of how savings are made through a control system that dims the luminaires compared to those operating continuously at full power. In addition, a study on the lifespan of LED luminaires could be performed based on the same parameters as previously described.

The first chapter of the dissertation analyses gas discharge luminaires and LED luminaires, which are more widely used today. The same chapter provides an overview of the technical conditions issued by the local government, which examined the CE and ENEC markings, the colour temperature of the luminaires, and the protection classes IP and IK. The same chapter also presents the luminaires to be designed in the village of Kakumäe, for which Schreder TECEO S was chosen. The measurements were not made by the author since the project has not been built at the time of submitting the dissertation.

In the second chapter, the author carried out a basic study of the dissertation, which were different management systems. Phase control, DALI, Comlight and Cityntel systems were examined. The latter were analysed by the author from projects made through specific solutions, based on the technical data of Kakumäe village. Finally, in addition to the control chosen by the customer, which was a shield-based system with a pre-programmed driver, it was found that phase-based control,

which achieved greater energy savings than currently planned, would be suitable for use in the village environment. All in all, all the systems were reasonable in terms of savings, but not all were suitable for the village environment in terms of construction and system complexity. At the moment, the local government focuses only on the reconstruction of older infrastructures, and management systems that would ensure even greater electrical savings tend to be relegated to the background. The author would recommend involving specialists in development plans who can pay attention to different nuances and write down the document in more detail, which management system the local government will use as a unified whole. In addition, the author of the dissertation is convinced that as time goes on, control systems will become better, where even greater energy savings will be achieved through the combination of different sensors than is the case today and which has been analysed in this work. It cannot be ruled out that the management systems analysed in this work will be a common phenomenon in the environment of villages and smaller settlements in the future.

In the last chapter of the dissertation, the author made a table of material specifications and workloads based on the project of Kakumäe village. Material specifications and volume tables are important documents in the next phase of the project, which is construction. The specification table gives builders an overview of what materials they need to consider and how large the quantities are. The volume table gives an overview of the number of works performed by units. In addition, the designer makes an estimated budget in the last table, but the given numbers may change during the construction contract. The directives set by the European Union, which the Republic of Estonia implements with the energy economy development plan, were discussed. Based on the latter, it is important that designers also present a table of savings calculations required by the KIK in projects. The summary of the analysis can confirm that if 90% of the greenhouse gas improvement is achieved in a small village, it would be higher through an optimal management system.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] E. Risthein, Valgustehnika sõnastik, Tallinn: Tallinna kirjastus Valgus, 1982.
- [2] T. Tamm, Valgustustehnika I, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2009.
- [3] Ü. Kaevats ja T. Varrak, EE 5, Eesti Entsüklopeedia, Tallinn: Tallinna kirjastus Valgus, 1990.
- [4] „Valgus,“ E&T, [Võrgumaterjal]. Available: <https://valgus.ee/mis-on-led/>. [Kasutatud 15 aprill 2020].
- [5] „A Brief History of LED Lighting,“ 3 aprill 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.shineretrofits.com/knowledge-base/lighting-learning-center/a-brief-history-of-led-lighting.html>. [Kasutatud 20 aprill 2020].
- [6] T. Tamm, „Leetlampide valguslahendustest,“ Tiiu Tamm Inseneribüroo OÜ, 2011. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tiutammib.ee/materjalid/Elektriala3.2011.pdf>. [Kasutatud 20 aprill 2020].
- [7] H. Tang, D. Li, M. Pan, T. Yang, C. Yuan ja X. Fan, „Thermal Analysis and optimization design of LED streetlight module,“ november 2013. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7177346>. [Kasutatud 20 mai 2020].
- [8] „Venture Lighting,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://hid.venturelighting.com/Technical\\_Center.html](http://hid.venturelighting.com/Technical_Center.html). [Kasutatud 16 aprill 2020].
- [9] M. Davidovic, L. Djokic, A. Cabarkapa, A. Djuretic, V. Skerovic ja M. Kostic, „Drivers' Preference for the Color of LED Street Lighting,“ 04 juuni 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8730320>. [Kasutatud 19 mai 2020].
- [10] „Tänavavalgustuse taristu renoveerimise toetamise tingimused,“ 09 august 2016. [Võrgumaterjal]. Available: [https://kik.ee/sites/default/files/st\\_tanavavalgustite\\_tehnilised\\_tingimused\\_eelnou\\_20.06.2017.pdf](https://kik.ee/sites/default/files/st_tanavavalgustite_tehnilised_tingimused_eelnou_20.06.2017.pdf). [Kasutatud 16 aprill 2020].
- [11] „CE-märgis,“ 15 aprill 2020. [Võrgumaterjal]. Available: [https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index\\_et.htm](https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_et.htm). [Kasutatud 16 aprill 2020].



- [12] „Many electrical products in Europe are not safe,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://etics.org/page.php?p=2>. [Kasutatud 16 aprill 2020].
- [13] CWA 17316:2018 Smart CE marking for construction products, 2018.
- [14] EVS-EN 60529:2001/A2:2014 Ümbristega tagatavad kaitseastmed (IP-kood), 2014.
- [15] EVS-EN 62262:2008 Degrees of protection provided by enclosures for electrical equipment against external mechanical impacts (IK code), 2008.
- [16] „Valgustus 101: värvustemperatuur - milline on Kelvini skaala?,“ Larsoni elektroonika, 12 detsember 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <https://et.larsonelectronics.com/blog/2017/12/12/led-lighting/lighting-101-color-temperature-what-is-the-kelvin-scale>. [Kasutatud 01 mai 2020].
- [17] CEN/TR 13201-1:2014/AC:2016 Teevalgustus. Osa 1: Valgustusklasside valiku juhised, 2016.
- [18] „Schreder street lightning, TECEO S,“ Schreder, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.schreder.com/en/products/teceo-led-street-lighting>. [Kasutatud 16 aprill 2020].
- [19] Rahandusministeerium, „Eesti kohalike omavalitsuste loetelu,“ 01 jaanuar 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.rahandusministeerium.ee/et/eesmargidtegevused/kohalikud-omavalitsused-ja-haldusreform/eesti-kohalike-omavalitsuste-loetelu>. [Kasutatud 19 mai 2020].
- [20] A. M. Al-Smadi, S. T. Salah, A. A. Al-Moomani ja M. S. Al-Bataneh, „Street Lighting Energy-Saving System,“ märts 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8893160>. [Kasutatud 02 mai 2020].
- [21] T. Tamm, „Esvika pakutavad juhtimissüsteemid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tiutammib.ee/valisvalgustuse-juhtimisvoimalused>. [Kasutatud 18 aprill 2020].
- [22] „ARLC-PLUS 4g16+2,5Cu jõukaabel,“ Esvika, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.esvika.ee/toode/arlc-4g1625cu-joukaabel/>. [Kasutatud 18 aprill 2020].
- [23] F.Domingo-Perez, A. Gil-de-Castro, J. Flores-Arias, F. Bellido-Outeirino ja a. Moreno-Munoz, „Lighting control system based on DALI and wireless sensor networks,“ jaanuar 2012.

- [Võrgumaterjal]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6175666>. [Kasutatud 15 mai 2020].
- [24] T. Tamm, „Valgustehnika täiendkoolitus,“ detsember 2006. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/IN660/Valgustustehnika%20taien d6pe%20EL.pdf>. [Kasutatud 15 aprill 2020].
- [25] V. Vallavalitsus, „Viimsi valla tänavavalgustuse arengukava 2019- 2029,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.viimsivald.ee/sites/default/files/inline-files/Viimsi%20valla%20t%C3%A4navavalgustuse%20arengukava%202019-2029.pdf> . [Kasutatud 05 mai 2020].
- [26] T. Tamm, „Cityntel,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tiiutammib.ee/valisvalgustuse-juhtimisvoimalused>. [Kasutatud 18 aprill 2020].
- [27] „Cityntel Technology,“ CITYNTEL connected intelligence, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cityntel.com/technology/>. [Kasutatud 18 aprill 2020].
- [28] „Energiasäästlik tänavavalgustus,“ Tartu Linn, jaanuar 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://tartu.ee/et/t2navavalgustus>. [Kasutatud 06 mai 2020].
- [29] „Motion sensing Street Lightning,“ Comlight, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.comlight.no/business-landing/solutions/lightondemand/>. [Kasutatud 16 aprill 2020].
- [30] DIOTECH, „Tänavavalgustuse liikumispõhine juhtimine COMLIGHT- tehnoloogia näitel,“ märts 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://diotech.ee/db/upload/news/diotech-ttu-ja-kommunaalameti-pilootprojekt2.pdf>. [Kasutatud 04 mai 2020].
- [31] Maanteeamet, „Teetööde tehniline kirjeldus,“ 1 jaanuar 2016. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.mnt.ee/sites/default/files/content-editors/Failid/Juhendid/ehitus/teetoode\\_tehniline\\_kirjeldus\\_19\\_01\\_2016kodulehele\\_0.pdf](https://www.mnt.ee/sites/default/files/content-editors/Failid/Juhendid/ehitus/teetoode_tehniline_kirjeldus_19_01_2016kodulehele_0.pdf) . [Kasutatud 17 aprill 2020].
- [32] Elering, „NordPool järgmise päeva turu hind,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://dashboard.elering.ee/nps/price>. [Kasutatud 21 aprill 2020].

- [33] „Energiamajanduse arengukava aastani 2030,“ 20 oktoober 2017. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak\\_2030.pdf](https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030.pdf). [Kasutatud 21 aprill 2020].
- [34] „Structure of an LED,“ Schmitz-wila, [Võrgumaterjal]. Available: <https://schmitz-wila.com/en/knowledge/led-basics/structure-and-function/>. [Kasutatud 20 aprill 2020].

# LISAD

## Lisa 1 Kakumäe küla sõidutee klassi määramine

Tabel 1.1 Sõidutee klassi määramine Kakumäe külas [17]

Parameeter	Variandid	Kirjeldus		Kaalu- väärtsus	Kakumäe küla sõidutee
Projektkiirus või kiiruse piirväärtus	Väga suur	$v \geq 100$ km/h		2	
	Suur	$70 < v < 100$ km/h		1	
	Mõõdukas	$40 < v \leq 70$ km/h		-1	-1
	Aeglane	$v \leq 40$ km/h		-2	
Liiklusvoog	Suur			1	
	Mõõdukas			0	
	Väike			-1	-1
Liikluskoosseis	Sega liiklus mittemooto r- liikluse kõrge osakaaluga			2	
	Sega liiklus			1	1
	Üksnes mootorliiklus			0	
Sõiduteede eraldamine	On			1	
	Ei ole			0	0
Teesõlmede tihedus		Ristmikke kilomeetri kohta	Eritasandiliste sõlmede vahemaa, km		
	Kõrge	Üle 3	Alla 3	1	
	Mõõdukas	Kuni 3	Alates 3	0	0
Pargitud sõidukid	On			1	
	Ei ole			0	0
Ümbruse valgustus	Tugev	Vaateaknad, reklaampaigaldised, spordiväljakud, jaamapiirkonnad, laopiirkonnad		1	
	Mõõdukas	Normaalolukord		0	
	Nõrk			-1	-1
Liikluskeerukus	Väga keerukas			2	
	Keerukas			1	
	Lihtne			0	0
					<b>M6</b>

## **GRAAFILINE OSA**

**Graafiline osa 1 Kakumäe küla asendiplaan**

**Graafiline osa 2 Kakumäe küla kilbiskeem**