



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

VÄLISVALGUSTUSTARISTU HOOLDUSE TULEMUSED JA TARISTU UUENDAMISE VAJALIKKUS

THE RESULTS OF MAINTENANCE AND NECESSITY OF INFRASTRUCTURAL
UPGRADES OF THE PUBLIC LIGHTING NETWORK

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Erki Varandi

Üliõpilaskood: 176654

Juhendaja: Toivo Varjas, doktorant-nooremteadur

Tallinn, 2019

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” mai 2019

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” mai 2019

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” mai 2019

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Erki Varandi

Lõputöö liik: Magistritöö

Töö pealkiri: Välisvalgustustaristu hoolduse tulemused ja taristu uuendamise vajalikkus

Kuupäev: 24.05.2019

110 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Toivo Varjas

Töö konsultant (konsultandid):

Sisu kirjeldus:

Käesoleva lõputöö eesmärk oli uurida näidispiirkonna näitel, kas olemasolevat taristut oleks mõttekas hooldada rikkepõhiselt, hoolduskava järgi või uuendada olemasolevat taristut ning luua peaaegu hooldusvaba võrk. Lisaks oli eesmärgiks analüüsida kõrgrõhu-naatrium valgustitega võrgu hooldamise tulemusi ning selle mõju valgustuse parendamisel. Töö tulemusena selgus tänavavalgustite valiku analüüs lähtuvalt kasutuskogemusest ning tasuvusarvutustest.

Tasuvusarvutustest selgus, et kõrgrõhu-naatrium valgustitega taristut on oluliselt kulukam hooldada, sest pidevalt on vaja vahetada valgusallikaid või muid valgusti komponente. Arvutuste näitel on naatriumvalgustitega võrgu puhul hoolduskava järgi taristu töös hoidmine soodsam kui mistahes teine variant.

Töös käsitletud näidispiirkonnas välisvalgustuse tagamiseks kõige madalama maksumusega variant on vanad kõrgrõhu-naatrium valgustid leedvalgustite vastu välja vahetada. Analüüsi tulemusel selgus, et leedvalgustitega võrk näidispiirkonnas on peaaegu hooldusvaba ja rikete eemaldamise kulu 20 aasta jooksul on võrreldes vanade valgustitega oluliselt madalam. Tasuvusarvutustest tuli välja, et valgustite vahetamisel leedvalgustite vastu on hoolduse ning elektrienergia pealt 20 aasta jooksul võimalik säästa ligi 400 000 €.

Märksõnad: kõrgrõhu-naatrium valgusti, leedvalgusti, välisvalgustustaristu hooldused, tasuvusarvutused.

ABSTRACT

<i>Author:</i> Erki Varandi	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> The Results of Maintenance and Necessity of Infrastructural Upgrades of The Public Lighting Network	
<i>Date:</i> 24.05.2019	<i>110 pages</i>
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Toivo Varjas	
<i>Consultant(s):</i>	
<i>Abstract:</i> <p>The purpose of this thesis was to research by an example area, if the existing infrastructure should be serviced in case of failures, by a maintaining schedule, or renewed to create a mainly service free network. An additional purpose was to analyse the results of high-pressure sodium luminaire network maintenance and its effect in improving lighting. As a result of this thesis the analysis of street lighting selection was clarified based on experience and profitability calculations.</p> <p>Profitability calculation results showed that high-pressure sodium luminaires are considerably more expensive to maintain because the lamps and other components constantly need to be changed. By the profitability calculations, it can be seen that sodium luminaire network should be maintained by the current maintenance schedule. The changing of lamps should be continued in the future, but full maintenance volume should be decreased to save funds.</p> <p>The lowest cost option to insure the best lighting in the example area is to exchange the old high-pressure sodium luminaires with new LED technology. The analysis results show that the network with LED luminaires in the example area is mostly maintenance free and the fixing of failures within 20 years will be more cost effective compared to old luminaires. The calculations showed that when switching to led luminaires the city can save around 400 000 € in 20 years from maintenance and electricity fees in the example area alone.</p>	
<i>Keywords:</i> High-pressure sodium luminaire, LED luminaire, lighting network maintenance, profitability calculations.	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	Välisvalgustustaristu hoolduse tulemused ja taristu uuendamise vajalikkus
Lõputöö teema inglise keeles:	The Results of Maintenance and Necessity of Infrastructural Upgrades of The Public Lighting Network
Üliõpilane:	Erki Varandi, 176654 AAVM
Eriala:	Elektroenergeetika
Lõputöö liik:	Magistritöö
Lõputöö juhendaja:	Toivo Varjas
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	kehtivusaja annab juhendaja
Lõputöö esitamise tähtaeg:	24.05.2019

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Tallinnas on ligi 80% kõikidest valgustitest just kõrgrõhu-naatrium valgustid ning seega on nende uurimine väga aktuaalne. Välisvalgustusvõrku uuendatakse ja hooldatakse pidevalt, kuid ei ole uuritud selle otseseid tulemusi. Näiteks hoolduse käigus vahetatakse kõrgrõhu-naatrium valgustite valgusallikaid, kuid ei ole analüüsitud selle kasumlikkust. Puudub ülevaade, kas hetkel on tagatud piisav valgustus tänavatel, mille valgustusvõrk on ehitatud ca 40 aastat tagasi ning kas see vastab ka Eestis kehtivatele standarditele. Sarnane teema oli välja pakutud ka Rae stipendiumi uuritavate teemade all ning käisolev lõputöö on stipendiumi kandidaat.

Uurimaks valgusallika vahetamise tulemusi valgusti parameetritele teostatakse Tallinna Tehnikaülikooli valgustehnika laboris mõõdistused. Eesmärgiks oli uurida valgustite optiliste ja elektrotehniliste parameetrite muutumist valgusallika vahetamisel. Valgustuslaboris mõõdistatakse ära nii kõrgrõhu-naatrium valgusti kui ka leedvalgusti ning saadud tulemusi võrreldakse omavahel ja ka tehase poolt väljastatud andmetega. Uurimustöö käigus teostatakse

valgustuse mõõdistamine ka tänaval kokku neljal lõigul Tallinnas, millest kahe puhul on kasutusel kaasaegne leedtehnoloogia ning kahe lõigu puhul on tegemist kõrgrõhu-naatrium valgustitega.

Antud teema uurimise käigus käsitletakse ka näidispiirkonda, mille põhjal tehakse tasuvusarvutusi. Näidispiirkonna näitel selgitatakse välja, kas olemasolevat taristut oleks mõttekas hooldada rikkepõhiselt, hoolduskava järgi või uuendada olemasolevat taristut ning luua peaaegu hooldusvaba võrk. Uurimuse käigus selgub kas valgusallika vahetamine annab tänaval valgustatusele ja võrgu töökindlusele lisandväärtust. Näidispiirkonna näitel peaks selguma tulemused võrgu haldamise ja uuendamise otsuste kohta.

Kõrgrõhu-naatrium valgustitega valgustatud tänavalõike ei ole Eestis palju mõõdetud ning valgusallika vahetamise tulemusi ei ole samuti Eestis varem uuritud. Uurimustöö tulemused saaks avaldada ka Eesti kohalikele omavalitsustele ning magistri töö tulemusena saaks hooldusi ja võrgu rekonstrueerimistöid paremini planeerida. Antud teema käsitlemine toob kohalikule omavalitsusele reaalse ülevaate valgustusvõrgu hoolduste tulemustest ning võrdleb tulemusi kaasaegsete valguslahendustega võimaldades potentsiaalselt vähendada kulusid elektrienergia ning hoolduste arvelt.

2. Töö eesmärk

Käesoleva lõputöö eesmärk on uurida näidispiirkonna näitel, kas olemasolevat taristut oleks mõttekas hooldada rikkepõhiselt, hoolduskava järgi või uuendada olemasolevat taristut ning luua peaaegu hooldusvaba võrk. Lisaks oli eesmärgiks analüüsida kõrgrõhu-naatrium valgustitega võrgu hooldamise tulemusi ning selle mõju valgustuse parendamisel. Töö tulemusena selgub tänavavalgustite valiku analüüs lähtuvalt kasutuskogemusest ning tasuvusarvutustest.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Kas kõrgrõhu-naatrium valgusti valgusallika vahetamisel valgustus tänaval pareneb?

Kas valitud lõigul on kõrgrõhu-naatrium valgustite puhul tagatud piisav valgustus?

Kas valgustite tootelehel välja kuvatud andmed vastavad tegelikkusele?

Kuidas hinnata käesoleval ajal välja kujunenud hooldustsüklite aega ja eksploatatsiooni kulusid?

Kuidas valgustustaristu hooldus avaldab mõju selle töökindlusele?

4. Lähteandmed

Välisvalgustustaristu hooldamise andmed, statistika ja rikete info on võimalik saada Tallinnas välisvalgustuse haldajalt Elektrilevilt. Teoreetilise baasi on võimalik saada valgustitega ja välisvalgustusega seotud raamatutest, standarditest ja internetist. Järeldustes ning tasuvusarvutustes kasutatav info on vaja koguda mõõtmistulemustest.

5. Uurimismeetodid

Esmalt on vaja läbi töötada teoreetiline baas valgustite, mõõteseadmete- ja meetoodika kohta, analüüsida olemasolevat taristut ning seejärel on plaanitud viia läbi mõõdistused nii tänaval kui ka laboris. Mõõtetulemused protokollitakse ning tulemusi analüüsitakse, et uurimuse tulemused lugejatele arusaadavaks teha.

6. Graafiline osa

Mõõtetulemuste kujutamine graafiliselt annab lugejale parema ülevaate. Valgustuse mõõtmistulemused koondatakse tabelitesse ning kujutatakse graafiliselt. Kõiki tulemusi võrreldakse omavahel graafiliselt või tabelitena, sest nii on info paremini talletatav.

7. Töö struktuur

1. Teooria

- 1.1. Kõrgrõhu-naatrium valgustid
- 1.2. Leedvalgustid
- 1.3. Hooldused Tallinna välisvalgustusvõrgus

2. Mõõtmistööd

- 2.1. Üldandmed ja normdokumendid
- 2.2. Mõõtemetoodika
- 2.3. Mõõdistatavad objektid
 - 2.3.1. Naatriumvalgustitega lõik enne hooldust
 - 2.3.2. Naatriumvalgustitega lõik peale hooldust
 - 2.3.3. Leedvalgustitega lõik

2.5. Mõõdistatavad valgustid

2.6. Mõõtmistulemuste analüüs

2.6.1. Naatriumvalgustitega lõik

2.6.2. Leedvalgustitega lõik

2.6.3. Valgustite mõõtmistulemused

2.7. Mõõtmistulemuste kokkuvõte

3. Näidispiirkonna tasuvusarvutused

3.1. Olemasoleva võrgu hoolduse mahud ning maksumused

3.2. Taristu uuendamise maksumus

3.3. Järeldused, valgusti valiku analüüs lähtuvalt kasutuskogemusest

Lõputöö kokkuvõte

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Teooria õpikutest ja internetist, standardid, valgustite tootelehed, andmed projektidest, Elektrilevist, Tallinna välisvalgustuse hooldusleping

9. Lõputöö konsultandid

Ei ole vajadust.

10. Töö etapid ja ajakava

Andmete kogumine ja läbitöötamine- 24.02.2019

Mõõdistused laboris- 17.03.2019

Teoreetilise osa kirjutamine- 31.03.2019

Valgusmõõdistused tänaval- 07.04.2019

Mõõtetulemuste vormistamine ja analüüs- 21.04.2019

Järelduste kirjutamine, kokkuvõtte koostamine- 28.04.2019

Töö esimene versioon valmis- 05.05.2019

Töö lõplik versioon valmis- 19.05.2019

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT	4
EESSÕNA.....	11
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	12
SISSEJUHATUS	14
1. TEOORIA	15
1.1 Üldiselt välisvalgustusest	15
1.2 Ülevaade Tallinna välisvalgustusest.....	16
1.3 Tallinna välisvalgustuse üldandmed	22
1.4 Hooldused Tallinna välisvalgustusvõrgus	27
1.5 Kõrgrõhu-naatriumlamp	30
1.6 Leedvalgustid	35
2. MÕÕTMISTÖÖD	38
2.1 Valgustehnika labori mõõteseadmed ja mõõtemetoodika	38
2.1.1 Kasutatavad mõõteseadmed	38
2.1.2 Töökeskkond ja ohutus	39
2.1.3 Mõõtemetoodika	40
2.1.4 Mõõtemääramatuse hindamine	43
2.2 Valgustite mõõdistamine TalTechi valgustehnika laboris.....	44
2.2.1 Kõrgrõhu-naatrium valgusti SBP Myra 12/V	44
2.2.2 Leedvalgusti Philips Digistreet BGP760.....	56
2.3 Valgustuse mõõtmine tänaval	60
2.3.1 Naatriumvalgustitega lõigud Astri tänaval enne täishooldust.....	61
2.3.2 Naatriumvalgustitega lõigud Astri tänaval peale täishooldust	65
2.3.3 Leedvalgustitega lõigud Veskimetsa tänaval	68

2.4 Mõõtmistulemuste kokkuvõte.....	71
2.4.1 Mõõtmistulemused.....	71
2.5 Mõõtmistulemuste analüüs ja järeldused	75
3. NÄIDISPIIRKONNA TASUVUSARVUTUSED	78
3.1 Valgustite vahetamise pilootprojekt näidispiirkonnas	78
3.2 Energiatõhususnäitajate arvutamine.....	87
3.2.1 Energiatõhususnäitajad enne valgustite vahetamist	87
3.2.2 Energiatõhususnäitajad peale valgustite vahetamist	89
3.2.3 Energiatõhususnäitajate analüüs	89
3.3 Tasuvusarvutuste analüüs.....	91
3.3.1 Näidispiirkonna ülalpidamiskulud	92
3.3.2 Kõrgrõhu-naatrium valgustitega võrgu ülalpidamiskulud.....	93
3.3.3 Kõrgrõhu-naatrium valgustitega võrgu ülalpidamiskulud hoolduskava järgi	94
3.3.4 Uuendatud võrgu ülalpidamiskulud	96
3.4 Näidispiirkonna tasuvusarvutuste kokkuvõte.....	97
KOKKUVÕTE	100
SUMMARY	103
KASUTATUD KIRJANDUS	105
LISAD	107
Lisa 1. Valgusti SBP MYRA 12/V tooteleht	107
Lisa 2. Valgusti Philips Digistreet BGP760 tooteleht.....	108

EESSÕNA

Käesoleva lõputöö teema valik sai alguse seoses autori tööga Elektrilevi OÜ-s välisvalgustuse varahaldurina, mis on lõputöös käsitletavate teemadega väga tihedalt seotud. Antud valdkonnas valiti koostöös käesoleva töö juhendaja Toivo Varjasega välja uuritavad teemad, objektid ning leiti koos töö eesmärk ning lahendamisele kuuluvad küsimused.

Avaldan tänu juhendaja Toivo Varjasele, kellega koostöös käesolev töö valmis.

Käesolev lõputöö on pühendatud Ron Varandile, kes sündis 24.02.2019.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

Tähiste ja lühendite selgitamisel on kasutatud Endel Ristheina „Valgustehnika sõnaraamat“ [14], Endel Altpere „Valgustehnika käsiraamat“ [13] ja Tiiu Tamme „Valgustehnika I“ [1] ning „Praktiline valgustehnika“ [8] raamatuid.

Tähised

I [cd]	valgustustugevus
L [cd/m ²]	heledus
L _k [cd/m ²]	keskmine heledus
L ₀ [cd/m ²]	testitava objekti heledus
U _l	sõidutee pinna heleduse pikiühtlus
U ₀	teepinna heleduse üldühtlus
T [K]	värvi temperatuur
h [m]	valgustite kõrgus teepinnast
l [m]	valgustite vaheline kaugus
cos φ	võimsustegur
f (Hz)	sagedus
P (W)	tarbitud võimsus
r (m)	raadius
Φ (lm)	valgusvoog
η (lm/W)	valgusviljakus
E (lx)	valgustustihedus
k	korrekturegur

Lühendid

CCT – (ingl k. *correlated color temperature, CCT*) lambi värvustemperatuur

CRI – (ingl k. *general color rendering index, CRI*) leedlambi värviesituse eriindeks, mis näitab kui hästi esitab lamp testvärvinäidise värve

CLO – (ingl k. *constant light output, CLO*) tagab pooljuht diodi ühtlase valgusvoo ka selle vananedes

Mõisted

Valgus (*light*) on kõigi nägemisorganite omaste ja tema vahendusel tekitatavate aistingute ja tajude ühistunne. Nägemisorganite erutust esilekutsuv kiirgus, mis kutsub esile nägemisaistingu ning mille lainepikkusvahemiku alamrajaks loetakse harilikult 380 ... 400 nm ja ülemrajaks 760 ... 780 nm.

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

Valgusdiod (*LED*) on p-n-siiret sisaldav tahkisseadis, mis elektrivooluga ergastamisel emiteerib optilist kiirgust. Lühend *LED* tuleneb ingliskeelsest terminist "*light emitting diode*".

Valgustustugevus (*luminous intensity*) on valgusallika poolt antud suunda sisaldavasse lõpmata väiksesse ruuminurka kiiratava valgusvoo ja ruuminurga jagatis. Valgustustugevuse ühikuks on kandela (cd).

Heledus (*luminance*) iseloomustab valgustugevuse näivat tihedust valgust andval pinnal (iseloomustab valgustatud ala heledust). Heleduse ühikuks on kandela ruutmeetri kohta (cd/m²).

Valgustustihedus (*illuminance*) on pinnaelemendile langeva valgusvoo Φ ja selle elemendi pindala S jagatis. Valgustustiheduse ühikuks on luks (lx).

Valgusvoog (*luminous flux*) on suurus, mis iseloomustab kiirgusvoo toimet selektiivsele spektraalse valgusefektiivsuse standardi funktsiooniga. Valgusvoo ühikuks on lumen (lm).

Valgusviljakus (*luminous efficacy*) on valgusallika valgusvoo ja selle tarbitava võimsuse suhet. $\eta = \Phi/P$, kus Φ on valgusvoog ja P on tarbitud võimsus. Valgusviljakuse ühikuks on lumenit vati kohta (lm/W). Kui valgusallika võimsus on võrdne, siis saab suurema valgusviljakusega lambist rohkem valgust kui väiksema valgusviljakusega lambist.

Värvi temperatuur (*color correlated temperature*) on mustkiirguri temperatuur, mille puhul selle kiirguse väärts langeb kokku vaadeldava kiirguse väärtsusega. Värvusustemperatuuri abil saab võrrelda valgusallika värvi mustkiirguri värviga, kõrgematel temperatuuridel on kiirgus sinakas, temperatuuri langedes muutub kiirgus valgeks, kollakaks ning seejärel punakaks. Värvitemperatuuri ühikuks on Kelvin (K).

Valgusmõõtmine- kiirguse valgustoimet iseloomustavate suuruste mõõtmine

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö eesmärk on analüüsida kõrgrõhu-naatrium valgustitega võrgu hooldamise tulemusi. Lisaks uuritakse, kas olemasoleva valgustuse taristut oleks mõttekas fikseeritud hoolduskavade järgi hooldada või tasuks valgustid kaasaegsete leedvalgustite vastu välja vahetada. Tallinnas on ligi 80% kõikidest valgustitest just kõrgrõhu-naatrium valgustid ning seega on nende uurimine väga aktuaalne. Töö tulemusena selgitatakse välja tänavavalgustite valiku analüüs lähtuvalt kasutuskogemusest ning tasuvusarvutustest. Antud valdkonna uurimise ja analüüsimise tõttu on lõputöö teema valitud ka Raestipendiumi saajate hulka. Käesolev töö on jaotatud kolmeks osaks, milleks on teooria, mõõtmistööd ning näidispiirkonna tasuvusarvutused.

Esimeses peatükis antakse ülevaade Tallinna tänavavalgustusvõrgust, selle ajaloost, hetkeseisust, arengusuundadest ning statistikast. Samuti käsitletakse hoolduslepingu raames tehtavate hooldustööde sisu ning antakse ülevaade valgustusvõrgu hooldustöödest. Peatükis kirjeldatakse täpsemalt ka kõrgrõhu-naatrium valgusti ülesehitust, komponente ja tööpõhimõtet ning valgusti hooldamist. Teoreetilises osas selgitatakse ka erinevate lampide tüüpe ja nende omadusi, tutvustatakse leedvalgusteid ning nende eeliseid kõrgrõhu-naatrium valgustite ees.

Teises peatükis antakse ülevaade valgustite mõõdistamisest Tallinna Tehnikaülikooli valgustehnika laboris ning heleduse mõõdistamist tänavatel. Peatükis tutvustatakse kasutatavaid mõõteseadmeid, mõõtemetoodikat ning mõõtemääramatuse hindamist. Laboris mõõdistatakse näidispiirkonna põhjal valitud uusi ja kasutatud kõrgrõhu-naatrium- ning leedvalgusteid. Samuti kirjeldatakse valguse mõõdistamist valitud tänava lõikudel enne ning peale hooldustöid, luues parema ettekujutuse hooldustööde vajalikkusest tänavavalgustusvõrgus. Lisaks vana taristuga lõigule mõõdistatakse võrdluseks ka leedvalgustitega lõiku. Seejärel analüüsitakse mõõtmistulemusi ning võrreldakse neid omavahel kehtiva standardiga.

Kolmandas peatükis tuuakse ülevaade näidispiirkonnas valgustite vahetamisega seotud tasuvusarvutustest. Peatükis analüüsitakse vanade naatriumlampidega võrgu ülalpidamiskulusid, sh hoolduse, rikete likvideerimise ning elektrienergiaga seotud kulusid. Esmalt kirjeldatakse 2018 sügisel toimunud valgustite vahetamise projekti, analüüsitakse piirkonna peamisi rikkeid ja taristu olukorda. Seejärel leitakse piirkonnale energiatõhususnäitajad nii enne kui ka peale valgustite vahetamist. Peale seda antakse ülevaade piirkonnale optimaalse valgustuse tagamise võimalusetest ning leitakse taristu töös hoidmise kulud erinevate hoolduse tüüpide korral. Antud peatükis peaks selguma, et millise valgusti valiku ning hoolduse puhul on valgustuse tagamine kõige tõhusam. Tasuvusarvutuste järel antakse võrgu haldajale soovitusel hoolduskavade planeerimiseks ning taristu uuendamise investeeringute planeerimiseks.

1. TEOORIA

1.1 Üldiselt välisvalgustusest

Valguse ja valgustuse mõju inimese tervisele kiputakse tihtipeale liiga vähe väärtustama, kuid viimasel ajal on palju uuritud valgustuse mõju inimese tervisele, tujudele, emotsioonidele jne. Valgus on inimesele sama oluline, kui õhk, toit ja vesi. Inimene vajab igapäevaseks eluks piisavas koguses valgust, sest see parandab tema töövõimet, nägemisteravust, tugevdab immuunsust ja parandab enesetunnet. Valgustuse saab suures joonis jagada kaheks: loomulik- ehk päikesevalgus ning tehislik valgus. [1]

Valgustehnika on teadus optilise kiirguse saamisest ja kasutamisest. Valgustustehnika käsitleb valguse kasutamise valgustuseks. Valgusti on seade, mis jaotab, filtreerib või muundab ühe või mitme lambi valgust. Tehislikku- ehk kunstvalgustus on juba aastasadu kasutatud linnade kujundamiseks ja öise linnaruumi kontrolliks. Tänapäeval on valgustus kujunenud peamiseks linnades elamise eelduseks ning tänavavalgustust peetakse üha enam enesestmõistetavaks linnataristu osaks. Tänavavalgustus kasutatakse pimedal aja piisava valgustuse tagamiseks liiklejatele sõidu- ning kergliiklusteedel. [1]

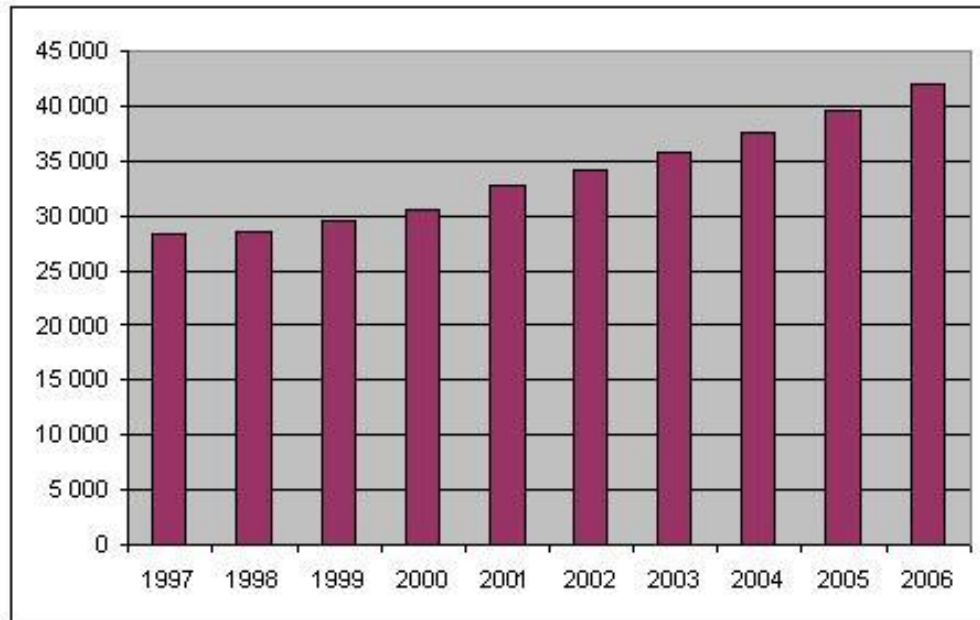
Tallinn on 2002. aastal asutatud Rahvusvahelise Linnavalguse Liidu (LUCI) liige ning selle eesmärk on luua ühtne valgustusstrateegia kõigile linna elanikele. LUCI ambitsiooniks on oma rohkem kui 70 liikmeslinna abil kujundada, suunata ja planeerida linna välisvalgustuse arenemist vastavalt kinnitatud arengukavale. Arengukavas väljatoodud suunad on näiteks valgustatud ruumi täielik ligipääs, turvaline ja mugav elukeskkond, valgusreostuse vähendamine, valgustamine vastavalt elanike soovile, valgustipõhine juhtimissüsteem, turismi elavdamine valgustatud linnaobjektide näol, targa linna lahendused ka välisvalgustusvõrgus ning kasutada valgustusvõrku ära ka muuks otstarbeks kui valgustuse tagamine. [7]

Ajalooliselt on välja kujunenud, et tänavavalgustus aitab toetada avalikku korda ning uuringute kohaselt on välisvalgustuse paigaldamisest otseselt ka avaliku korra tagamiseks kasu olnud, sest kuritegevus on peale valgustuse paigaldamist vähenenud. Kuritegevuse statistika kohaselt aitab nõuetekohane valgustus ära hoida nii vandalismi kui ka kuritegevust. [2] Tänapäeval on lisaks valgustusele hakatud kuritegevuse ära hoidmiseks paigaldama ka videokaameraid, mida paigaldab, haldab ja jälgib kas Politsei või kohalik omavalitsus. Tallinna tänavavalgustusvõrgus on juba üle saja videokaamera, mida igapäevaselt jälgitakse ning selle tulemusena on jälgitavatel aladel kuritegevus ja vandalism vähenenud. Lisaks on videokaamerate poolt jälitav ka järelevaadatav, mis omakorda aitab juba sooritatud kuritegudele lahendusi leida ning süüdlasi tabada. [3]

1.2 Ülevaade Tallinna välisvalgustusest

Tallinnas paigaldati esimesed kaks elektrilist välisvalgustit Balti jaama ette juba 1883. aastal. [4] Juba 1915. aastaks oli Tallinna vanalinna ja selle ümbrusesse paigaldatud pea 200 valgustit, 1940. aastaks aga juba ca 1500 elektrilist valgustit. Kuna tegu oli esialgse süsteemiga, pidi valgusteid igal hommikul ja öhtul lülitama, sest väljaehitatud elektrisüsteemil puudus juhtimissüsteem. Peale okupatsiooni kiirenes Tallinnas välisvalgustuse areng ning ehitus ja 1963-ks aastaks oli välisvalgustusvõrku juba ca 350 km pikk ja hõlmas endas 8500 valgustit. Peamiselt olid kasutusel puit- ja raudbetoonmastid, paljasõhuliin ning elavhõbe ning madalrõhu-naatrium valgustid. [17]

1991. aastaks oli Tallinnasse rajatud korralik valgustusvõrk, mis ehitati peamiselt välja koos magalarajoonide linnaosadega 1960.- 1980. aastatel. Vahetult enne Eesti iseseisvumise aastal oli Tallinnas ca 30 000 valgustit ning 1200 km elektriliine, millest ca pool oli paljasõhuliin. Peale iseseisvumist algasid esimesed investeeringus valgustusvõrku alles 1994. aastal, mil paigaldati esimesed kaasaegsed ja säästlikud 250 W kõrgrõhu-naatrium valgustid. Algas kiire areng valgustuse kaasajastamiseks ning uute paigaldise ehitamisega oli 2006-ks aastaks välisvalgustite arv kasvanud juba 42 000 piirile. Valgustite kasvu aastates on näha ka jooniselt 1.1. 2006. aastal alustati ka ülekäiguradade erivalgustuse rajamist, kui erivalguslahenduse said esimesed 37 ülekäigurada. [4]



Joonis 1.1 Välisvalgustite arv Tallinnas aastatel 1997-2006 [4]

2006. aastal olid enamik valgusteid, ehk ca 38 000 asusid mastidel, mis kuuluvad Tallinna Kommunaalametile. Siiski oli aga ligi 10 000 masti omanikuks ka keegi teine, näiteks Elektrilevi OÜ (joonis 1.2) või Tallinna Transpordiamet (trolli- ja trammiliini kontaktvõrgu mastid, joonis 1.3).



Joonis 1.2 Elektrilevi mast, millele on paigaldatud ka valgusti



Joonis 1.3. Tallinna Transpordiameti mast, millele on paigaldatud ka valgusti

Mastide seisukorda hinnati üldpildis rahuldavaks, kuigi ligi üks kolmandik raudbetoonmastidest (joonis 1.4) on ületanud oma 40- aastase eluea ja on betooni murenemise ja sõrestiku ulatusliku korrodeerimise tõttu muutunud ohtlikuks (joonis 1.5). Mastide seisukord on püsinud suhteliselt stabiilne, sest väga ohtlikuks hinnatud mastid vahetatakse välja ükskhaaval ja puudub taristu uuendamise terviklahendus, mis taolise probleemi lahendaks. Mastide seisukorra parandamiseks tuleks mastid defekteerida, kategoriseerida need ohtlikkuse järgi ning seejärel alates kõige ohtlikematest välja vahetada. Sellist protseduuri Tallinnas veel läbi pole viidud, kuid vähemalt mõne piirkonna kaupa on sarnast taktikat vahetatud. Lisaks on Tallinnal plaanis suures koguses maste vahetada Peterburi teel lõigul Smuuli tee kuni Mustakivi tee, kus 2018. aasta suvel hinnati ohtlikuks üle 50 masti, millest 30 olid hinnatud väga ohtlikuks. Suuremas koguses mastide vahetus tuleb kokkuvõttes aga soodsam kui maste ükskhaaval vahetada, sest mastivahetuse puhul on kalleimaks komponendiks tehnika rent ning transport objektile. Kui ühe liini peal on palju ohtlikke mast, on lisaks on võimalus, et ühe ohtliku masti murdumisel/purunemisel toob masti kukkumine õhuliini abil kaasa ka ülejäänud mastid sellel lõigul.



Joonis 1.4. Raudbetoonmast



Joonis 1.5. Amortiseerunud raudbetoonmast

Mastid saab materjali järgi jaotada kolmeks ning 2006 aasta seisuga jagunesid need järgmisel:

- metallmastid- 36% (tsingitud koonuselised-, sõrestik- ja malmmastid) ;
- raudbetoonmastid 50%;
- puitmastid 14%.

2014. aasta andmetel oli raudbetoonmastide koguarv veidi vähenenud, kuid osakaal on oluliselt vähenenud, sest sellist tüüpi mastide paigaldamine lõpetati juba 2002. aastal ning kõik uued objektid ehitatakse kas metall- või puitmastidega. Just seetõttu on tänaseks on raudbetoonmastide osakaal langenud 22% juurde. Kõik avarii, vandalismi või muul moel kahjustada saanud või lihtsalt amortiseerunud raudbetoonmastid asendatakse kas puit- või metallmastidega. Oluliselt on vähenenud ka paljasõhuliini kogupikkus ja osakaal, sest vastavalt arengukavale tuleb paljasõhuliini asendada isoleeritud õhuliiniga või maakaabliga. 2014. aastaks oli paljasõhuliini alles veel 200 km, millest osa asus ka trammi- ja trolli kontaktvõrgu mastidel ning ka kesktänavaliinina. Paljasõhuliini asendamine isoleeritud õhukaabliga tagab oluliselt kõrgema varustuskindluse ja üldpildis ka ilusama linnavaate. [4]

Vastavalt Tallinna Kommunaalameti ja Elektrilevi OÜ vahel sõlmitud viieaastasele lepingule on alates 2015. aastast Tallinna välisvalgustusvõrgu haldamisega tegelenud Elektrilevi OÜ. Elektrilevi lepingu objektiks on Tallinna linna välisvalgustussüsteemi ja selle osade (lülitusjaotusseadmete, tänavavalgustusvõrgu ja nende elementide) ööpäevaringse toimimise tagamine, nõuetekohase avarii- ja käidutöö osutamine (koos välisvalgustuse juhtimise- ja seiresüsteemi tagamise ja rakendamisega) ning valgustusvõrgu korrashoiuks vajalike taastusremonttööde läbiviimine. See tähendab, et Elektrilevi koostöös partneriga tagab igapäevase toimimise, tänavavalgustusvõrgus ning vastutab võrgu korrashoiu ja igapäevaste tööde eest. Lisaks sellele tagab Elektrilevi ka välisvalgustusvõrgu taastusremonttööde teostamise vastavalt vajadusele ning Tellija soovile ning on kohustatud ka korra aastas tegema ettepanekud taastusremonttööde teostamiseks. [5]

2019. aasta andmete järgi on välisvalgustusvõrgu seis paranenud. Viimaste aastatega on valgustite koguarv suurenenud, sest pidevalt toimub võrgu ümberehitus, kus valgusteid lisandus palju seetõttu, et valgusteid paigaldatakse väiksema mastivahega ehk tihedamalt võrreldes vana võrguga. Samuti paigaldatakse ehitatavate ülekäiguradadele lisavalgusteid, tihti on lisaks sõiduteele eraldi valgustitega valgustatud ka kergliiklusteed, parklad jne. Võrgu töökindluse tõstmiseks vahetatakse igal aastal välja vähemalt 200 vana ja amortiseerunud raudbetoonmasti, ca 15 km õhuline isoleeritud keerdrippkaabli või maakaabli vastu. Võrgu seisukord Kommunaalameti hallatavatel tänavatel, ehk tänavatel kus sõidab ühistransport võib võrgu seisukorda lugeda üldiselt rahuldavaks või heaks. [6]

Väiksemad tänavad, magalarajoonid ning vanad suvilarajoonid on aga valgustuse koha pealt jäänud renoveerimata, kuna tänavad on kitsad ning tihti on välisvalgustusvõrku paigaldatud jaotusvõrgu mastidele (joonis 1.6). See aga tähendab, et isegi tänava rekonstrueerimisel jääks suure tõenäosusega jaotusvõrgu vanad mastid ja õhuliinid alles ja seega ei rekonstrueerita välisvalgustust eraldi ülejäänud tänavast. Viimaste aastate halva näitena saab välja tuua Valdeku tänava (lõigul Männiku tee kuni Vabaduse pst), kus tänav rekonstrueeriti, kuid alles jäeti õhuliinid ja puitmastid. Magalarajoonide välisvalgustus on jäänud ca 80% ulatuses puutumata ja võrgu seisukord on halb. Mastid, liinid valgustid ja muu taristu on täielikult amortiseerunud ja ületanud taristuelementide eluaja. Rekonstrueeritud on üksikud lõigud ning probleemile ei ole lähenetud süsteemselt vaid rikkepõhiselt, et kui kuskil on mõni võrgu osa rikkeline, otseselt ohtlik või muul moel kriitiline, vahetatakse välja üksik element. [6]



Joonis 1.6. 2018. aastal valminud Valdeku tänaval jäid alles Elektrilevi õhuliinid ja puitmastid, millele on paigaldatud ka uued leed tänavavalgustid

Suuremad magistraalteed, kus liigub ka lisaks tavatranspordile trammi- või trolliliin on rekonstrueerimine raskendatud, sest mastid ei kuulu Tallinna Kommunaalametile ning on mõeldud eelkõige kontaktvõrgu taristu trosside kinnitusteks. Sellised tänavad Tallinnas on näiteks Paldiski mnt, Sõle tänav, Mustamäe tee, Sõpruse pst, Õismäe tee, Toompuiestee ja Endla tänav. Nendel tänavatel ei ole mõistlik ca 40 aastat vana taristut eraldi rekonstrueerida, sest ka uus taristu peaks üleval hoidma trammi- ja trolli kontaktvõrku ning seetõttu linnapilt otseselt ei muutuks. Näiteks osadel tänavatel nagu Sõle, Endla ja Paldiski mnt on trolliliinid juba eemaldatud ning mastid Kommunaalametile üle antud. Kommunaalamet on taristu välja vahetamiseks ka juba esimesed sammud teinud, kui 2016. aastal Paldiski maanteel ja Endla tänaval asendati vanad kõrgrõhu-naatrium valgustid leedvalgustitega nii sõrestik- metallmastidel kui ka kesktänavaliinidel (joonis 1.7). Paldiski maanteel on seoses Haabersti liiklussõlme ja ühistranspordi lisaraja loomisega paigaldatud üle 1000 uue leedvalgusti (joonis 1.8). Sõle tänava valgustus plaanitakse rekonstrueerida seoses Keskkonnainvesteeringute Keskuse poolt väljastatud toetusega taristu uuendamiseks täies mahus. [6]



Joonis 1.7. Paldiski maanteel asendati kõrgrõhu-naatrium valgustid leedvalgustite vastu ja paljasõhuliin isoleeritud õhuliini vastu.



Joonis 1.8. Paigaldatud leedvalgustid rekonstrueeritud Haabersti liiklussõlmel

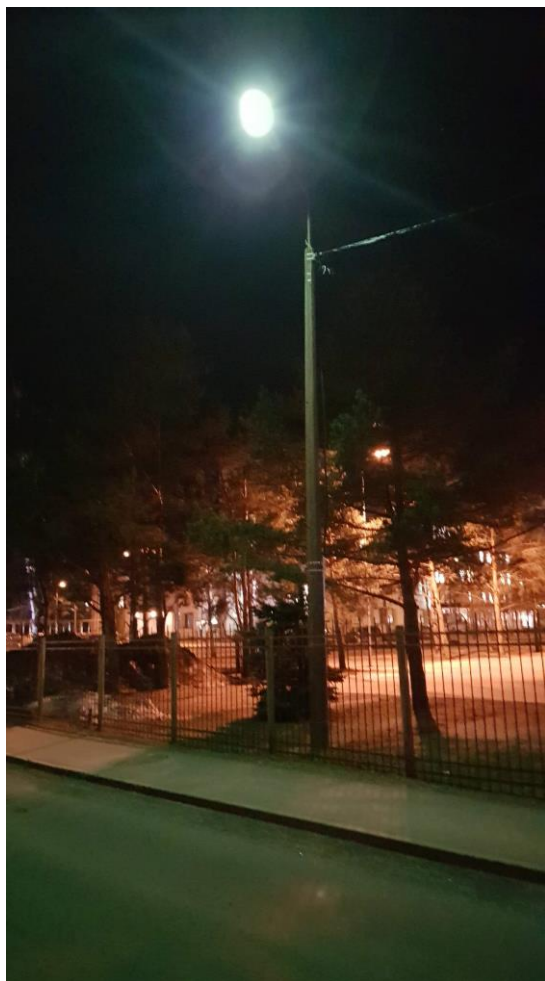
1.3 Tallinna välisvalgustuse üldandmed

Tallinnas on 2019. aasta märtsi seisuga 59 260 valgustit, valgustite andmed on välja toodud tabelis 1.1. Tabeli andmetest selgub, et valdav osa valgustitest ehk ligi 79% on kõrgrõhu-naatrium valgustid. Neid valgusteid hakati paigaldama valgustusvõrku juba 1980.-ndate alguses. Enamik naatriumvalgusteid, mis tänaseks veel võrgus on ja töötavad on paigaldatud aastatel 1990- 2007 ja on seega ületanud oma eluea rohkem kui kahekordselt. Enim on naatriumvalgusteid 250 W valgusallikaga, mis on valdavalt paigaldatud Tallinna magistraalteedele (Pirita tee, Tartu mnt, Pärnu mnt, Vabaduse tee, Männiku tee, Sõle, Paldiski mnt, Sõpruse pst, Mustamäe tee).

Naatriumvalgustile sarnane ehitusega metallhalogeniid valgusteid (joonis 1.9, 1.10) on Tallinnasse jäänud veel 3225 tükki. Neid paigaldati 2000.-ndete alguses ning neid eristab naatriumvalgustitest veidi keerukam ehitus, kallim remont ja varuosad, külmem valgustemperatuur (3500 K- 4500 K) kuid ka pikem eluiga ja kõrgem valgusviljakus. Peamiselt tunnelites ja varjualustes on kasutusel luminofoorvalgustid, mida on Tallinnasse alles jäänud vaid 472. Kõik rikkellised valgustid asendatakse naatriumvalgustitega. Eranditeks on leedvalgustid ja tunnelites olevad luminofoorvalgustid. [6]

Tabel 1.1. Valgustite jagunemine valgusallika tüübi järgi

Tüüp	Arv, tk	Osakaal, %
Metallhalogeniid	3 225	5,44
Luminofoor	472	0,80
Elavhõbe	1 197	2,02
Kõrgrõhu-naatrium	46 659	78,74
Leed	7 406	12,50
Muu	301	0,51
Kokku	59 260	100,00



Joonis 1.9. Metallhalogeniid valgusti valgusvärvsus on naatriumvalgusti omast külmem



Joonis 1.10. Metallhalogeniid valgusti sarnaneb välimuselt naatriumvalgustiga

Enim rikkeid oli 2018. aastal seoses valgustiriketega. Valgusti rikke võib põhjustada kustunud valgullikas (enamik riketest seotus just sellega), katkine starter, rikkeline valgusti toitekaabel, valgusti kinnitatus või valgusti konsooli kinnitus on katki/rikkeline ja ülepingsed või valest valgusti ühendamisest põhjustatud valgusti läbipõlemine. Valgusallika vahetamisel sai 2018. aastal korrastatud 6200-st rikkest 1890 ning valgusti või valgusti komponendi vahetamisega veel 660 riket. See tähendab, et valgusti rikkeid oli 2018. aastal 6200-st rikkest tervelt 2500. Nendest riketest oli vaid ca 10 riket seotud leedvalgusti mitte töötamisega ning nendest omakorda vaid paaril juhul oli leedvalgusti rikkis. Ülejäänud leedvalgusti rikked oli seotud valgusti toitekaabli või kaitsmega. Valgusti rikete puhul on rikkelse komponendi leidmine lihtne, sest pingekontrolli on lihtne teostada ja rikkeline komponent on üldiselt standardtoode, mis asendamiseks kohe laost võtta on. [6]

Parema ettekujutuse saamiseks valgustitest välisvalgustusvõrgus jaotatakse need tabelisse võimsuse järgi. Tabelis 1.2 välja toodud Tallinna välisvalgustusvõrgus olevate valgustite võimsused. Kuna tabeli pidamine sai alguse ja 1990-ndatel aastatel, siis tabeli väärtused on valitud kõrgrõhunaatrium valgustite nimiväärtuste järgi. Viimasel aastakümnel lisandunud leedvalgustite

nimivõimsus ei pruugi ühtida otseselt tabeli väärtusega ja seetõttu paigutatakse leedvalgusti nimivõimsus ümardamise teel lähima sobiva väärtuse alla. Tabelist on näha, et enim on tänavavalgustusvõrgus 70 W valgusteid, tervelt 38,5% kõikidest valgustitest. 70 W naatriumvalgusteid kasutatakse kõikides magalarajoonides kvartalisiseste teede valgustamiseks, vanade suvilarajoonide nagu Mähe, Pirita- Kose ja ka Nõmme väiksematel tänavatel, samuti ka näiteks valgustatud terviserajad ja eraldiseisvad kergliiklusteed. Enamik sõiduteele paigaldatavatest leedvalgustitest (60 W - 80 W) ümardatakse tabelis just selle väärtuse alla. Samuti on näha, et endiselt on Tallinnas väga palju magistraalteid valgustavaid naatriumvalgusteid nimivõimsusega 250 W. Eraldi saab välja tuua alla 50 W võimsusega valgustite osakaalu, mis veel 5 aastat tagasi oli alla 1%. Selle kategooria suurenemise on põhjustanud väikese võimsusega leedvalgustite arvukama kasutuselevõtu rekonstrueeritud väiksematel teedel, parkides ja kergliiklusteedel. [6]

Tabel 1.2. Valgustite jagunemine võimsuse järgi

Võimsus	Arv, tk	Osakaal, %
> 50 W	6893	11,63
70 W	22 843	38,55
100 W	9 361	15,80
125 W	1 519	2,56
150 W	6 241	10,53
250 W	12 022	20,29
< 250 W	381	0,64
Kokku	59 260	100,00
Keskmine võimsus	124 W	

Välisvalgustus paigaldatakse enamasti eraldi välisvalgustusmastidele spetsiaalse konsooli abil. Küll aga on võimalik valgusteid paigaldada näiteks mingil muul otstarbel kasutatava masti peale, hoone fassaadile (joonis 1.11), soojatrassi kandurite vms peale, samuti võib ühe masti otsas olla ka 2 või rohkem valgustit. Seetõttu on valgustusvõrgus maste alati vähem kui valgusteid. Tabelis 1.3 on toodud Tallinna Kommunaalametile kuuluvate mastide arv ning osakaalud sõltuvalt masti materjalist. Tabelist on näha, et tänu uute objektide ehitamisele ning vanade amortiseerunud paigaldiste rekonstrueerimisele on enim paigaldatud metallmaste. Üldjuhul ehitataksegi kõik uued valgustuse objektid tsingitud metallmastide ning leedvalgustitega. Tabelist 1.3 on näha, et kui aastal 2006 oli raudbetoon mastide osakaal kõikidest mastidest ca 50%, siis tänaseks on see langenud juba 22% juurde. [6]



Joonis 1.11. Ruumi, aja ja raha kokku hoidmiseks paigaldati 90-ndatel valgusteid hoone fassaadile

Tabel 1.3. Mastide jagunemine materjali järgi

Tüüp	Arv, tk	Osakaal, %
Metall	25 252	52,33
Raudbetoon	10 602	21,97
Puit	12 082	25,04
Eritüüpi	317	0,66
Kokku	48 253	100,00

Elektriliinide osas on Tallinnas enim kasutusel maakaabel (ca 54,9%). Enim on kasutusel AXPK ja tüüpi isoleeritud neljasooneline maakaabel, peamiselt ristlõikega 25 mm². Väga vähesel määral on kasutusel endiselt ka paljasõhuliinid, mis on väiksema töökindlusega ning pikemas perspektiivis planeeritakse need rikete vähendamiseks isoleeritud õhuliini või maakaabelliinide vastu välja vahetada. Õhuliini saab vedada nii raudbetoon, puit- kui ka metall-sõrestik mastidel. Tsingitud koonuselistel metallmastidel (neid on kasutusel metallmastidest enim, ca 80%) ei ole õhuliini vedamine lubatud. Maakaabelliinide rajamine on ca 10 korda kallim kui õhuliinide rajamine, kuid maakaabelliinid ei risusta linnapilti ning jääb tavainimesele nähtamatuks osaks võrgust. Maakaabelliine paigaldatakse valdavalt ainult uute objektide puhul. Valgustusvõrgu liinide jagunemine liini tüübi järgi on toodud tabelisse 1.4. [6]

Tabel 1.4. Liinide jagunemine tüübi järgi

Tüüp	Pikkus, km	Osakaal, %
Paljasõhuliin	74,4	4,8
Isoleeritud õhuliin	626,9	40,3
Maakaabel	853,1	54,9
Kokku	1554,4	100,00

Tallinna välisvalgustusvõrgus valmib ca 100 uut objekti aastas. Selle hulka kuuluvad nii amortiseerunud valgustustaristu ümberehitused, uute teede ja tänavate valgustus, erivalguslahendused, arendajate poolt välja ehitatud paigaldiste linna võrku ühendamine jne. Keskmise paigaldise suurus on ca 15 valgustit ja seega uuendatakse või lisatakse Tallinna tänavavalgustusvõrku ca 1500 valgustit aastas. Sellele lisanduvad uued suurobjektid nagu näiteks Paldiski mnt ja Haabersti liiklussõlme ümberehitus (1000 valgustit), Reidi tee ehitus (500 valgustit), Keskkonnainvesteeringute Keskuselt Euroopa rahadega rekonstrueeritakse järgneva kolme aasta jooksul veel 1500 valgustit. Selle põhjal saab väita, et valgustustaristu uuendamise maht on suur, kuid enamik investeeringuid on peamiselt suunatud just põhimagistraalidele ning liiklussõlmedele, kus taristu olukord ei olegi kriitiliselt ohtlik. Kõige halvemas seisus on välisvalgustus Tallinnas 1960.-1980. ehitatud kvartalisiseste teedel, ning väiksemad veel renoveerimata tänavad Nõmmel, Mähel, Pelgulinnas ning Põhja- Tallinnas ning enim välisvalgustusega seotud investeeringuid on viimastel aegadel suunatud just nendesse piirkondadesse.

1.4 Hooldused Tallinna välisvalgustusvõrgus

Välisvalgustusvõrku peab töökindluse tagamiseks regulaarselt hooldama. Võrgus käidutööde teostamise eesmärk on tagada Tallinnas välisvalgustusvõrgu ja selle elementide muude välisvalgustusvõrguga ühendatud elektriseadmete ja selle osade korrashoid ning rikkeid ennetav nõuetekohane käidutöö, lähtudes Tellija poolt esitatud nõuetele ja ka selleks eraldatud rahalistest vahenditest [6]. Hooldustöid teostatakse iga- aastasel ja neid käsitletakse lülitus- jaotusseadmete (LJS) kaupa. Hoolduslepingu lepingus on kajastatud ka hooldustööde maht, mida tellija oma võrgule nõuab. Kuna kohaliku omavalitsuse eelarve koostatakse igal aastal, kuid valgustusteenuse ja selle mahud kinnitatakse tavaliselt vähemalt kolmeks aastaks, on Tellijal alati õigus hooldustööde mahtusid vähendada, kui KOV aasta eelarvest selleks piisavalt vahendeid ei väljasta. [5]

Hooldustööd tänavavalgustusvõrgus jaotatakse kaheks: iga-aastased ja täishooldustööd. Iga-aastane hooldustöö hõlmab endas valgustite, mastide, elektriliinielementide, kesktäna kandurite ja muude välisvalgustustarvikute hooldamist (vajadusel reguleerimist, pingutamist, õigumist, värvimist, puhastamist, kinnitamist, defekteerimist, korrastamist, jms), lisaks ka mittetöökorras valgustite remonti ja valgusti osade vahetamistööd. Hooldustöö käigus defekteeritakse kõik elektriliinitrassid, valgustid, mastid, juhtimiskilbid ja muud valgustuse taristu elemendid. Hoolduse käigus eemaldatakse mastidelt mittevajalikud kaablid ja ohtlikud oksad, lülitus- jaotusseadme ehk LJS-i puhastamine ning kilbi seisukorra kontroll ja vajadusel parandamine. Hoolduse käigus kontrollitakse elektriskeemi vastavust tegelikkusele ning mõõdetakse väljundkaablite koormusi. Samuti kontrollitakse juhtimis- seire- ja valvesüsteemi toimimist, skeemielementide (elektriseadmed, kaitseaparaadid, ühendustarvikud, jne.) vastavust, vajadusel vahetatakse element välja või seadistatakse ümber. Kogu tehtud töö dokumenteeritakse protokolliga ja fotodena ning esitatakse Tellijale. [5]

Täishooldustöid peab viieaastase lepingu jooksul teostama kõikides tänavavalgustuskilbis vähemalt ühe korra. Täishoolduse käigus teostatakse lisaks iga-aastase hoolduse tööde mahule lisaks ka LJS piirkonna elektrilise skeemi ja fiidrite tegeliku olukorra vastavuse kontroll ning maandusjuhtide ühenduste ja seisukorra kontroll. Täishoolduse eesmärk on elektriohutusseaduse kohase korralise tehnilise kontrolli läbiviimine LJS piirkonna välisvalgustusvõrgus, ehk lühidalt öeldes peaks täishoolduse läbinud LJS saama nõuetekohasuse tunnistuse ehk auditi. Kuna LJS-i elektriskeemi elemendid võivad olla väga vanad ning kogu taristu, mis selle kilbi alla kuulub võib olla samuti juba amortiseerunud, on tihti vaja positiivse auditi saamiseks teostada ka taastusremonttöid. Mõningatel juhtudel on esinenud ka olukordasid, kus LJS-le ei väljastata positiivset auditit, sest paigaldis ei vasta elektriohutus nõuetele. [5]

Välisvalgustusvõrgu ja selle elementide taastusremonttööde teostamise eesmärgiks on tagada välisvalgustusvõrgu ja selle elementide ning muude välisvalgustusvõrguga ühendatud elektriseadmete renoveerimine ja korrastamine, mis väljub avarii- või käidutöö ja hoolduste mahtudest, lähtudes selleks eraldatud rahalistest vahenditest. Taastusremonttööde mahtusid on tihtipeale väga raske ette planeerida ning võib juhtuda olukordasid, kus rikete tõttu on koheselt ja kiiresti vaja suuremahulisi taastusremonttöid teostada. Taastusremonttööde on seotud elektriseadmete või võrguelementide pikaajalise eksploatatsiooni tõttu amortiseerunud ja/või välisvalgustuse rikkeid põhjustavate elementide väljavahetamisega. Samuti kuuluvad mahtu ka tööd, mis on seotud liiklusavariide, vandalismi, loodusõnnetuste, omavoliliste kaevetööde, lõhkumiste jms tõttu eksploatatsioonist välja läinud välisvalgustusliinide või elektriliinielementide, seadmete ja valgustite taastamisega. Taolised tööd vajavad tihtipeale ka eritehnikat nagu näiteks töstukid, kraanad, kompressorid, kopad, freesimis- ja puurimismasinad jne. [5]

Taastusremonttööde paremaks planeerimiseks on Elektrilevil kohustus iga-aastaselt linnale välja pakkuda järgmise aasta taastusremonttööde plaan, kus on välja toodud rikkeliste piirkondade parendamise ettepanekud koos ligikaudse ajakulu ja maksumustega. Suuremahulistel objektidel puhul esmalt kooskõlastatakse enne taastusremonttöödega alustamise tellijaga lahendus, tööde maht, ajakulu ja maksumus. Peale tööde teostamist on kohustuslik selle kohta koostada ka aruanne koos fotode, tööde mahtude ning maksumusega ning kogu dokumentatsioon siis tellijale esitada. Tihtipeale on taastusremonttööde järel vaja muuta piirkonnaskeemi, valgusti, masti, liini või muu taristuobjekti andmeid, mistõttu kajastatakse need ka dokumentatsioonis. [5]

Alates 2015. aastast on Tallinna linnas täishooldustöödele uued nõuded, mida varasemalt Tallinnas ei ole rakendatud. Lisaks eelnimetatud täishoolduse käigus tehtavatele töödele tuleb kõik hoolduspiirkonnas olevad valgustid (v.a. leedvalgustid) avada ning teostada valgusallikate ja süüteseadiste plaaniline vahetamine koos valgustikuplite puhastamisega. Antud nõuet ei ole Eestis varem rakendatud ning seetõttu ei ole ka valgusallikate ja süüteseadmete vahetamise mõju üldise valgustuse ning rikete statistika koha pealt varem uuritud. Kõrgrõhu-naatrium valgusti eluiga on tavaoludes 20 000- 25 000 põlemistundi. Arvestades, et Tallinna tänavavalgustus töötab aastas ca 4100 tundi, peaks valgusallikaid vähemalt iga viie aasta jooksul vahetama. See aga langebki kokku täishoolduse käidukavaga, mille kohaselt viie aastase lepingu käigus peaksid kõik kilbid saama ühe korra täishoolduse. Hooldustööde käigus tuleb plaaniliselt vahetatud valgusallikatele märkida permanentse kirjutusvahendiga vahetamise kuupäev ning see ka näiteks fotoga fikseerida ja hiljem ka dokumenteerida, et millal selle piirkonna valgusallikad said vahetatud (joonis 1.12). [5]



Joonis 1.12. Kõrgrõhu-naatrium valgusallika vahetamisel tuleb puhastada klaas ja märkida ka vahetamise kuu ja aasta.

Täishooldusi tehakse igal aastal ca 125 tükki ning selle tulemusena peab viieaastase hoolduse käigus igal kilbil olema tehtud täishooldus vähemalt korra. Hooldustöid teostab Elektrilevi partner, hoolduse käiku, kvaliteeti ning kiirust jälgib nii Elektrilevi kui ka tellija. Kas täishoolduse käigus on vahetatud valgusallikaid on raske kontrollida, sest tänavalt markeri kirja ei näe ja silmaga eristada vahetatud valgusallikat vahetamata valgusallikast on väga raske. Teine probleem on valgustite klaasidega- juhendi järgi peaks kõikidel valgustitel märja lapiga puhastama klaasi, kuid enamikel valgustitel on klaas juba niivõrd tugevate kuumakahjustustega, et see on muutunud tuhniks või tumedaks ning seda puhastada ei ole võimalik. See aga tähendab seda, et valgusti klaas tuleks eemaldada, mis aga vähendab valgusallika eluiga. Hetkel valgustite klaaside asendamist hooldustööde käigus ette ei ole nähtud ning probleem on endiselt lahendamata. Uute klaaside paigaldus on aga lisakulutus, millega partner ega tellija ei ole arvestanud ning seega seda hooldustööde käigus ette pole nähtud. Kokkuleppeliselt üritab partner klaasid saada võimalikult puhtaks, kuid kui see ei ole võimalik, siis eemaldab valgusti klaasi.

Kehtiva hoolduslepingu tulemusena väljastatakse kõikidele kilpidele audit olenevalt piirkonna seisukorrast 5- 15-ks aastaks. Seega oleks mõistlik järgmise hoolduslepingu mahtudest auditi väljastamise ning ka sellele eelnevad tööd välja arvata. Selle tulemusena saavad hoolduslepingu pakkujad oluliselt tööde maksumust vähendada ning tellija saaks aastas kokku hoida üle 200 000 €, mis kulub auditite väljastamisele, sellele eelnevatele mõõtmis- ja taastusremonttöödele ning positiivse auditi jaoks tehtavate taastusremonttööde tegemisele.

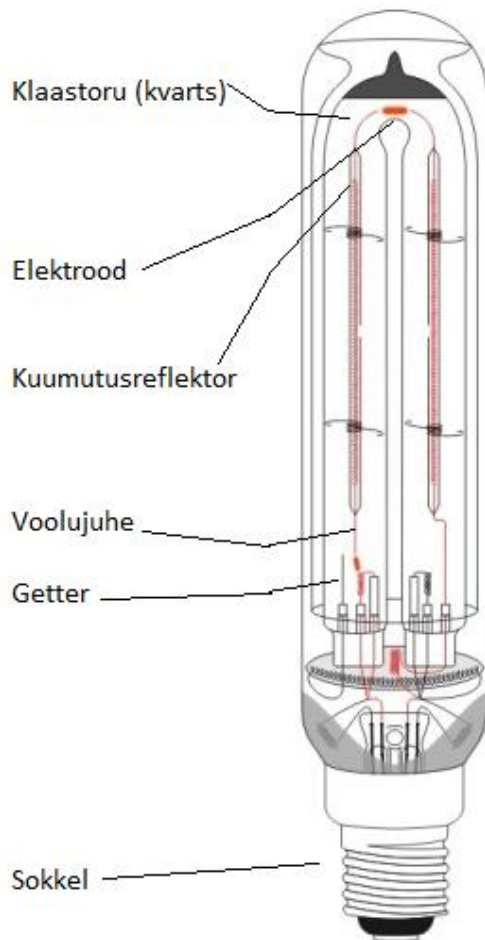
1.5 Kõrgrõhu-naatriumlamp

Valgusti on seade, mis jaotab, filtreerib või muundab valgusallika poolt tekitatud valgust suunatud alale. Valgusallikas ehk lamp on nähtava kiirguse tekitamiseks loodud kiirgusallikas. Üldkasutatavad valgusallika tüübid Tallinna välisvalgustusvõrgus on: [1]

- hõõg- ja halogeenvalgusallikad
- madalrõhulahendus valgusallikad
- kõrgrõhulahendus valgusallikad
- leedvalgustid.

Hõõglambid ehk hõõgniidi abil toimuv valgusallikas on küllaltki vana leiutus, see töötati välja ja võeti kasutusele juba 19 sajandi alguses. Kuigi sellist valgusallika tööpõhimõtet arendati edasi ja täiustati, on see endiselt võrreldes muude valgusallikatega madalama töökindluse ning suure energiakuluga, mistõttu neid välisvalgustusvõrgus enam ei kasutata. Siiani on jäänud neid veidi üle ühe tuhande, kuid neid enam ei asendata ega uuendata, vaid rikke korral vahetatakse välja kogu valgusti. Halogeen valgusallikad on hõõglambid, mille inertsgaasile on lisatud mingit halogeeni, mis ühineb hõõgniidilt aurustuva volframiga. Hõõglambi valgusvoog kasvab koos temperatuuri tõusuga, kuid kõrgem temperatuur lühendab valgusallika eluiga ja mustab kolvi sisepinda. Halogeenlampe on aja jooksul arendatud aina paremaks ja nüüd on uuemad valgusallikad ka energiasäästlikumad ning seetõttu saab neid ka välisvalgustusvõrgus kasutada. Need on enamasti kasutusel tunnelites, varjualustes ning testlõikudena ka mõnel pool Tallinnat väiksematel tänavatel. [8]

Madal- ja kõrgrõhulahendus valgusallikad kuuluvad kaarlahendus valgusallikate hulka. Taoliste valgusallikate tööpõhimõte seisneb selles, et valgusallika kolvis on vähemalt kaks elektroodi, inertsgaas, veidi kergelt aurustuvat elavhõbedat, naatriumi vms (joonis 1.13). Madalrõhulahenduslambid jagunevad kahte rühma: madalrõhu luminofoorlambid ja madalrõhu naatriumvalgustid. Luminofoorlambid on sisevalgustuses kõige enim kasutatud valgusallika tüüp ning selliseid valgusteid on kasutusel ka Tallinna välisvalgustusvõrgus, eelkõige jalakäijate ning suusatunnelites (joonis 1.14). Luminofoorlambid on tundub oma torukujulise välimuse järgi ning toru pikkus sõltub valgusti võimsusest. Taolise valgusallika eluiga sõltub sellest, et kui pikalt see korraga sisse lülitatud on, kuid jääb enamasti 20- 25 tuhande töötunni piirisse. [8]



Joonis 1.13 Kaarlahendus valgusallika põhimõtteline ehitus [8]



Joonis 1.14 Luminofoorlambid jalakäijate tunnelis

Madarõhu- naatriumvalgusallikas on oma ehitusel sarnane kõrgrõhu-naatrium valgustile, kuid on jäänud oma monokromaatilise kollase spektri tõttu küllaltlgi vähese populaarsuse juurde. Taoliste valgusallikate tööpõhimõte on sarnane muudele kaarlahendusvalgusallikatele, kuid lambi süttimise kergendamiseks on lisatud neoni ja argooni (joonis 1.15). Madalrõhu- naatrium valgusallikate eluiga on ca 20 000 töötundi ehk ca 5 aastat, kuid eluiga lühendab oluliselt niiskustase valgustis ning lühikeseks ajaks tööle panek, sest selline valgusallikas vajab normaalsete töötingimuste saavutamiseks vähemalt 15 minutit. [8]



Joonis 1.15. Madalrõhu- naatrium valgusallikas [15]

Kõrgrõhu-naatrium valgusti on Tallinna välisvalgustusvõrgus enim kasutusel olev valgusti. Neid on viimase 30 aasta jooksul paigaldatud üle terve linna ning neid paigaldatakse võrku juurde tänaseni. Naatriumvalgusteid kasutatakse näiteks rikkelse valgusti asendamiseks, mõne üksiku lisavalgusti paigaldamisel veel valgustamata kohtadesse ning juhtudel, kui rekonstrueeritud lõik on mõlemalt küljelt ümbritsetud naatriumvalgustitega (et mitte üksikute leedvalgustite lisamisega üldpilti risustada). Lisaks kõrgrõhu naatriumvalgustitele on Tallinnas lisaks ka teine kõrgrõhu kaarlahendusega valgusallika tüüp- selleks on metallhalogeniid valgusallikas. Kuid kuna need valgusallikad sisaldava suures koguses mürgiseid aineid nagu elavhõbe, argoon ja muud jodiidid, siis vastavalt Euroopa Liidu direktiivile neist osasid enam paigaldada ei tohi. [6]

Nagu kõikidel kaarlahendusega valgusallikatel on ka kõrgrõhu-naatrium valgustitel valgusallika tööle saamiseks vajalik starter ja ballast, kuid erinevalt muudest kaarlahendus valgusallikatest on selle süütamiseks vaja kõrgepingeimpulss (joonis 1.16). Valgusallika kvartsklaas on aga erinevatele kemikaalidele ja kuumusele küllaltki halvasti vastupidav ja seega on kõrgrõhu-naatrium valgusallikate kaarlahendustoru paigaldatud kvartsklaasi sisse ja see valmistatud keraamilisest materjalist, mis peab naatriumi söövitavale toimele oluliselt paremini vastu. Teisalt tekitab see aga mustumisele lisakihi ja seega on valguskiirguse välja kiirgamiseks juba kuus mustuvat kihti, mis oluliselt vähendab valgusti valgusviljakust ning efektiivsust. [6]

Naatriumvalgusti mõõtmed ja hind sõltub valgusti võimsusest, kuna suurema võimsusega valgusallikas vajab suuremat valgustit ja võimsamaid süüteseadmeid. Naatriumvalgusti maksumus ilma valgusallikata (valgusti on juba eelevalt komplekteeritud ja sisaldab ka süüteseadet ja ballasti) on väiksematel võimsustel 60-100€ ja suuremate võimsuste puhul 80-140€ sõltuvalt valgusti tootjast. Uus valgusallikas maksab sõltuvalt võimsusest, tootjast ja tellitavast kogusest 3-10€. Naatriumvalgusteid ja nende varuosasid on saadaval pea igas suuremas elektripoes ning neid ei ole vaja ette tellida. See tähendab, et hooldaja ei pea kaupa suurtes kogustes ette tellima ja oma laos hoidma, vaid saab tegutseda väiksemate koguste kaupa. [16]

Kõrgrõhu-naatrium valgusti koosneb mitmest osast, mis on välja toodud ka joonisel 1.16

- valgustil on vajalik vähemalt IP44 niiskusastmega korpus
- süüteseade ehk starter
- kõrgepingeimpulsi tekitav ballast ehk drossel
- reflektor
- valgusti kaitseklaas
- kõrgrõhu-naatrium valgusallikas



Joonis 1.16. Kõrgrõhu-naatrium valgusti Myra

Valdavalt on naatriumvalgustid E27 või E40 keeratava sokliga, valgusallika vahetus on seetõttu lihtne ja kiire töö. Valgusallika vahetamisel ei tohi kindlasti seda palja käega katsuda, sest see tekitab kvartsklaasile rasvase kihi mis omakorda lühendab oluliselt valgusallika eluiga. Lambi valgusviljakus sõltub tootjast, liiteseadmetest, paigaldusasendist ja lambi võimsusest. Naatriumlambi puhul tuleb silmas pidada, et üldiselt selle valgusvoog väheneb iga aastaga 2-5% ja võib eluea lõppedes olla ka alla 80% nimivalgusvoost. Selleks on tootjad oma toodete kohta väljastanud ka tabelid, kus on näidatud valgusallika iga-aastane valgusvoo vähenemise koefitsient ning muu sellega kaasnev info. [9]

Tihti võib näha, et tänavapildis on pealtnäha samasuguste valgustite valgusvärvsus erinev ja see võib erineda nii süttimishetkel kui ka juba töötamisel. Värv erinevus tuleneb näiteks erinevate tootjate toodete kasutamisest, erinevate liiteseadmete kasutamisest, valgusallika töötundidest, pingekõikumistest, toote kvaliteedist, kvartsklaasi tuhmumisest jne. Sõltuvalt valgusallika võimsusest vajab see käivitumiseks kõrgepinge impulssi vahemikus 2,5-5 kV, Tallinnas enamasi aga 4,5 kV. Kuna valgusti lisaseadmete (starter ja drossel) voolutarve on oluliselt kõrgem just stardihetkel, siis loetakse naatriumvalgusti stardivooluks 1,4 kordse korrutisena töövoolust. Kõrgrõhu-naatrium valgusti saavutab töövoolu umbes 10 minutit peale sisse lülitamist, sest siis on valgusallikas üles soenenud ning starter ja drossel enam voolu ei tarvita. [9]

Kõikide kaarlahendus valgusallikate puhul tuleb lambi töö stabiliseerimiseks kasutada liiteseadeldist. Kaarlahenduse tekkel väheneb kaarlahendustoru takistus nullini, mis tähendab, et kui liiteseadet ei ole, siis voolu hulk kasvab suuremaks eksponentsiaalselt. Liiteseadmete ülesanne

ongi piirata voolutugevust ja tagada valgusallikale süütepinge. Tänapäeval kasutatakse liiteseadmena enamasti juba sagedusmuundureid, sest neil on võrreldes magnetsüdamikuga drosselitega paremad talitlusomadused ja väiksem energiakulu. Ballastdrosselite puudusteks ongi müra, suur soojus- ja võimsuskadu, suur mass ning madal võimsustegur. [9]

Kõrgrõhu-naatrium valgusallikad võivad osaliselt töötada ka siis, kui tootja poolt ette nähtud eluiga on juba neljakordselt ületatud. Ei ole harv juhus, kui Tallinna välisvalgustusvõrgus töötavad 90.ndatel paigaldatud valgustid, millel valgusallikat vahetatud ei ole. Naatriumvalgusti peamiseks rikkeks on valgusallika kustumine, valgusallika ebaühtlane töötamine või vilkumine, kuid viga võib olla ka valgusti lisaseadmetes ehk valgusti kustumine võib olla põhjustatud starteri või ballasti rikkest. 2018. aastal oli valgusallikate mitte töötamisest ca 1900 rikketeadet, mille käigus kokku vahetati üle 2000 valgusallika. Valgusti elementide või selle toitekaabli rikestest oli põhjustatud üle 650 valgusti rikke, kusjuures enamikel kordadel oli tegemist drosseli rikkega ning see element tuli välja vahetada. [6]

1.6 Leedvalgustid

Viimaste aastate jooksul on ligi 95% kõikidest lisatavatest valgustitest Tallinna tänavavalgustusvõrgus leedvalgustid [6]. Leed (inglise keeles *LED- light- emitting diode*) on pooljuhtkomponent, mille ülesanne on konverteerida elektrienergia valguseks võimalikult väikeste kadudega. Leedide puhul on eeliseks pikk tööiga, hooldusvaba tehnoloogia, energiasäästlikkus kuni 80% ning leedvalgustit saab lisaks sisse- välja lülitamisele ka hämardada vastavalt loodud programmile [11]. Tallinnas on Kommunaalameti poolt kehtestatud käskkiri, mille järgi toimub Tallinna välisvalgustusvõrgus hämardamine vaid üle 70 W valgustitel ja vastavalt tänava valgustusklassile ja joonisele 1.17. Leedvalgustite puhul on miinuseks võrreldes naatriumvalgustiga oluliselt kõrgem hind, valgusti keeruline parandamine ja varuosade kättesaadavus [12].

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

Joonis 1.17. Välisvalgustuse hämardamise režiimid [12]

Valgustuse projekteerimisel väljastatakse projekteerijale tehnilised tingimused, millele paigaldatavad seadmed peavad vastama. Tehnilised tingimused väljastatakse projekteerijatele objektipõhiselt, kuid üldtingimused nagu valgustite, mastide ja liinide nõuded on kõigile samad.

Tallinnas on peamised tellija poolt kehtestatud tehnilised näitajad valgustitele järgmised: [6]

- valgustite nimitalitus peab olema tagatud töökeskkonna temperatuuril -25 °C kuni +25 °C
- valgustis valgusallika värviesitusindeks on CRI ≥70.
- uutel paigaldatavatel valgustitel peab olema CLO funktsioon.
- valgusti nimipinge peab olema 230 V ja see peab taluma pingevahemikku 180-277 V
- valgusti cos φ peab olema vähemalt 0,9.
- valgusviljakus peab olema vähemalt 90 lm/W;
- valgusti eluiga peab olema vähemalt 100 000 h

Tellija poolt vaadates on oluline ka see, et valgustil oleksid olemas vajalikud sertifikaadid, 5- aastane tootjapoolne garantii ning et valgusti varuosasid oleks turult saada vähemalt 10 aasta jooksul alates paigaldamisest. Valgusti valikul on siiski eelkõige määravaks valgusti hind. Hind sõltub väga suuresti tootjast, valgustis kasutatud materjalidest ning koostöökvaliteedist, tellitud kogusest aga ka valgusti enda parameetritest nagu valgusjaotus spekter, võimsus ning valgusviljakus. Üldiselt jääb väiksema (20-50 W) võimsusega leedvalgusti hind 110- 250 € vahele ning võimsama valgusti (50-150 W) hind aga 130- 400 € vahele. [6]

Tallinnas on 2019. aasta märtsi seisuga 7406 leedvalgustit, mis moodustab ligi 12,5% kõikidest valgustitest. Leedvalgustite puhul ei ole määratletud, mitmest diodist üks valgusti koosneb ning seega võib tekkida olukord, kus pealtnäha üks valgusti koosneb mitmest vahetatavast leedpaneelist. Tallinnas näitel loetletakse leedide koguseid just selle põhimõtte järgi, et kui on tegemist vahetatava diodkomponendiga, siis loetletakse see eraldi valgustina. Tüüpilisel valgustil on siiski vaid üks leedpaneel mis üldjuhul ei ole vahetatav ja neist 95% leedvalgustitest loetakse vaid üheks valgustiks. Samas on välisvalgustusvõrgus ka märgilisi näiteid, näiteks Tallinna Tehnikaülikooli maamärgi valgustamiseks on paigaldatud rohkem kui 200 eraldiseisvat ja vahetatavat diodmoodulit. [6]

Esimesed leedvalgustid Tallinnas paigaldati 2008. aasta lõpus Nõmmel Jaama tänavale ja Nõmme turu parklasse. Tänapäevaks on mõlemad paigaldised veel alles ning töokorras, kuid Nõmme parkla valgustus on valgustite defekti tõttu muutunud roheliseks ning tuhmiks, mida on ka näha joonisel 1.18. Üldjuhul on leedvalgustite rikkelisus jäänud alla 2% kogu valgustite arvust, mis võrreldes kõikide muude valgusallika tüüpidega on ca viis korda efektiivsem. Vaid alla viie leedvalgusti aastas vajavad valgusti rikke tõttu välja vahetamist ning üldjuhul on need olnud ka valgusti garantiiajal (üldjuhul 5 aastat alates paigaldamisest) ja seega ei ole valdajale lisakulu tekitanud.

Küll aga on leedvalgustite puhul miinuseks see, et neid ei ole saada Eesti ladudes ning tihti peab asendusvalgustit ootama 4 - 6 nädalat alates tellimisest. Taoline ooteaeg võib aga tellijale lisakulu tekitada, kui tarenajal vältel peab kasutama asendusvalgustit. Halvima näitena valgustite vahetamise projektist võib Tallinnas tuua Paldiski mnt ja Endla tn kesktänavaga valgustuse uuendamist, kus paigaldatud leedvalgustite rikkelisus on ca 10%, mis on tingitud valgustite koostöökvaliteedist ja valede valgustite toitekaablite kasutamisest, mis põhjustavad niiskuse sattumist valgustisse. [6]



Joonis 1.18. 2008. aastal esimesed Tallinna välisvalgustusvõrku paigaldatud leedvalgustid Nõmme turu parklas on valgusvärvsust muutnud ja need on nüüd rohelise valgusvärvsusega

Enim on Tallinnas paigaldatud Philipsi valgusteid, kõige rohkem just Philipsi Digistreet seeriat. Seda on tänavate valgustamiseks kasutatud Haabersti liiklussõlmel, Paldiski maanteel, Veskimetsa piirkonnas, Gonsiori tänaval, Pirita teel, Tartu maanteel ja Laagna teel. Tallinnas on lisaks Philipsi toodetele kasutatud ka muid leedvalgusteid nagu SBP, Siteco, Arrlux, Detas, Glamox, Trilux jne. Välisvalgustusvõrgu hooldaja vaatest ei ole vahet, millise leedvalgustiga on tegu, sest üldiselt seda remontida ei anna, varuosasid saadaval ei ole ja valgusti rikke puhul tuleb välja vahetada kogu valgusti. Valgustite maaletoojad üldiselt valgusteid laos e hoia ja seega on asendusvalgusti tarneaeg ca 6-8 nädalat. Erandiks on üldtuntud laokaup nagu näiteks Stratose ülekäigurajavalgustid, valgustite universaalsed toiteplokid ja muud tarvikud. [6]

2. MÕÕTMISTÖÖD

2.1 Valgustehnika labori mõõteseadmed ja mõõtemetoodika

Tallinna Tehnikaülikoolis asuv Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi valgustehnika labor sai akrediteeritud 11.03.2019. Valgustehnika laboris saab mõõta valgusvoogu, valgustustihedust, värelust, valguse värvsüsteemtemperatuuri ja ka muid elektrotehnilisi parameetreid. Laboris on olemas valgusallikate mõõtmise läbiviimiseks vajalikud vahendid nagu valgusvoofotomeeter, fotomeetriline kera, vastav arvutitarkvara ja toitesüsteem. Laboris saab spektroradiomeetriga mõõta ühtlaselt hajutatud valgust fotomeetrilises kera ning vastava tarkvaraga ka seda analüüsida. Labori mõõdistuste tulemustest saab erinevaid valgusallikaid ja valgusteid võrrelda nii omavahel kui ka analüüsida tootjate poolt esitatuga. [23]

2.1.1 Kasutatavad mõõteseadmed

Fotomeetrilise kerapõhimõtte töötas esmalt välja dr. W.E. Sumpner aastal 1892, kuid esimesed valgusallika mõõtmised viis läbi dr. R. Ulbricht juba 20. sajandi alguses. Valgusallikate mõõtmine toimus tol ajal visuaalse vaatluse alusel, kui võrreldi mõõdetavat valgusallikat standardiseeritud küünla valgustugevusega. Silma abil oli valgusallikate kiirguse langemisel võrdlusalale võimalik vägagi täpselt tuvastada erinevate valgusallikate valgusvoo tugevusi. Elektrotehnika- ja mehhatroonika instituudi neljandal korrusel asuvas valgustehnika laboris on kasutusel fotomeetriline kera ISD-100HF-V02 koos vastava seadmestikuga. See on mõeldud valgustustiheduse ja valgusvoo, värvierastusindeksi ja värvsüsteemtemperatuuri ja spektraaljaotuse mõõtmiseks spektroradiomeetriga BTS256- LED. [19]

Fotomeetrilise kera ehk Ulbrichti kuul koosneb üldiselt kahest poolkerast, mis omavahel hingede abil kokku käivad. Kera avanemine võimaldab valgusallikate mõõdistamist kera sees, et sel juhul oleks ligipääs mugav. Kõik valgustid- ja valgusallikad, mis kuuli ei mahu mõõdistatakse kuulist väljas, suunates valgusvoo kuuli avausest sisse. Kera sisemine diameeter on 1 meeter, kuid kera sees tasub mõõta vaid valgusallikaid. Valgusteid sinna sisse paigaldada ei ole mõistlik peamiselt seetõttu, et valgustite korpustel on suur neeldumistegur ning et valgustid võivad kera ideaalselt puhast ja valget sisemist pinda rikkuda. Valgusallikate kinnitamiseks on Ulbrichti kuulil spetsiaalsed soklid, mis aitavad mõõdistada standardse sokliga valgusallikaid kera sees. Valgustite paigaldamisel kuuli ava ette on spetsiaalsed konsoolid, mille külge kinnitatakse valgusti. Valgusti kinnitamise järel tuleb veenduda, et see mõõdistuste ajal oma koha pealt ära ei liigu. Foto Ulbrichti kuulist koos sinna kinnitatud valgusallikaga on välja toodud joonisel 2.1. Ava, mida mõõdistamisel kasutati on joonisel 2.1 parempoolse poolkera keskel. [18]



Joonis 2.1. Ulbrichti kuul valgusallikaga

2.1.2 Töökeskkond ja ohutus

Kõik töövahendid ja seadmed, kaasa arvatud ka töökoht ise peab tervisekahjustuste riski vältimiseks olema tööohutuse, tervishoiu ja olmetingimuste seisukohast nõuetekohane ning vastama määrustele. Igal seadmel on oma kasutusjuhend, millega eelnevalt tutvuda tuleks. Kasutusjuhendis on ära märgitud ka ohtude vähendamiseks kasutatavad tegurid, mida kindlasti tuleks järgida. Näiteks arvutiga töötades tuleb järgida *Kuvariga töötamise tervishoiu ja tööohutuse juhendit*. Mõõtmistega tegelev personal peab juhinduma *Elektrimõõtetööde üldnõuded* välja toodud elektri ohutunõutest aga ka mõõtevahendite kasutamise ohutusjuhenditest. Õnnetusjuhtumi ennetamiseks tuleb esmalt läbi töötada kasutus- ja ohutusjuhendid ning õnnetusjuhtumi korral pöörduda vastava asutuse esmaabi juhendist või esmaabi andva personali töötaja poole. [20]

Tallinna Tehnikaülikooli valgustehnika laboris võib tekkida olukord, mille käigus on oht kahjustada tervist. Kõige suurem risk on kahjustada oma silmanägemist, kui liigne valgus paistab silma ning taolised kahjustused võivad olla pöördumatud. Lisaks on oht vigastada end valgustite monteerimise ja demonteerimise käigus ja valgusallika vahetamise käigus. Valgustite lahti võtmisel ja komponentide hooldusel või vahetusel tuleb kanda isikukaitsevahendeid nagu kaitseprillid ja kindad. Valgustite töötamisel eraldub valgustitest, täpsemalt valgusallikast suur hulk soojust, mis soojendab ka valgusti korpust. Kahjustuste ära hoidmiseks tuleks lasta valgustil peale välja lülitamist vähemalt 5 minutit jahtuda ja kanda kaitsekindaid. Elektriohutuse tagamiseks tuleb seadmed, mille kallal töötatakse esmalt vooluvõrgust lahti ühendada ning veenduda ohutuses. [21]

Fotomeetrilise kera ja selle mõõteseadmed on väga õrnad ning ei talu karmi käitlemist, katsumist ega ka puhastamist. Eriti hoolas tuleb olla fotomeetrilise kera sisepinnaga ning kera luukide eemaldamisel, sest värvikahjustused kera sisepinnal või luugil mõjutavad oluliselt mõõtetulemusi ning kahjustused ei ole taastatavad. Kera sisepinna lähedal ning valgustite paigaldamisel kera ligidal tuleb olla äärmiselt ettevaatlik, et mitte kahjustada ega määrada kera ega mõõteseadmeid. Töötamisel on mõistlik kanda puhtaid valget värvi kindaid, et kogemata sisepinna vastu minnes ei määrdu pinnad koheselt. Fotomeetrilise kera ümbrus ja ka mõõdistatavad seadmed peavad olema tolmupuhtad ning alati enne mõõdistusi tuleks kera sisepind surveõhuga üle puhastada. Laboris tuleb tagada nõuetekohane temperatuur ja õhuniiskus. Enne mõõdistuse teostamist tuleb kera pooled omavahel sulgeda ning igaks juhuks ka turvapoldiga kinnitada, et mõõdistuste ajal kera ei avaneks. Naatriumvalgustite mõõdistuste ajal on mõistlik kontrollida ka valgustite temperatuuri kera lähedal veendudes, et see ei ole kera jaoks liiga kõrge ning et kera ei saaks väliste tegurite mõjul kahjustada. [18]

2.1.3 Mõõtemetoodika

Valgustehnika laboris tehtavate mõõdistuste eesmärk on viia läbi valgustite optiliste ja elektrotehniliste parameetrite mõõdistamine ning analüüsida mõõtetulemusi. Enne mõõdistuste teostamist tuleb komplekteerida mõõdistatavad seadmed, kontrollida valgustite töökorda ning need vajadusel tagada toitekaablid ja valgusallikad. Peale valgustite kontrollimist tuleb veelkord veenduda töökeskkonna ohutuses, seadmete omavahelises ühilduvuses. Seejärel tuleks puhastada seadmed, et need fotomeetrilisele kuulile kahjustusi ei teeks, valmistada ette töökoht ning toiteallikas.

Mõõdistamine algab spektroradiomeetri Gigahertz- Optic BTS256-LED (joonisel 2.2) kinnitamisega kera seinale spetsiaalsesse avausse. Seejärel tuleb sisse lülitada kuulis olev valgusallikas, mis paigaldatakse mõõdistuste tegemiseks kera külge ning siis tuleb kõik avad sulgeda ning teostada kalibreerimine. Peale kalibreerimist tuleb kuuli küljel olev ava lahti teha ning paigaldada ava ette valgusti, mille järel saab leida korrektsioonitegur. Selle leidmiseks tuleb võrrelda abilambi valgusvoo väärtusi kera avause ette paigaldatud valgustiga ning ilma selleta. Seejärel teeb tarkvara vastavad arvutused ning saadud korrektsioonitegurit on juba tulevastes mõõtmistulemustes sisse arvestatud.

Jooniselt 2.3 on näha, et valgusvoofotomeetrilise kera 25,4 cm mõõteava võimaldas mõõta vaid otse suunatud valgusvoogu. Mõõtmised said teostatud kõigil valgustitel sarnaselt ja rakendades ühesugust mõõtemetoodikat, et mõõtmistulemused võimaldaks teostada võrdlusi. Samade

mõõtetega kõrgrõhu naatriumvalgustite kaitseklaas oli mõõteavast suurem kuid valgustite reflektorist suunatav valgusvoog võrdsesse ruuminurka registreeriti kõikidel valgustitel ning mõõtetulemusi sai omavahel võrrelda. Rakendades Gigahertz-Optik tarkvaraprogrammi teostati mõõtmised sisse lülitamisest kuni valgusvoo stabiliseerumiseni ning korduvatele mõõtmistele tuginevalt valiti kõigil valgustitel mõõteajaks kuni 600 sekundit. Valgustite elektrilised parameetrid registreeriti Voltcraft Energy Logger 4000 abil. Andmed (nimivool, võimsus ja võimsustegur) registreeriti kõigi valgustite mõõtmisel ning andmed on kokkuvõtvalt esitatud tabelis 2.2 ja tabelis 2.3; käivitusmomendil, 300 ja 600 sekundi möödudes [18]



Joonis 2.2. Gigahertz- Optik BTS256-LED [27]

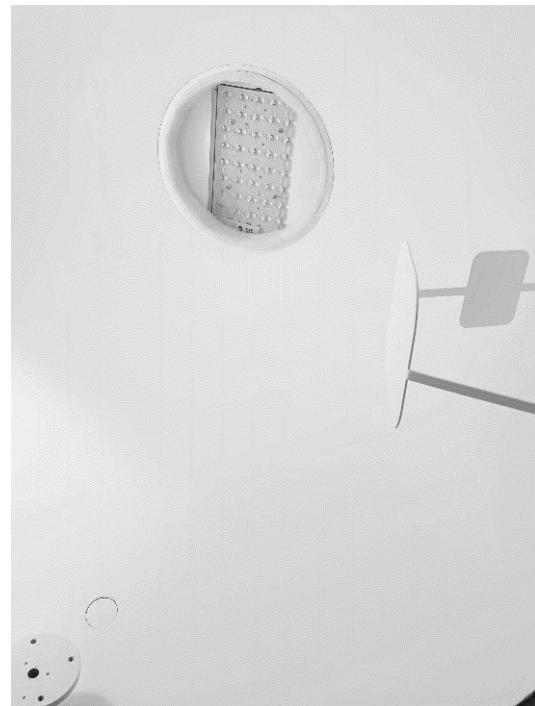


Joonis 2.3. Valgusti Myra reflektor ja klaas olid fotomeetrilise kuuli ava jaoks liiga suured ja seetõttu läks osa valgusvoost kaduma

Lisaks naatriumvalgustitele mõõdistati ka leedvalgustit Philips Digistreet BGP760. Valgusti valgusvoo ja teiste valgustehniliste parameetrite mõõtmiseks oli vaja rakendada kõrgrõhunaatrium valgustite mõõtmistega sarnast valgusti paigaldust ja sarnast suunatud valgusvoo mõõtmist. Arvestada tuli valgusti mõõtmetega (pikk korpus ning valgusti optilise osa mõõtmed) Valdavalt kasutatakse valgustite valgusallikate paigaldamiseks valgusvoofotomeetrilisse kerasse erikonstruktiivset konsooli või statiivi. Kasutatud rakendusnäide on esitatud joonisel 2.4. Valgusti optika suunamisel mõõteseadmesse kasutatud viis on kirjeldatud joonisel 2.5.



Joonis 2.4. Valgustite kinnitamiseks vajalik reguleeritav staativ



Joonis 2.5. Valgusti läätse paiknemine Ulbrichti kuuli välise ava suhtes

2.1.4 Mõõtemääramatuse hindamine

Mõõtemääramatusega arvestamine on oluline kõikide mõõtetulemuste teostamisel nii laboris kui ka tänaval mõõtmistöid läbi viies. Tulemuste analüüsimisel arvestatakse, et kõik tulemused ei ole täiesti täpsed ning esinev teatud määral viga, mis tekivad näiteks mõõteaparaadist, mõõtjast või mõõdetavast objektist ja keskkonnast tingituna. Käesoleva lõputöö mõõtmistulemuste puhul arvestatakse, et mõõtevahendi näidud omavad teatud piirides mõõtehälbeid, mis tulemusi alati mõjutavad. Lisaks tuleb tulemuste analüüsil alati meeles pidada ja arvestada tulemuste liit- ja laiendmääramatuse hindamist. Käesolevas töös on lähtutud, et mõõtmistulemus sisaldab mõõtevahendi, mõõtja, keskkonna, ülesseade ja mõõteobjekti määramatuse ühe liitmääramatusena, mis on väljastatud kui protsent mõõtetulemusest. Mõõdetud tulemuste liitmääramatuse komponendiväärtus on eelnevate mõõtmistulemuste ning ka mõõtja kogemustest tulenevalt laboris tehtud mõõdistuse puhul 9,7% ning tänaval teostatud mõõdistuste korral 14,6%.

Mõõtmistulemuste tabelites mõõtemääramatuse eraldi välja toodud ei ole, sest tulemusi kasutatakse vaid üksteisega võrdlemiseks. Sellisel juhul ei ole määramatuse protsent oluline, sest see on kõikidel juhtudel samasugune. Mõõtemääramatusega tuleks aga arvestada siis, kui on soov mõni mõõtetulemus kontekstist välja tuua ning eraldi esitleda. Antud töö puhul on see aga ilma autori nõusolekuta keelatud ning kui on soov mõnda mõõtmistulemust eraldi avaldada ja esitleda, tuleks selle kohta koostada eraldi mõõtmiste protokoll. Antud töös teostatud mõõtmistulemused on mõeldud vaid käesoleva töö jaoks ning nende põhjal ei ole lubatud käesoleva tööga mitte seotud järeldusi luua.

2.2 Valgustite mõõdistamine TalTechi valgustehnika laboris

Valgusti Myra tehniliste parameetrite mõõtetulemused fikseeriti 04.04.2019. Tallinna Tehnikaülikooli valgustehnika laboris juhendaja ja autori koostööl. Kokku teostati 7 mõõdistust, kus kontrolliti kasutatud valgusteid kasutatud valgusallikaga, kasutatud valgusteid uue valgusallikaga ning uus valgusteid uue valgusallikaga. Kõiki mõõdistuste teostati nii 70 W kui 100 W valgusti kohta ning lisaks mõõdistati ka sarnastel välisvalgustuse objektidel asenduseks kasutatavat leedvalgustit. Lisaks mõõtmistulemustele on iga valgusti mõõdistuse kohta ka kaks fotot, millest üks kirjeldab graafiliselt valgusvoo muutumist ajas ja teine valgusti spektraaljaotust.

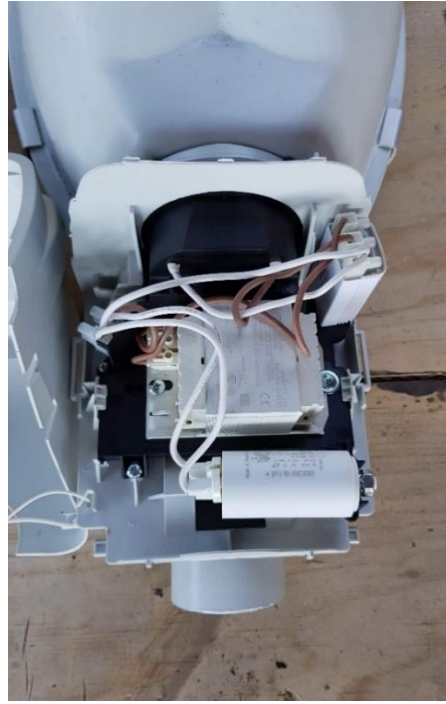
Antud töös mõõtmiseks kasutatud valgustid on Tallinnas üheks enim kasutatud valgustiteks ning neid paigaldatakse juurde tänaseni. Samuti on valgusti ja selle varuosad kauplustes vabalt saadaval. Valgusti mõõtmine on näidatud joonisel 2.2. Esmalt mõõdistatakse naatriumvalgustid, mida oli kokku neli. Kõik neli olid ühesugust marki kõrgsurve- naatriumvalgusallikaga valgustid SBP MYRA 12/V , mille tootelehe leiab lisast 1. Valgustid oli kahe erineva võimsusega- 70 W ja 100 W. Mõlemast võimsusest oli üks valgusti kasutatud ja teine uus. Samuti olid komplektis ka mõlema võimsuse kohta üks kasutatud valgusallikas ja kaks uut valgusallikat.

2.2.1 Kõrgrõhu-naatrium valgusti SBP Myra 12/V

Valgusti mõõdistamiseks oli tarvis paigaldada kõikidele valgustitele toitekaablid, valgusallikad ja konsooli kinnitused. Selgus, et antud valgustil on valgusallika vahetamine lihtsasti teostatav, sest valgusti klaas eemaldub kolme klambri avamisel, mida on näha ka joonisel 2.6. Samuti selgus, et antud valgusti kinnitamiseks konsoolile tuleb igal juhul paigaldada valgusti konsooli kinnitus. Konsooli kinnitus tuleb valgusti tellimisel komplekselt kaasa koos kinnituspoltidega, kuid konsooli kinnituse paigaldamiseks on vaja lahti võtta kogu valgusti. Esmalt tuli eemaldada valgusallikas ja kolme kruviga kinnitatud reflektor (joonisel 2.6), seejärel valgusallika sokkel koos valgusti korpusega. Edasi tuli eemaldada valgusti ballast, starter, ja plastikust sisu (joonisel 2.7), et ligi pääseda selle all oleva konsooli kinnituse reguleerimiskruvile, millega konsooli kinnitus valgusti külge kruvida.



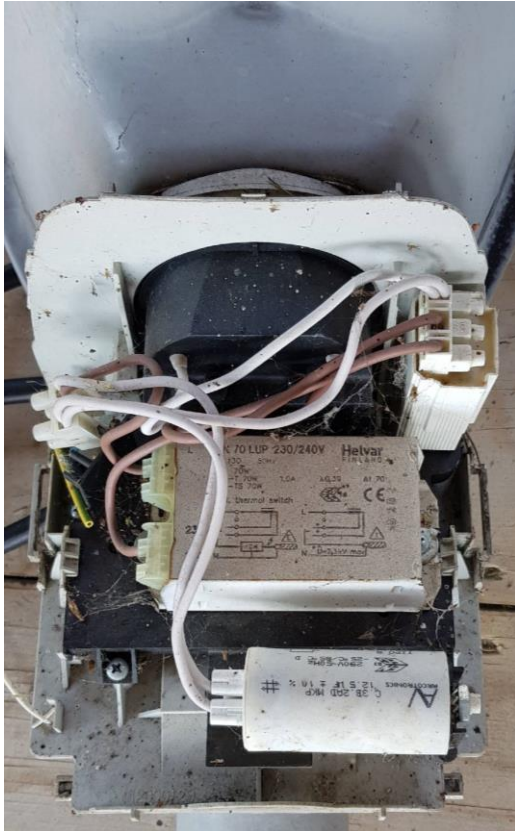
Joonis 2.6. Valgusti Myra valgusallikas, reflektor, valgusallika sokkel ja selle tihend



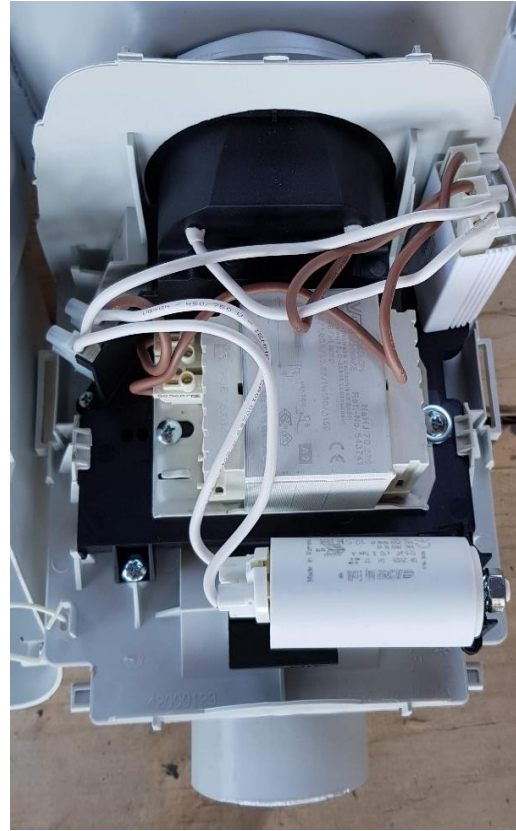
Joonis 2.7. Valgusti Myra ballast (keskel) ja starter (all paremal)

Valgustit ilma konsooli kinnitusega paigaldada ei saa ja seega tuleb monteerijal enne valgusti paigaldamist see peaaegu algsadeks lahti võtta. Antud protsessi peab valgusti paigaldamisel tegema igal juhul ja seega jääb arusaamatuks, miks antud valgusti juba tehases konsooli kinnitusega ei tule. Koos valgusti lahti võtmise, konsooli kinnituse paigaldamise, valgusallika paigaldamise, valgusti kokku panemise, konsooli kinnituse reguleerimise ning valgusti toitekaabli paigaldamisega kulub iga valgusti peale ca 15 minutit. Samas võib tekkida olukordi, kus seda peab tegema näiteks vihmasajus või suure külmaga, mis omakorda võib tekitada valgusti sisse niiskuse või valgusti pannakse valesti kokku, mis võib oluliselt lühendada selle eluiga.

Möödistatava valgusti kaal on ca 7 kg, millest üle poole moodustab drossel. Valgusti korpus ja selle kinnitused on plastikust või plekist, et valgusti kaal oleks võimalikult madal ning et vältida komponentide korrodeerumist. Samas on valgusti kaas plastikust ning selle kinnitus ei taga valgusti niiskuskindlat kinnitusviisi, kuid hoiab ära pritsmete sattumise elektroonikakomponentidele. Kõik kaablite ühendused jms võib ajapikku korrodeeruda nagu oli ka näha kasutatud valgusti näitel. Joonistel 2.8 ja 2.9 on võrdluses kasutatud ning uue valgusti elektroonikakomponendid ning joonisel 2.10 on näha uue ja kasutatud valgusti vahe välimuses. Valgusti klaasi puhul ei täheldatud, et kasutatud valgusti klaas oleks saanud väliskeskkonna tõttu kahjustada.



Joonis 2.8. Kasutatud valgusti Myra elektroonikakomponendid



Joonis 2.9. Kasutamata valgusti Myra elektroonikakomponendid



Joonis 2.10. Kasutatud ja uue valgusti korpused on täpselt sama disainiga

Üldiselt ei olnud kasutatud valgusti väliskeskkonna poolt suuremaid kahjustusi saanud. Enne valgustite mõõdistusi oli seatud hüpotees, et kasutatud valgusti puhul on stardivool ca 1,4 korda kõrgem kui töövool, valgusti võimsus on oluliselt suurem kui samaväärse uue valgusti puhul. Hüpotees valgusallika kohta oli, et selle valgusvoog oluliselt väiksem kui uue valgusallika oma ning on oluliselt madalam kui tootja poolt lubatud.

Peale kasutatud valgusallikaga mõõdistamist teostati valgustile täishooldus, mille käigus vana valgusallikas tuli välja vahetada uue samaväärse vastu, valgusti klaas tuli eemaldada ning reflektor ja klaas niiske rätiga puhastada, seejärel kuivatada ning uuesti kokku panna. Hüpotees oli, et uue valgusallika paigaldamisel valgusti nimivõimsus väheneb oluliselt ning väljuv valgusvoog tõuseb. Valgusti normaaltöitingimuste saavutamine ei nõua enam lisa-aega ning mõõdistamist saab alustada alates valgusti tööle panemisest.

Peale kasutatud valgustiga mõõdistuste teostamist tuli valgusti välja vahetada uue vastu. Uuele valgustile tuli paigaldada ka samasugune uus valgusallikas nagu kasutatud valgusti puhul ning sooritada taas mõõdistused. Hüpotees oli, et uue valgusti võimsus on oluliselt väiksem kui kasutatud valgusti puhul ning uue valgusti stardivool ei ole oluliselt suurem töövoolest ja valgusti nimivõimsus on ligilähedane valgusallika nimivõimsusele. Uue valgusti valgusvoog peaks olema oluliselt suurem kui kasutatud valgustil ning olema vähemalt 80% tootja poolt märgitud valgusvoost.

Tabelis 2.1 on toodud 70- W SBP Myra 12 valgusti mõõdistamise elektrotehnilised tulemused, mõõdistatavateks parameetriteks olid 600 sekundi jooksul vool, nimivõimsus ja võimsustegur. Mõõtetulemustest selgub, et oodatult on kõige suurema stardi- ja töövooluga valgusti kasutatud valgusti kasutatud valgusallikaga. Kõige väiksemad on antud näitajad aga uute komponentide puhul, kui stardivool väheneb 6% ja töövool lausa 13%. Stardihetkel on valgusti võimsus ca 2 korda väiksem kui normaalolukorras seetõttu, et valgusallikas ei tööta normaalingimustel ja starteri ja ballasti nimivõimsus stardihetkel on väike. Suurem vool ja madalam võimsus tähendab seda, et ballast suurendab valgusallika süütamiseks pinget ca 4,5 kV. Stardihetke võimsustegur on ca kolm korda madalam kui normaaltöitingimustel olenemata valgusti vanusest, kuid normaaltöitingimuste saavutamine võitab kõige rohkem aega kasutatud valgusti- ja valgusallika puhul.

Mõõtmistulemustest selgus, et tootelehel märgitud kui 70 W valgusti tegelik võimsus on kasutatud valgusti- ja valgusallika puhul rohkem kui 43% kõrgem. Uue valgusallika paigaldamisel on nimivõimsus valgusti nimivõimsusest 41% kõrgem. Uue valgusti- ja valgusallika puhul on valgusti

nimivõimsus lubatust suurem ca 33% ja seega saab väita, et kasutatud valgusti valgusallika vahetamisel märgatavat säästu saavutada ei ole võimalik, kuid kui paigaldada kasutatud valgusti asemel uus valgusti ja vahetada sellel ka valgusallikas, siis on energiasääst ca 10%. Sellised erinevused mõjutavad enim energiaarvestus arvutusi ning tarbimise prognoose valgustite inventuuritabeli järgi. Tarbimise arvestamise juures tuleks kindlasti arvestada ka sisse- ja väljalülitamisega seotud lisakuludega.

Tabel 2.1. SBP Myra 12 70 W valgusti mõõtmistulemused

Myra 70		Kasutatud valgusti			Kasutatud valgusti			Uus valgusti		
Väärtus	Ühik	Kasutatud valgusallikas			Uus valgusallikas			Uus valgusallikas		
t	s	0	300	600	0	300	600	0	300	600
l	A	0,50	0,46	0,45	0,42	0,42	0,42	0,47	0,40	0,39
P	W	44,2	98,2	100,2	43,2	92,2	98,7	42,2	92,9	93,1
cos φ		0,36	0,88	0,92	0,93	0,93	0,93	0,38	0,92	0,92

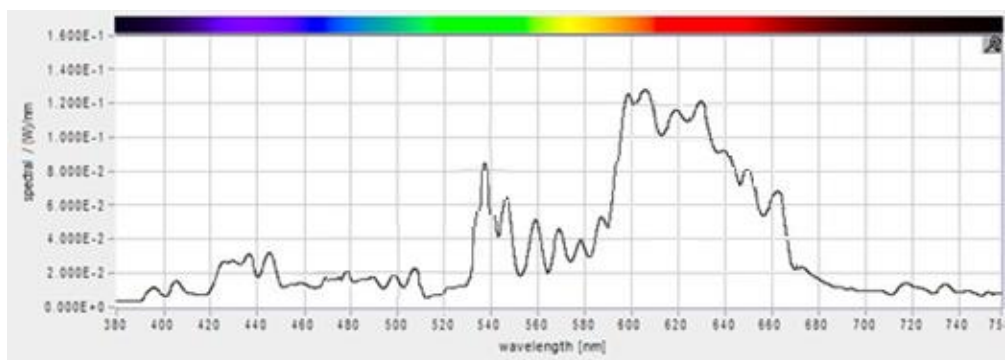
Joonistel 2.11, 2.12 ja 2.13 on välja toodud laboris mõõdetud 70 W Myra valgusti spektraaljaotusdiagramm. Kõrgrõhu-naatrium valgusallikale on kiirgavast energiast suurim osa suunatud spektri kollakasele ja oranžile alale, mida on näha ka jooniselt 2.11. Jooniste 2.12 ja 2.13 põhjal saab väita, et paigaldatud valgusallikas ei ole kõrgrõhu-naatrium valgusallikas, vaid peaks olema midagi muud. Uue valgusallikana paigaldati valgustisse OSRAM-i 70 W 4Y Powerball valgusallikas, mis ongi tegelikult metallhalogeniid lamp.

Täishoolduste käigus peab ära vahetama kõik vanad valgusallikad uute samaväärsete vastu, kuid ei ole kirjas, et peaks asemele paigaldama kõrgrõhu-naatrium valgusallika. Seega on tekkinud olukord, kus hoolduse teostaja saab ise valida, millist valgusallikat kasutada. Antud juhul kasutati valgusallikat, mis on omadustelt nagu eluiga, valgusvärvsus, värvierastusindeks oluliselt parem kui tavaline kõrgrõhu-naatrium valgusallikas. Joonistelt 2.12 ja 2.13 on näha, et antud valgusti rõhutab rohkem külmadele toonidele, sh roheline ja kollane. Antud valgusallika eluiga on 15 000 tundi, mis tähendab, et seda peaks vahetama Tallinna tänavavalgustusvõrgus iga 4 aasta tagant, kuid lepingujärgse täishooldusgraafiku järgi peab valgusallikaid vahetama iga 5 aasta jooksul korra.

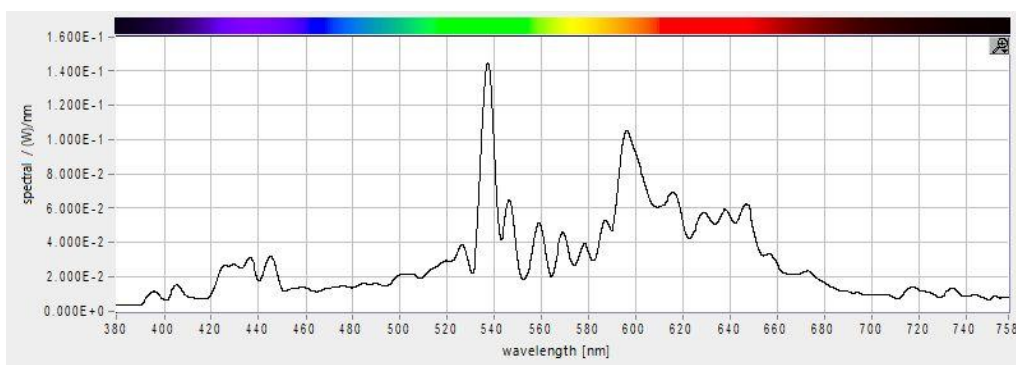
Joonistelt 2.12 ja 2.13 on näha, et uue valgusallikaid kasutades ei ole vahet, kas valgusti on uue või juba kasutatud. Joonistelt 2.15 ja 2.16 on näha, et uue valgusti puhul on valgusvoog ca 3400 lm, kasutatud valgusti ja uue valgusallika puhul aga ca 3000 lm. Samas on graafikuid 2.14 ja 2.15 näha,

et vana valgusallika vahetamisel uue vastu suureneb valgusvoog 2500 lm- 3000 lm. Myra 70 W valgusti puhul oli 70 W valgusallikaks valitud Osram Powerballi valgusti lubatud valgusvoog oli 7000 lm, mis teeb valgusviljakuseks ca 100 lm/ W ning antud valgusallika valgustemperatuur oli 3100 K. Tootja on märkinud, et antud valgusallika eluiga on 15 000 h ning selle juures on eluea lõppedes valgusallika valgusvoost alles vähemalt 80%. Uue valgusallika puhul ei ole mõeldav saavutada tootja poolt lubatud 100 lm/ W, sest mõõdistatavaks objektiks oli valgusti, mitte valgusallikas. See tähendab, et mõõtmistulemustes on rohkem kadusid nagu näiteks valgusti klaasi mustumine ning nagu oli näha ka jooniselt 2.3, ei olnud võimalik kogu valgusvoogu kuuli avast sisse suunata. Mõõdistatud valgustite valgusviljakuseks η kujunes mõõtmistulemuse põhjal kasutatud valgusti ja valgusallika puhul $\eta=2358/100,2= 23,5$ lm/ W, uue valgusallikaja kasutatud valgusti puhul $\eta= 3064/ 98,7= 31$ lm/ W ning uue valgusti ja uue valgusallika puhul kujunes valgusviljakuseks $\eta= 3416/ 93,1= 36,7$ lm/ W. Kõik valgusvoo ja valgusviljakuse mõõtmistulemused ja nende võrdlused on välja toodud tabelis 2.17.

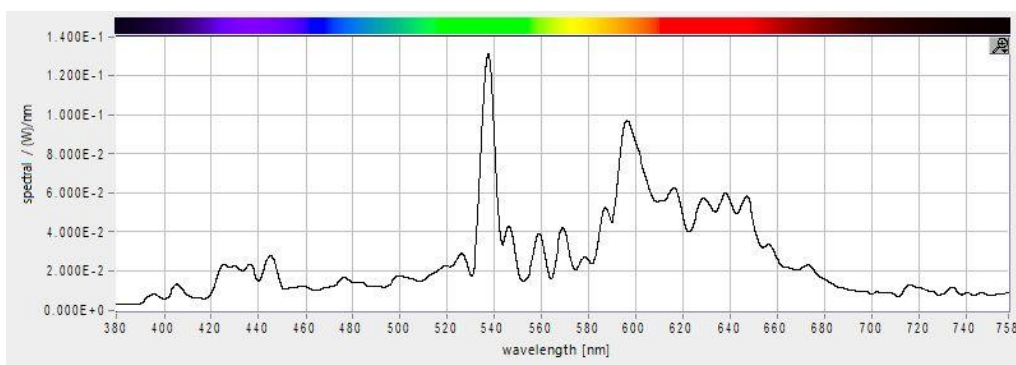
Joonistel 2.14, 2.15 ja 2.16 on välja toodud valgusti valgusvoo sõltuvus ajast. Valgusti valgusvoogu ei ole võimalik tõendatavalt määratleda, sest see sõltub väga paljudest teguritest nagu pinge kvaliteet, starteri, drosseli ja muude elektroonikakomponentide korrasolek, valgusti klaasi sise- ja välispinna mustuse ja muu kuumakahjustuste hulk, valgusallika kvartsklaasi mustust ja kvaliteet jne. Valgusallika valikul on üks olulisemaid näitajaid valgusallika valgusvoo hulk ja täpsemalt valgusvoo hulk ühe vatti kohta ehk valgusviljakus. See annab kõige parema ülevaate valgusallika kvaliteedist ning väljuva valguse hulgast, sest mida kõrgem on valgusallika valgusviljakus, seda intensiivsemalt see valgusvoogu kiirgab. Võrreldes omavahel jooniseid 2.14 ja 2.15 on näha, et valgusallika asendamisel kulub valgusti normaaltööttingimusteni jõudmiseks kaks korda vähem aega.



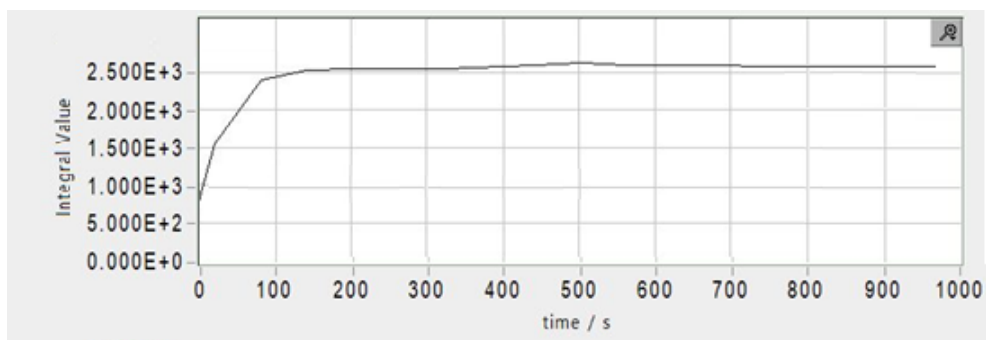
Joonis 2.11 Myra 70 W valgusti spektraaljaotusdiagramm- kasutatud valgusti ja valgusallikas



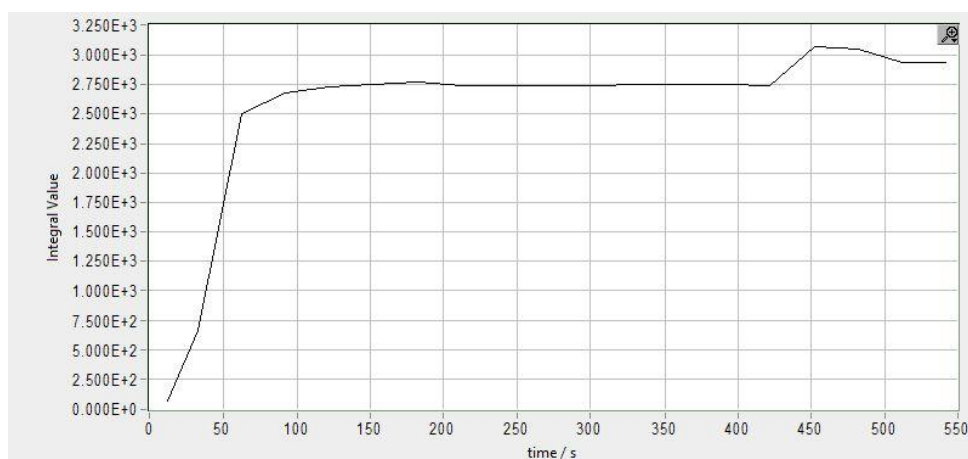
Joonis 2.12 Myra 70 W valgusti spektraaljaotusdiagramm- kasutatud valgusti, uus valgusallikas



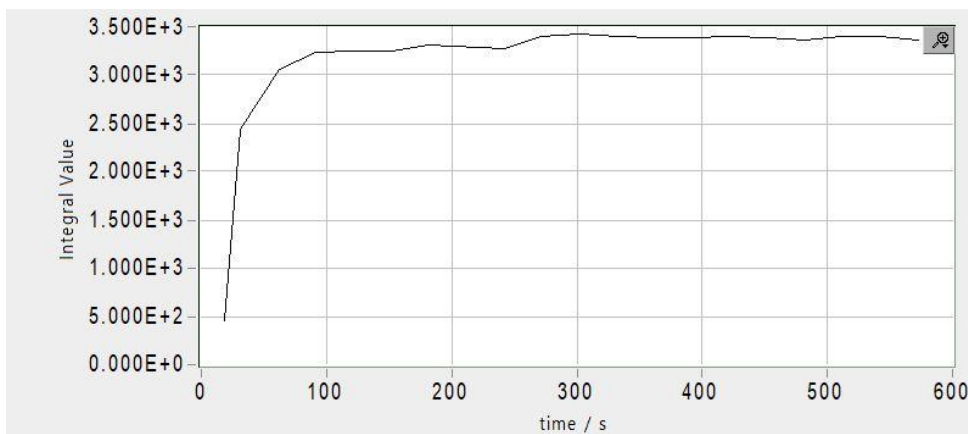
Joonis 2.13 Myra 70 W valgusti spektraaljaotusdiagramm- uus valgusti ja valgusallikas



Joonis 2.14. Myra 70 W valgusvoog- kasutatud valgusti, kasutatud valgusallikas



Joonis 2.15. Myra 70 W valgusvoog- kasutatud valgusti, uus valgusallikas



Joonis 2.16. Myra 70 W valgusvoog- uus valgusti, uus valgusallikas

Peale 70 W valgusti mõõdistamist tuli sama protsessi korrata 100 W valgustiga. Tabelis 2.2 on välja toodud SBP Myra 100 W valgusti mõõtmistulemused kasutatud ja uue valgusti kohta. Joonistel 2.17-2.22 on kujutatud 100 W valgusti spektraaljaotusdiagramm ja valgusvoo muutumist ajas. Kasutatud valgustile oli paigaldatud uueks valgusallikaks Orbitechi 100 W kõrgrõhu-naatrium valgusallikas, mille spektraaljaotusdiagramm on toodud joonisel 2.17. Jooniselt on näha, et valgustis eelnevalt kasutusel olnud valgusallikat oli pikalt kasutatud ning selle tõttu on see võrrelduna joonisega 2.18, millel kujutatud uue valgusallika spektraaljaotust, on ajaga vähenenud rohekas- kollaka värvi hulk ja tugevnenud oranžid ja punased toonid. See tähendab, et kasutatud valgusti puhul on väljuv valguskiirgus rohkem oranžis alas kui uue valgusallika puhul. Joonistelt 2.18 ja 2.19 on näha, et valgusallika spektraaljaotusdiagrammi järgi ei ole vahet, kas tegu on kasutatud valgustiga või uuega ning diagramm on peaaegu identne.

Uue valgusallika kohta ei ole võimalik informatsiooni saada, sest puuduvad sertifikaadid, tooteleht ja muu vajalik. Antud valgusallika puhul ei olnud võimalik tuvastada, et kust see valgusallikas pärineb. Eeldatavasti ei ole see ostetud Eesti poest, sest puudub vajaminev dokumentatsioon ning näiteks ka eestikeelne informatsioon pakendil. Pakendilt loetava info kohaselt on tegemist kõrgrõhu-naatrium valgusallikaga, mida kinnitavad ka mõõtmistulemused. Tootja poolt lubatav eluiga on vaid 1000 tundi, seega tuleks antud valgusallikat vahetada neli korda aastas. Tootja lubab valgusvärvsuse temperatuuriks 2000 K, mida kinnitab ka mõõtmistulemus (2040 K). Kasutatud valgusallika valgusvärvsuse temperatuur oli seejuures 1957 K. Kusjuures 70 W valgusti kasutatud valgusallika valgusvärvsuse temperatuuriks oli vaid 1788 K ning uue valgusallika temperatuuriks oli 3080 K.

Paigaldatud valgusallika tootjapoolsete andmete põhjal on valgusallika valgusvoog 10 000 lm 100 W kohta, ehk 100 lm/ W. Nagu eelnevalt mainitud, siis mõõdistatud valgusti valgusvoog on juba eelnevalt loetud põhjustel tunduvalt madalam. Mõõtmistulemustest, mis on kajastatud ka joonistel 2.20- 2.22 selgus, et kasutatud valgusti- ja valgusallika puhul oli mõõdistatud valgusvoo suurus 4100 lm ja seega antud valgusti- ja valgusallika puhul oli mõõdistatud valgusviljakus $\eta = 4100 / 127,8 = 32,1$ lm/ W. Kasutatud valgusti ning uue valgusallika puhul oli mõõdistatud valgusvoog 4147 lm ja seega on valgusviljakus $\eta = 4147 / 127,7 = 32,5$ lm/ W. Uue valgusti- ja valgusallika puhul oli maksimaalne mõõdistatud valgusvoog 4604,5 lm ja seega kujunes valgusviljakus $\eta = 4604,5 / 118,1 = 39,0$ lm/W. Kõik valgusvoo ja valgusviljakuse mõõtmistulemused ja nende võrdlused on välja toodud tabelis 2.17.

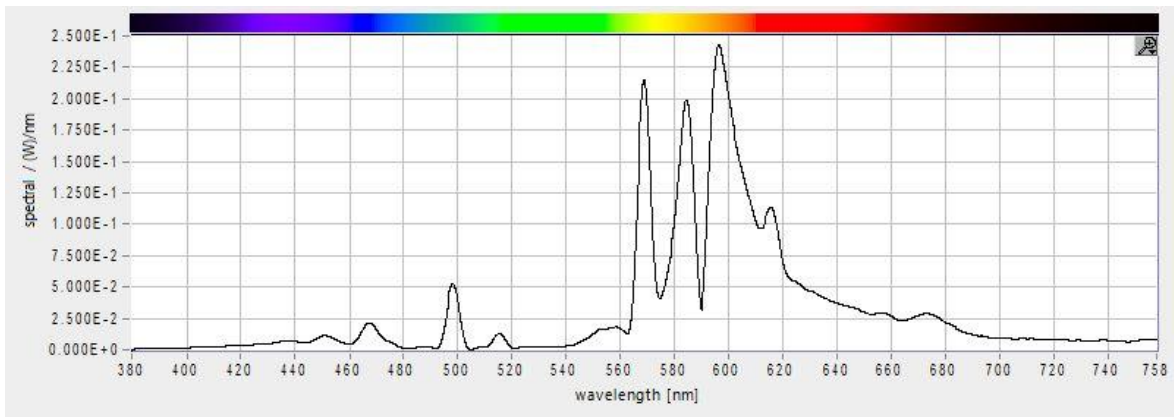
100 W valgusti puhul valgusallika vahetamine kasutatud valgustis loodetud efekti ei anna ja valgusviljakus püsib peaaegu muutumatuna. Uue valgusti paigaldamisel tõuseb valgusviljakus

võrreldes kasutatud valgustiga ca 20%. Samuti selgus tulemustest, et kui 100 W kasutatud valgusti- ja valgusallika puhul läheb normaaltöötingimuste saavutamiseks üle 200 sekundi, siis uue valgusti puhul saavutati sama valgusvoog ca kaks korda kiiremini. Jooniselt 2.21 on näha, et mõõtmistulemused uue valgusallikaga kasutatud valgusti puhul valgusvoo muutus ajas on hüppeline ning see võib olla põhjustatud halbadest sokli kontaktidest või kehvasti fikseeritud valgusti kinnitusest, mistõttu valgusti mõõdistuste ajal veidi liikus, mis muutis graafiku hüppeliseks.

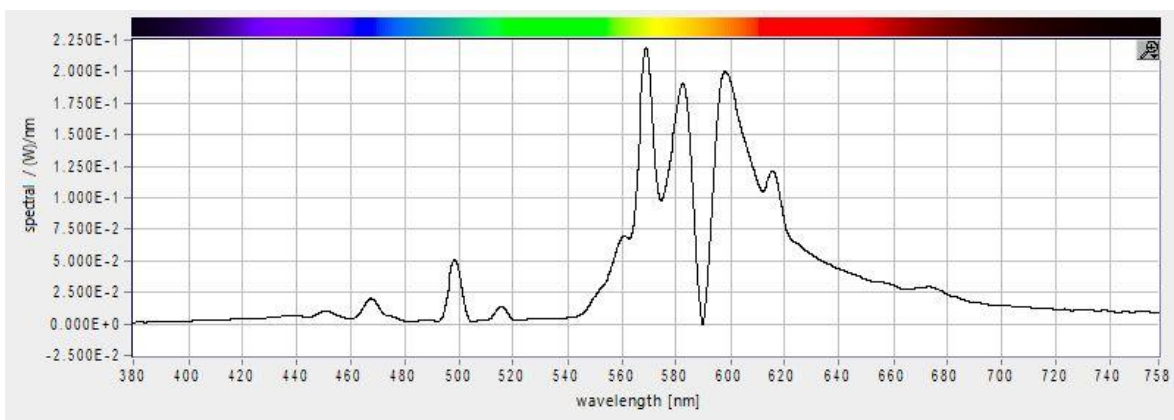
Tabelis 2.2. on välja toodud Myra 100 W valgusti elektrotehnilised mõõtetulemused. Mõõdistati valgusti poolt tarbitavat voolu, valgusti nimivõimsust ja võimustegurit 10 minuti, ehk 600 sekundi jooksul kolm korda. Mõõdistuste puhul olid hüpoteesid täpselt samad, mis 70 W valgusti puhul ning ka mõõtetulemused sarnanesid tabelis 2.1. tooduga. Tabeli 2.2. põhjal saab väita, et stardivool on kõige suurem kasutatud valgusti ja kasutatud valgusallika puhul, kõige väiksem aga uue valgusti puhul. Võimsuse mõõdistustest saab järeldada, et valgusallika vahetus valgusti võimsust ei mõjuta, kuid uue valgusti paigaldamisel on tarbitav võimsus ca 8% väiksem. Võimsustegur on kõige suurem uue valgusti- ja valgusallika puhul ning kõige madalam kasutatud valgusti ning uue valgusallika puhul. Stardihetkel on võimsustegurite erinevus veelgi suurem. Mõõtmistulemustest selgus, et 100 W valgusti puhul ei olnud kõik seatud hüpoteesid tõesed.

Tabel 2.2. SBP Myra 100 W valgusti mõõtmistulemused

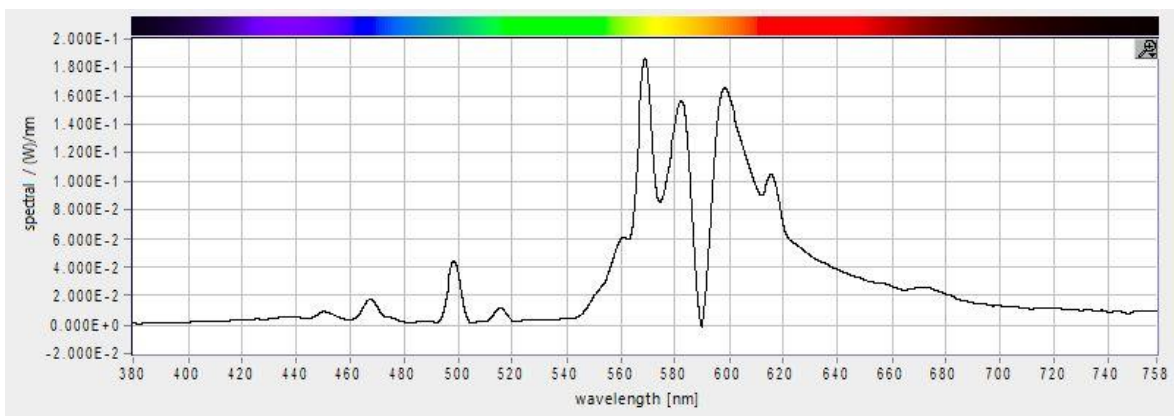
Myra 100		Kasutatud valgusti			Kasutatud valgusti			Uus valgusti		
Väärtus	Ühik	Kasutatud valgusallikas			Uus valgusallikas			Uus valgusallikas		
t	s	0	300	600	0	300	600	0	300	600
I	A	0,82	0,60	0,59	0,76	0,61	0,60	0,72	0,57	0,54
P	W	83,5	126,3	127,8	79,50	127,2	127,7	74,0	110,2	118,1
cos ϕ		0,34	0,88	0,90	0,43	0,87	0,88	0,44	0,81	0,92



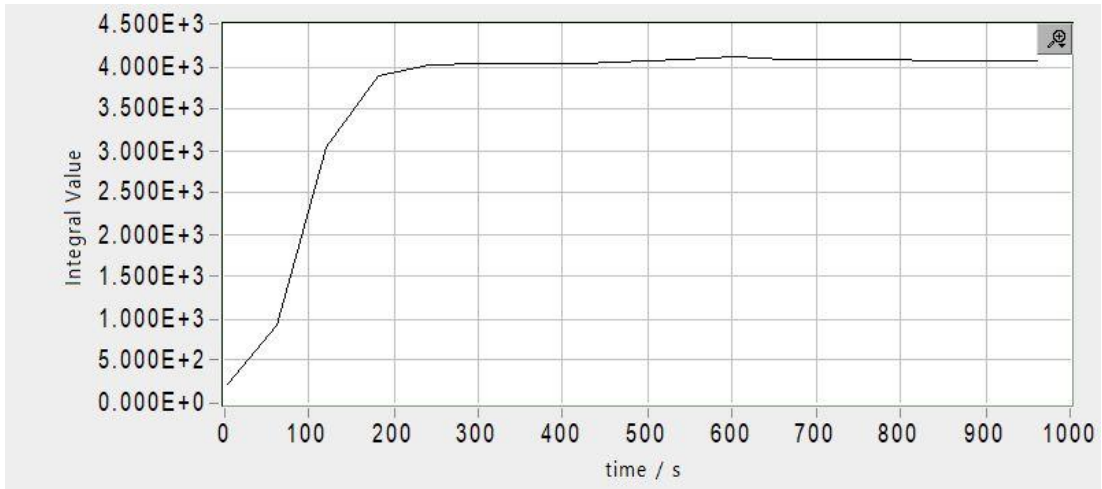
Joonis 2.17. Myra 100 W spektraaljaotusdiagramm- kasutatud valgusti, kasutatud valgusallikas



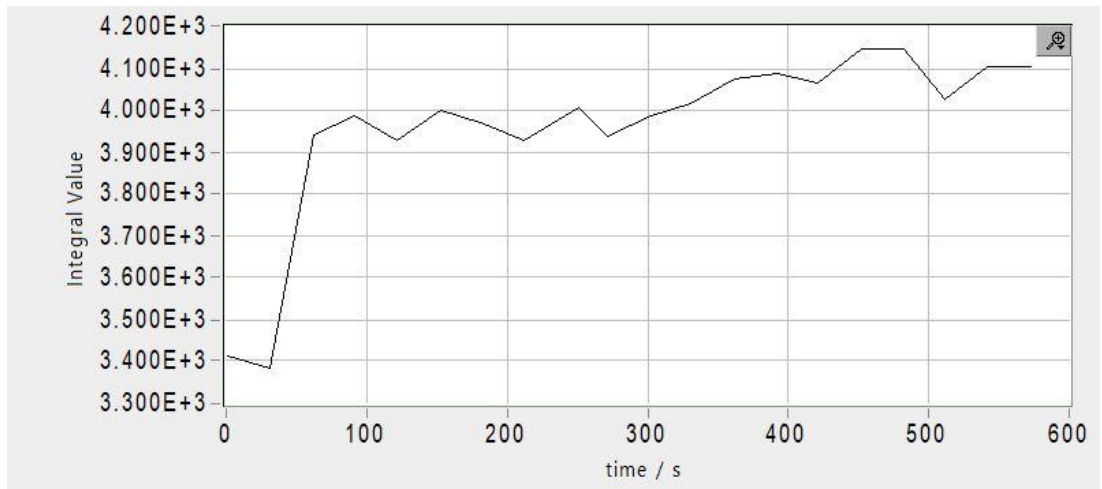
Joonis 2.18. Myra 100 W spektraaljaotusdiagramm- kasutatud valgusti, uus valgusallikas



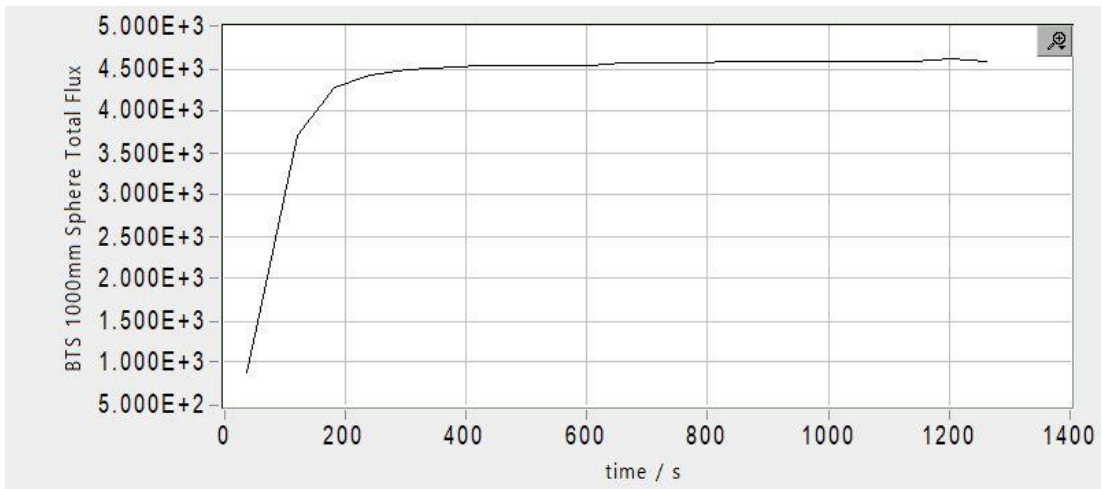
Joonis 2.19. Myra 100 W spektraaljaotusdiagramm- uus valgusti, uus valgusallikas



Joonis 2.20. Myra 100 W valgusvoog- kasutatud valgusti, kasutatud valgusallikas



Joonis 2.21. Myra 100 W valgusvoog- kasutatud valgusti, uus valgusallikas



Joonis 2.22. Myra 100 W valgusvoog- uus valgusti, uus valgusallikas

2.2.2 Leedvalgusti Philips Digistreet BGP760

Lisaks naatriumvalgustitele tuli mõõdistada ka leedvalgusti Philips Digistreet BGP760. Kuna käesolev lõputöö käsitleb eelkõige kasutatud valgusteid ja nende hooldus sh ka kasutatud leedvalgusteid, siis pidi ka mõõdistatav leedvalgusti olema kasutatud. Töös käsitletav valgusti pidi olema sama tüüpi, sama võimsuse ning valgusjaotusdiagrammiga, mis on juba Tallinnas kasutusel olev valgusti, siis osutus ülesanne oodatust keerulisemaks, kuna kasutatud leedvalgusteid põhjusega laos ei hoita. Lõputöö eesmärk oli mõõdistada laboris täpselt samasugust kasutatud valgustit, nagu valitud näidispiirkonnas, pöörduiti esmalt valgustid tarninud maaletooja poole.

Selgus, et nende täpselt samasugust valgustit laos ei ole ja see tuleks eraldi tehasest tellida. Seejärel aga leiti ühe Tallinna välisvalgustusega tegeleva ehitaja laost näidispiirkonnas oleva valgustiga väga sarnase, kasutatud Philips Digistreet BGP760 valgusti, mille ainuke erinevus oli valgusti nimivõimsuses [10]. Kui näidispiirkonna valgusti nimivõimsus oli 36,0 W, siis mõõdistatava valgusti nimivõimsus oli 37,1 W ja seega saab mõõdistatava valgusti lugeda samasuguseks näidispiirkonna omaga. [6] Labori mõõdistused toimusid 04.04.2019 ning antud valgusti fotod on toodud joonistel 2.23, kus on näidatud valgusti korpust, klaasi- ja läätse osa ning joonisel 2.24, kus on näidatud valgusti ühendusklemmid, draiver ja liigpingepiirik.

Antud leedvalgusti on valitud näidispiirkonna valgustite järgi, mis paigaldati Veskimetsa piirkonna 2018. aasta oktoobris. Varem olid sinna paigaldatud sarnased valgustid nagu eelnevalt mõõdetud Myra 70 W kõrgrõhu-naatrium valgustid. Valitud piirkonda paigaldati Philips Digistreet valgustid nelja erineva nimivõimsusega, millest üks oli ka mõõdistatud lõigul olev 36 W valgusti. Selle piirkonna valgustite vahetamise projekti käsitletakse pikemalt peatükis 3.

Philips Digistreet valgustit on võimalik samalaadse korpusega saada väga erineva suuruse- ja võimsusega. Kõigil nendel on sarnane disain ja ülesehitus, kuid erinev optika, võimsus ja seega ka valgusjaotusdiagramm. Sama valgusti erinevaid jooniseid näeb ka valgusti tootelehel, mis on lisatud allpool toodud lisas 2. Antud valgustil on lisaks diodi kaitsvale klaasile optika ees veel lisa kaitseklaas, mis tegelikult valgusti valgusvoogu vähendab ning lisab veel kaks võimalikku mustumise kihti (klaasi sise- ja väliskülge). Valgusmõõdistuste ajal selgus, et valgusti oli võimalik kuuli ava ette paigutada nii, et kogu valgusti valgusvoog jõuab kuulis oleva spektoradiomeetrini. Kuigi valgusti oli kasutatud, oli see hästi säilinud, sest klaas ei ole saanud kahjustada ega ka mustunud, mistõttu saab valgusti mõõtetulemused lugeda tõeseks kasutatud valgusti kohta. [10]



Joonis 2.23. Philips Digistreet on pikliku disainiga valgusti



Joonis 2.23. Valgusti draiver (must), liigpingepiirik (valge) ja kaabli ühendusklemmid

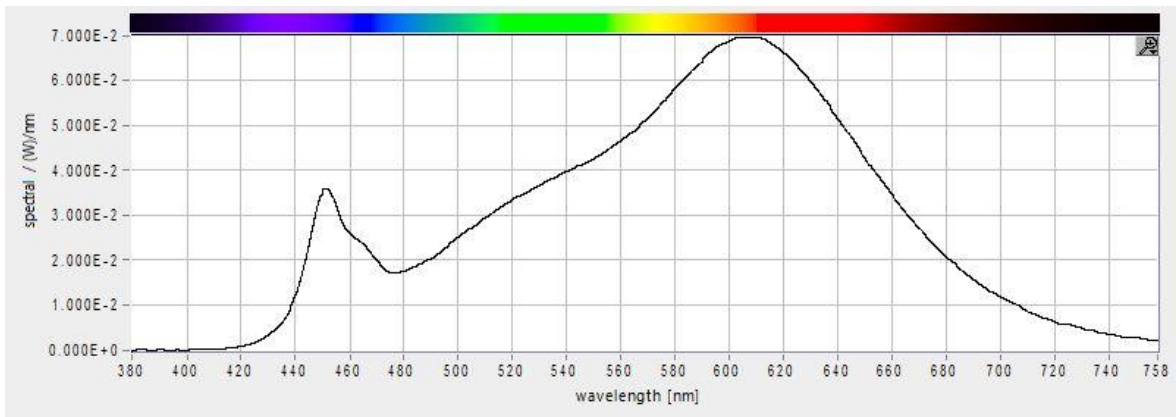
Tabelis 2.3 on toodud laboris mõõdistatud Philips Digistreet 37 W valgusti elektrotehnilised andmed, kus mõõdistatud parameetriteks oli samuti võetud 600 sekundi jooksul valgusti tarbitav vool, nimivõimsus ja võimsustegur. Hüpotees oli, et erinevalt naatriumvalgustist, antud leedvalgusti puhul stardivoolu ei ole ja tarbitav vool on ajas konstantne. Hüpotees valgusti nimivõimsuse kohta oli, et valgusti nimivõimsus on sama suur, kui tootelehel kirjas ning peale mõnda minutit langeb ca 95% peale koguvõimsusest, sest osa stardihetkel tarbitud voolust läheb komponentide soendamiseks ning seega on võimsus veidi suurem. Eeldus valgusti võimsusteguri kohta oli, et see on ajas muutumatu konstant, mis ei muutu isegi korduvalülitamistel.

Tabel 2.3. Philips Digistreet 37 W valgusti mõõtmistulemused

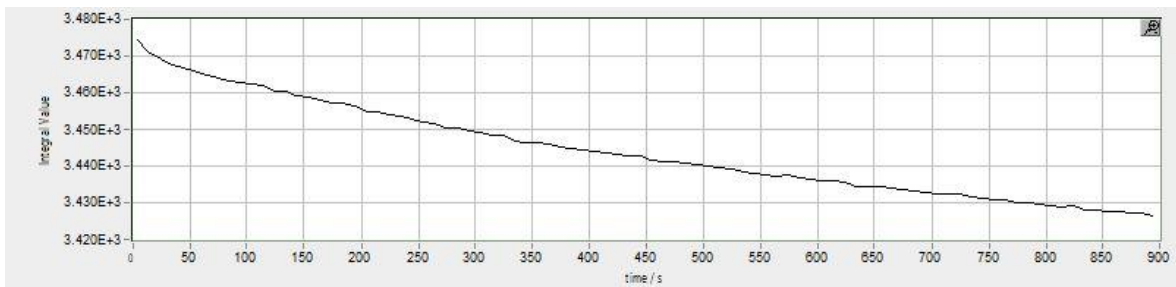
Philips Digistreet BGP760				
Väärtus	Ühik	Kasutatud valgusti		
t	s	0	300	600
I	A	0,16	0,16	0,16
P	W	38,30	38,10	38,10
cos ϕ		0,95	0,95	0,95

Tabelist 2.3 selgub, et kõik püstitatud hüpoteesid vastasid tõe ja mõõtmistulemused vastasid ootustele. Mõõtmistulemused tuvastasid, et valgusti stardihetkel ei olnud hetkelist kõrgemat stardivoolu võimalik fikseerida ja seega saab väita, et antud valgustil kõrgendatud stardivoolu ei ole. Joonistel 2.24 on toodud Digistreet leedvalgusti spektraaljaotusdiagramm, mis vastab antud valgusti tootja poolt lubatule ning on väga sarnane ka kirjanduses toodud tüüpilise leedvalgusti spektriga. Võrreldes seda näiteks eelnevalt mõõdistatud naatriumvalgustitega, saab järeldada, et leedvalgustiga on võimalik tekitada külma valgust, kuid antud leedvalgusti on peamiselt suunatud kollakas- punaste toonide loomiseks ja eelkõige rõhutades just valge ja naturaalse valguse loomisele. Valgusti tootelehel on kirjas, et valgusti valgusvärvsus temperatuur on 3000 K, kuid mõõdistustest selgus, et see oli 3050 K, mis vastab normidele. Valgusti värviesituse üldindeks CRI oli 86,5, mis samuti vastab kehtestatud Tallinnas kehtestatud nõuetele leedvalgustite kohta.

Joonisel 2.25 on toodud Digistreet valgusti valgusvoo muutumine mõõdistuste ajal. Jooniselt selgub, et kõige kõrgem on valgusti valgusvoog stardihetkel, ca 3474 lm. Mõõdistustest selgus, et valgusti valgusvoog langes kogu mõõdistuste aeg, 3474 lm 3426 lm ehk ca 1,5%. Valgusti tootelehe kohaselt peaks valgusti valgusvoog olema 4400 lm ja valgusviljakus $\eta = 4400 / 38,1 = 118,9$ lm/ W. Tegelik maksimaalne valgusviljakus oli aga vaid 3474 lm ja seega $\eta = 3474 / 38,1 = 93,9$ lm/ W. Hüpoteesi järgi on kasutatud valgusti valgusvoog siiski veidi väiksem kui uue oma ning tehase poolt väljastatud tootelehe andmed on mõeldud just uue valgusti kohta. Antud valgusti varustatud ka CLO funktsiooniga, mis peaks valgusti valgusvoogu iga-aastaselt tõstma, et valgusti eluea lõpus oleks endiselt tagatu tootelehel kuvatu, kuid antud valgustil on mõõdetud tulemuse ning tootelehel lubatu vahel liiga suur. See võib olla põhjustatud defektsest valgustist, valgusti optika mustusest, mõõteveast või ka näiteks tootelehe väärinfost. Kõige tõenäolisem selgitus on aga, et valgustit mõõdistati väljaspool Ulbrichti kuuli ja seega ei olnud võimalik kogu valgusti valgusvoogu mõõteseadmesse suunata. Mõõtmisel kasutati sarnast mõõtmisviisi nagu kõrgrõhu-naatrium valgustitelgi ning seetõttu mõõdeti ka antud valgusti puhul väljuva valgusvoo nurka. Kõik valgusvoo ja valgusviljakuse mõõtmistulemused ja nende võrdlused on välja toodud tabelis 2.17.



Joonis 2.24. Philips Digistreet 37 W spektralljaotusdiagramm



Joonis 2.25 Philips Digistreet 37 W valgusvoog

2.3 Valgustuse mõõtmine tänaval

Valgustuse mõõtmise tänaval viisid läbi autor ja juhendaja 04.04.2019 hilisõhtul, kui ilm oli kergelt pilvine kuid kuiv. Teepinnakatted olid kuivad ning talvisest graniitkillustikust puhastatud. Mõõtevahendina kasutati mõõdistustel digitaalse heleduse mõõtekaamerat LMK Mobil Air ning andmete töötlemiseks LMK LabSoft tarkvaraprogrammi [22]. Mõõdistamiseks valiti kokku neli lõiku Tallinnas, millest kaks asus näidispiirkonnas Veskimetsa tänaval ning kaks lõiku asusid Tallinnas Astri tänaval. Antud lõigud valiti peamiselt selle põhjal, et mõõdistatud leedvalgustiga tänaval valida välja kaks mastivahet, millel teostada mõõdistus. Mõlema piirkonna puhul oli tegemist jaotusvõrgu mastidega, mille puhul on mastide vahekaugus, kaugus teeservast ning paigaldatud valgusti kõrgus maapinnas väga erinev eelkõige just seetõttu, et antud taristu ei ole mõeldud nõuetekohase valgustuse paigaldamiseks.

Töökeskond on kujutatud vastavuses Töötervishoiu ja tööohutuse seadusega ja Vabariigi Valitsuse 21. detsembri 1999. a määrusega nr 402: Tegevusalade esitatavad ja töötervishoiu ja tööohutuse nõuded. Töökeskond välisobjektidel mõõtetöid teostades ja näiteks ka tänaval välisvalgustuse mõõtetöid teostades sõltub mõõdetava objekti iseloomust, asukohast, suurusest, liiklustihedusest jne. Korreksete mõõtmistulemuste saamiseks tuleb veenduda, et ümbritsev keskkond nagu näiteks ümbritsev lisavalgustus (autode tulede ning ka erakinnistutelt tulev valguskiirgus), väline temperatuur, niiskus, asfaldi märgus ja muu peegeldus jne ei mõjuta mõõteandmeid ning mõõtetulemused ei oleks väliteguritest häiritud.

Valituks osutus piirkond Nõmmel, kus mõõdistataval lõigul on sarnaste parameetritega lõik näidispiirkonna omaga, ehk sarnane mastide vaheline kaugus, valgusti paiknemine teeserva suhtes ning valgusti kõrgus maapinnast. Antud lõikudel on väga sarnased valgustid, mis olid Veskimetsa tänaval enne pilootprojektina valgustite vahetamist, mis annab mõõtetulemusteks hea võrdluse. Mõõdistusi tuli teha Veskimetsa tänaval ühe korra ning Astri tänaval kaks korda nii enne- kui ka peale täishoolduse teostamist, et uurida täishoolduse käigus valgusallikate vahetamise tulemusi. Kõik lõigud olid piiritletud otstest mastidega ning külgedelt tee äärega, kõiki lõike mõõdistati mõlemalt poolt.

Pildistava heleduse mõõtekaameraga ILMD LMK Mobil mõõdistamiseks kalibreeriti seadet spektroradiomeetriga Jeti 1211. Antud mõõtevahendi kalibreerimine annab valguse spektrist tulenevalt korrektse parandusteguri, et teostada heleduse mõõtmised pildistava heleduskaameraga. Parandustegurit võetakse arvesse Labsoft tarkvaras mõõtetulemuste töötlemisel. Spektroradiomeetriga mõõdetakse valget pinda, millega fikseeritakse heleduse

mõõtetulemus antud punktis. ILM kaameraga tehakse mõõdistatavast alast kolm ülesvõtet, et saada suurem heleduse mõõteulatus. Tarkvara abil koostatakse pildid ühtseks väärvärvides kujutletud heleduspildiks. Mõõdistataval tee lõigul märgistatakse ala ning tarkvaraga määratakse mõõtepunktide arv ja asukohad, mis kindlasti ei tohiks jääda teemärgistuse ega augu peale.

Kõikide mõõtepunktide heledusväärtuste andmete põhjal saab koostada analüüsi ja arvutatakse mõõtetulemused. Arvutuste tulemusena saab teada mõõdistuse keskmise heleduse ning üld- ja pikiühtluse. Keskmise heleduse saab leida nii, kui leida mõõtetulemuste aritmeetiline keskmine, üldühtluse saab leida mõõtetulemuste vähima ja keskmise heleduse jagatisena ning pikiühtluse saab leida sõiduraja teljel paiknevate mõõtepunktide suurima ja vähima väärtuse jagatisena.

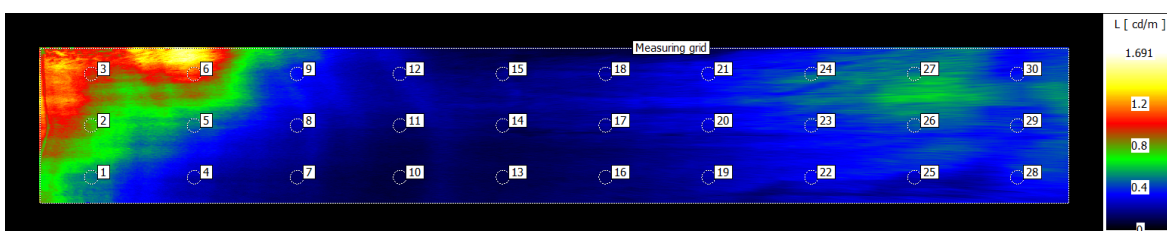
2.3.1 Naatriumvalgustitega lõigud Astri tänaval enne täishooldust

Kõrgrõhu-naatrium valgusallikatega valgustitega lõikudel teostati kokku kaheksa erinevat mõõtmist- kahel erineval lõigul mõlemalt poolt mõõdistatuna enne- ja peale valgusallikate vahetamist. Tabelitesse 2.4- 2.7 on toodud mõõtepunktide heledusväärtused. Joonistel, mis paiknevad tabelite all on toodud tabeli väärtused mõõtepunktides ka graafiliselt, et oleks parem ettekujutus heleduse jaotusest alal. Igast lõigust on tehtud foto ning juurde on lisatud ka heleduse väärtused väärvärvides samal fotol, mis annab väga hea ettekujutuse valguse peegeldamisest sõidutee pinnalt ning ka muudele kõrvalistele objektidele. Kõikidele väärvärvides fotodele on parema ettekujutuse saamiseks lisatud ka skaala, kus saab näha heleduse ühikut ning selle valguse heleduse väärtuse vastavust.

Astri tänaval oli vastavalt eelmainitule välja valitud kaks lõiku. Kuna tegemist oli jaotusvõrgu mastidega, peab arvestama, et paigaldades valgustid jaotusvõrgu mastidele, varieerub mastide vahekaugus ning mastide pikkus, mistõttu valgus ei ole jaotatud ühtlaselt. Esimese lõigu puhul oli mastide vahekaugus 42,6 m ja valgustite kõrgus maapinnast 7,9 m ja 6,5 m. Teise lõigu puhul oli mastide vahekaugus 36,6 m ja valgustite kõrgus maapinnas 7,6 m ja 7,8 m, kusjuures tee laius oli mõlemal juhul 7,6 m ning tee profiil oli märgistamata kahesuunaline sõidutee ilma kergliiklusteeta. Erineva valgustite kõrgus tuleneb näiteks erineva masti pikkuse kasutamisest või näiteks ka lisapaigaldiste paiknemisest mastil. Mõõtmistulemuste kokkuvõte ja selle analüüs on välja toodud peatükis 2.4.

Tabel 2.4. Heledusväärtused mõõtmispunktides Astri tänava esimesel lõigul, suund A

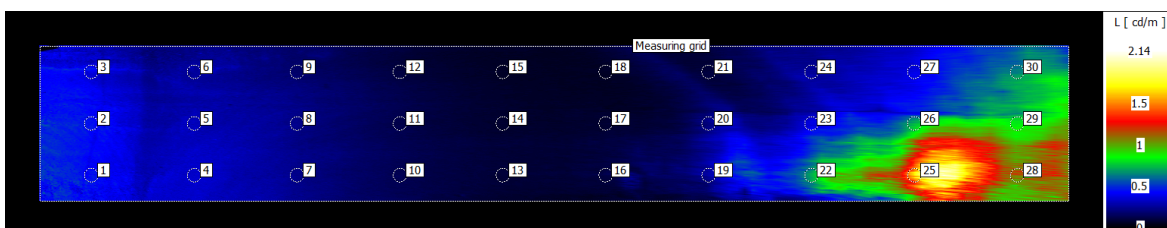
nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,947	0,977	0,389	0,206	0,156	0,185	0,248	0,383	0,481	0,574
2	0,834	0,524	0,274	0,166	0,158	0,162	0,24	0,314	0,37	0,421
1	0,543	0,284	0,164	0,099	0,114	0,121	0,18	0,264	0,327	0,239



Joonis 2.26. Mõõtevälja pealtvaade, esimene lõik, suund A

Tabel 2.5. Heledusväärtused mõõtmispunktides Astri tänava esimesel lõigul suund B

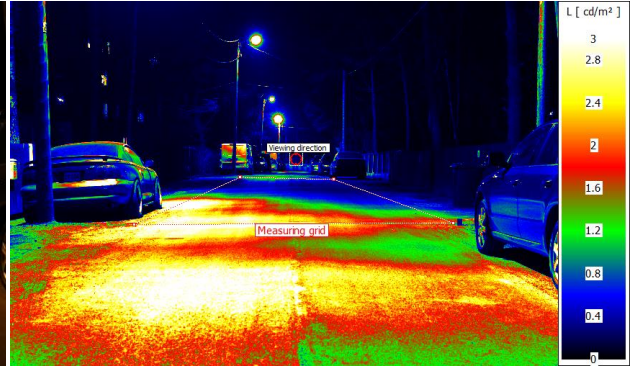
nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,348	0,257	0,176	0,101	0,071	0,091	0,132	0,285	0,447	0,696
2	0,446	0,302	0,194	0,113	0,085	0,105	0,321	0,487	0,985	0,905
1	0,441	0,335	0,204	0,122	0,102	0,15	0,517	0,965	1,81	1,12



Joonis 2.27. Mõõtevälja pealtvaade, esimene lõik, suund B



Joonis 2.28. Esimene lõik, suund A



Joonis 2.29. Esimene lõik, suund A värvärvides



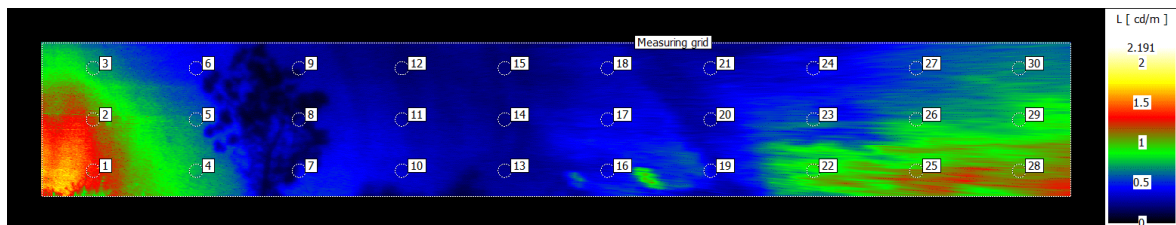
Joonis 2.28. Esimene lõik, suund B



Joonis 2.29. Esimene lõik, suund B värvärvides

Tabel 2.6. Heledusväärtused mõõtmispunktides Astri tänava teisel lõigul suund A

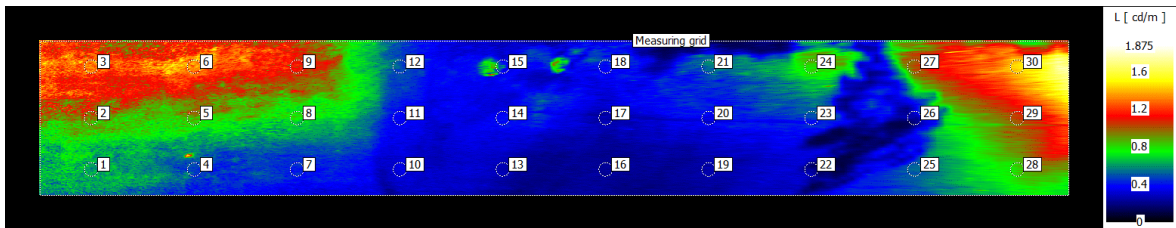
nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,737	0,422	0,231	0,199	0,219	0,332	0,318	0,385	0,556	0,674
2	1,18	0,634	0,206	0,283	0,225	0,383	0,298	0,582	0,72	0,806
1	1,34	0,747	0,33	0,361	0,256	0,373	0,428	0,88	1,05	1,06



Joonis 2.32. Mõõtevälja pealtvaade, teine lõik, suund A

Tabel 2.7. Heledusväärtused mõõtmispunktides Astri tänava teisel lõigul suund B

nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1,3	1,34	1,12	0,501	0,457	0,401	0,543	0,817	0,992	1,44
2	0,953	0,889	0,75	0,372	0,38	0,262	0,35	0,463	0,258	1,03
1	0,621	0,481	0,431	0,333	0,273	0,231	0,259	0,218	0,52	0,821

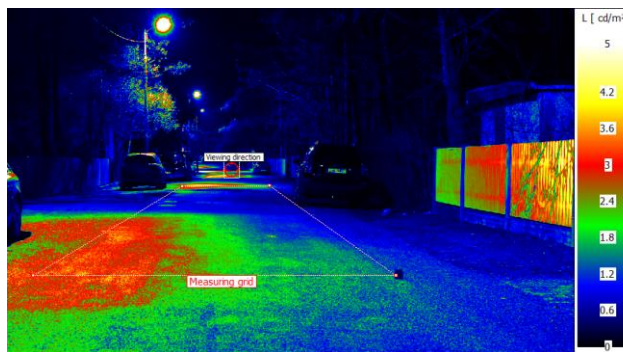


Joonis 2.33. Mõõtevälja pealtvaade, teine lõik, suund B



Joonis 2.34. Teine lõik, suund A

Joonis 2.35. Teine lõik, suund A värvärvides



Joonis 2.36. Teine lõik suund B

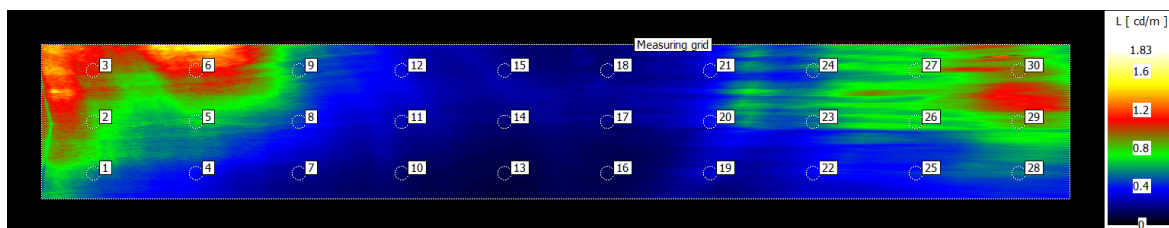
Joonis 2.37. Teine lõik, suund B värvärvides

2.3.2 Naatriumvalgustitega lõigud Astri tänaval peale täishooldust

Astri tänaval vahetati valgusallikad 14.04.2019 toimunud täishooldustööde käigus. Peale vahetamist teostati mõlemal lõigul kordusmõõdistused, mille tulemused on toodud joonistel 2.38-2.49 ning tabelites 2.8-2.11. Mõõtmistulemuste kokkuvõte on välja toodud peatükis 2.4.

Tabel 2.8. Heledusväärtused mõõtmispunktides Astri tänava esimesel lõigul, suund A

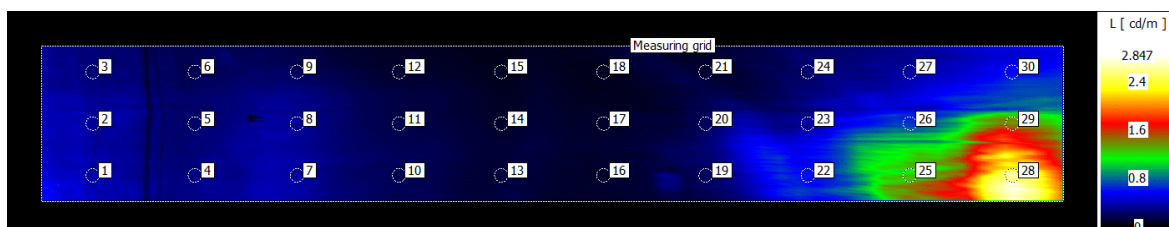
nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1,06	1,12	0,538	0,327	0,224	0,185	0,341	0,53	0,742	0,929
2	0,83	0,666	0,454	0,258	0,178	0,191	0,374	0,527	0,695	0,848
1	0,569	0,38	0,213	0,16	0,106	0,127	0,281	0,346	0,41	0,523



Joonis 2.38. Mõõtevälja pealtvaade, esimene lõik, suund A

Tabel 2.9. Heledusväärtused mõõtmispunktides Astri tänava esimesel lõigul suund B

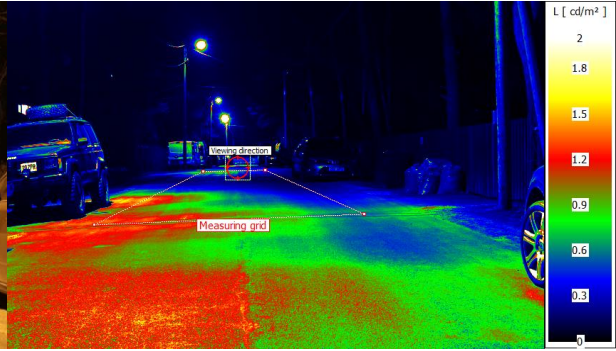
nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,283	0,201	0,215	0,123	0,081	0,082	0,128	0,264	0,378	0,584
2	0,363	0,254	0,341	0,177	0,113	0,117	0,222	0,361	0,702	1,43
1	0,392	0,306	0,364	0,201	0,145	0,112	0,226	0,607	1,25	2,56



Joonis 2.39. Mõõtevälja pealtvaade, esimene lõik, suund B



Joonis 2.40. Esimene lõik, suund A



Joonis 2.41. Esimene lõik, suund A väärvärvides



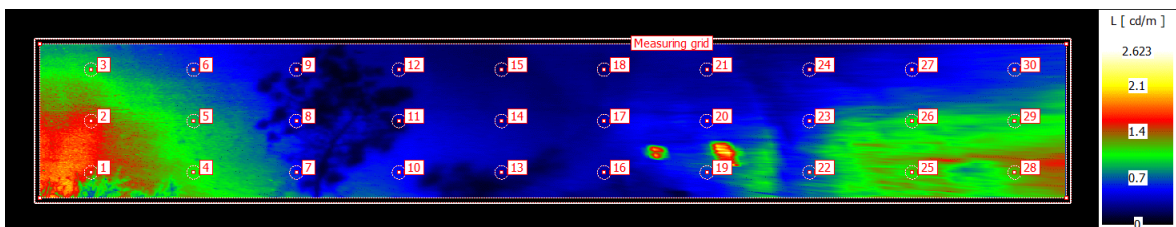
Joonis 2.42. Esimene lõik, suund B



Joonis 2.43. Esimene lõik, suund B väärvärvides

Tabel 2.10. Heledusväärtused mõõtmispunktides Astri tänava teisel lõigul suund A

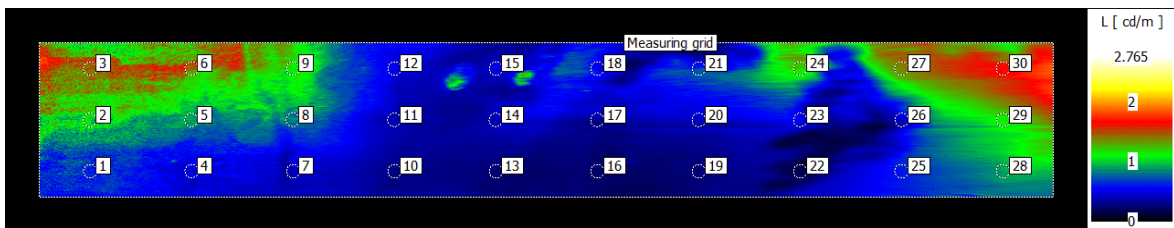
nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,973	0,637	0,348	0,301	0,212	0,25	0,315	0,35	0,456	0,616
2	1,56	0,927	0,501	0,255	0,325	0,347	0,48	0,551	0,991	0,972
1	1,47	1,1	0,582	0,555	0,323	0,347	0,646	0,677	1,15	1,22



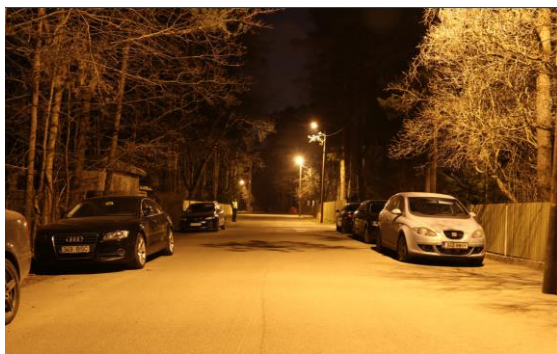
Joonis 2.44. Mõõtevälja pealtvaade, teine lõik, suund A

Tabel 2.11. Heledusväärtused mõõtmispunktides Astri tänava teisel lõigul suund B

nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1,44	1,43	1,14	0,511	0,473	0,549	0,652	1,21	1,38	1,65
2	1,07	0,915	0,813	0,391	0,411	0,345	0,438	0,507	0,447	1,15
1	0,642	0,496	0,399	0,303	0,268	0,249	0,279	0,176	0,614	0,912

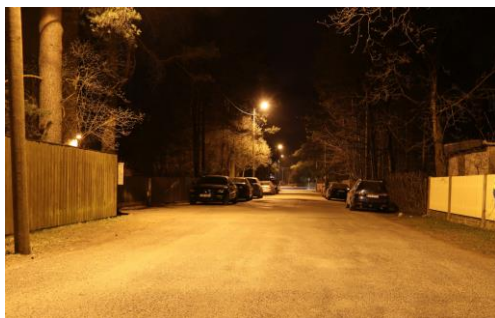


Joonis 2.45. Mõõtevälja pealtvaade, teine lõik, suund B



Joonis 2.46. Teine lõik, suund A

Joonis 2.47. Teine lõik, suund A värvärvides



Joonis 2.48. Teine lõik suund B

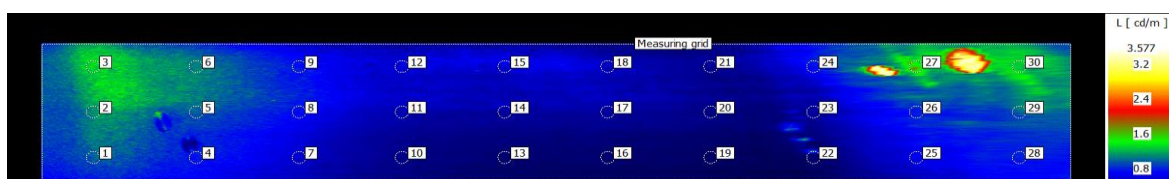
Joonis 2.49. Teine lõik, suund B värvärvides

2.3.3 Leedvalgustitega lõigud Veskimetsa tänaval

Veskimetsa tänaval, mis asub ka kolmandas peatükis käsitletud näidispiirkonnas, valiti mõõdistamiseks välja kaks lõiku. Mõlema lõigu puhul oli tegemist taas jaotusvõrgu mastidele paigaldatud valgustitega. Esimesel lõigu puhul oli mastide vaheliseks kauguseks 37,9 m ning valgustite kõrgus oli 6,5 ja 7,5 m. Teise lõigu puhul oli mastide vaheline kaugus 29 m ja valgustite kõrgus maapinnast oli 7,3 ja 7,5 m. Tee profiil oli sama mis Astri tänava puhul, ehk 6,4 m laiune kahe-suunaline sõidutee ilma kergliiklusteeta. Mõõtmistulemused on välja toodud tabelites 2.12-2.15 ja joonistel 2.50- 2.61. Mõõtmistulemuste kokkuvõte ja analüüs on välja toodud peatükis 2.4.

Tabel 2.12. Heledusväärtused mõõtmispunktides Veskimetsa tänava esimesel lõigul suund A

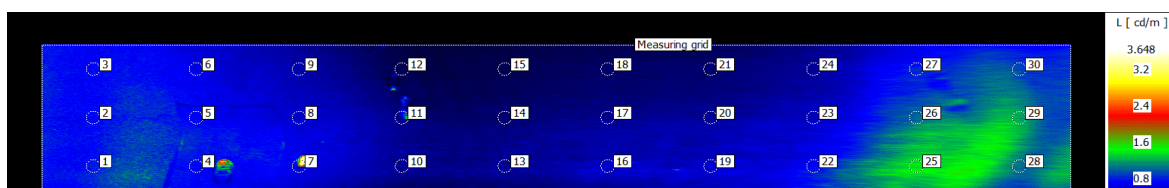
nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	1,33	1,09	0,774	0,627	0,621	0,55	0,434	0,761	1,52	1,3
2	1,13	0,998	0,755	0,517	0,47	0,468	0,386	0,46	0,806	1,01
1	0,984	0,785	0,589	0,398	0,332	0,328	0,293	0,387	0,677	0,801



Joonis 2.50. Mõõtevälja pealtvaade värvärvides, esimene lõik, suund A

Tabel 2.13. Heledusväärtused mõõtmispunktides Veskimetsa tänava esimesel lõigul suund B

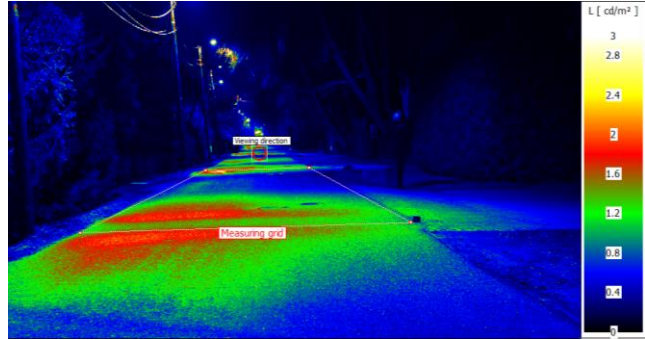
nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,747	0,675	0,514	0,253	0,248	0,304	0,33	0,454	0,828	0,941
2	0,742	0,731	0,602	0,584	0,332	0,422	0,451	0,553	1,03	1,23
1	0,808	0,76	1,33	0,443	0,44	0,586	0,595	0,753	1,4	1,08



Joonis 2.51. Mõõtevälja pealtvaade värvärvides, esimene lõik, suund B



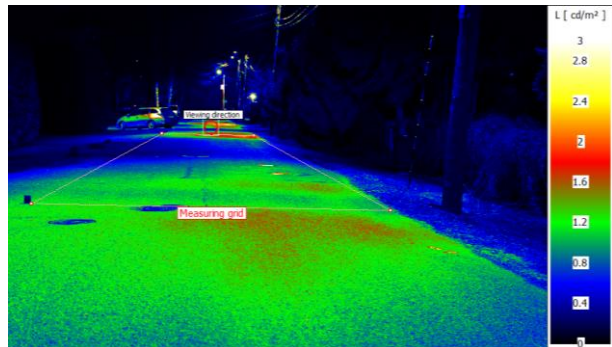
Joonis 2.52. Esimene lõik, suund A



Joonis 2.53. Esimene lõik, suund A väärvärvides



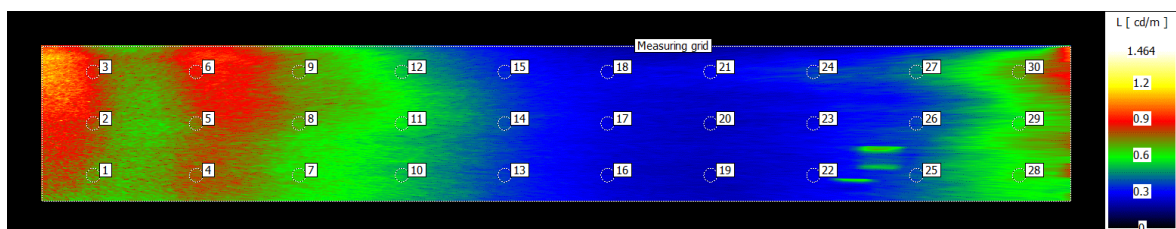
Joonis 2.54. Esimene lõik, suund B



Joonis 2.55 Esimene lõik, suund B väärvärvides

Tabel 2.14. Heledusväärtused mõõtmispunktides Veskimetsa tänava teisel lõigul suund A

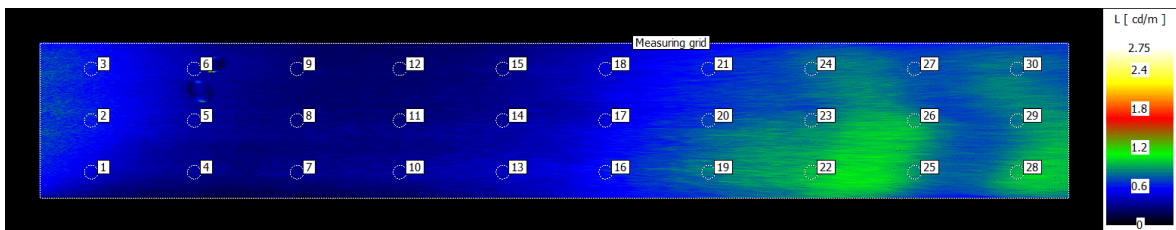
nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,855	0,864	0,714	0,527	0,337	0,258	0,276	0,36	0,44	0,698
2	0,802	0,751	0,689	0,57	0,387	0,262	0,226	0,263	0,371	0,595
1	0,716	0,773	0,631	0,516	0,357	0,248	0,22	0,266	0,396	0,619



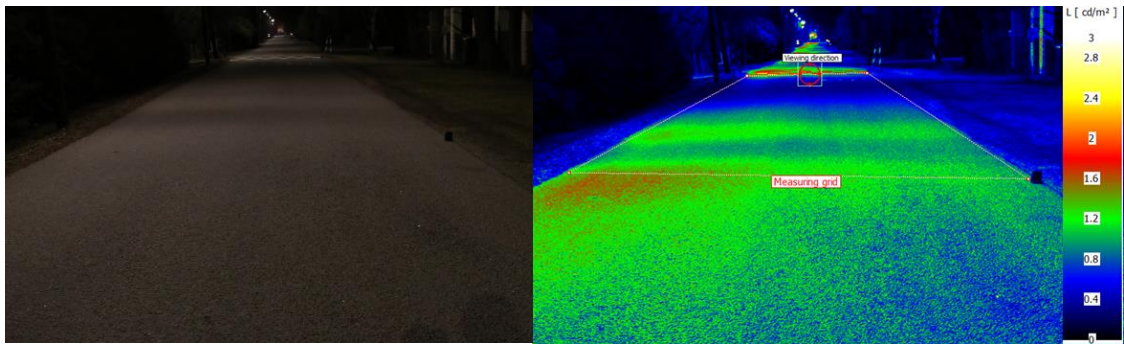
Joonis 2.56. Mõõtevälja pealtvaade väärvärvides, teine lõik, suund A

Tabel 2.15. Heledusväärtused mõõtmispunktides Veskimetsa tänava teisel lõigul suund B

nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,608	0,383	0,268	0,252	0,305	0,466	0,625	0,775	0,73	0,783
2	0,621	0,375	0,286	0,281	0,337	0,474	0,693	0,799	0,897	0,814
1	0,474	0,333	0,308	0,345	0,417	0,595	0,818	0,961	0,884	0,94

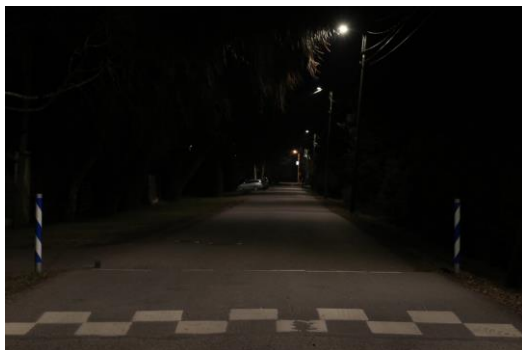


Joonis 2.57. Mõõtevälja pealtvaade värvärvides, teine lõik, suund B

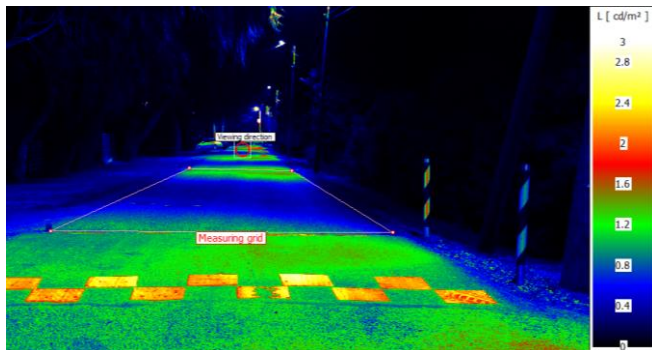


Joonis 2.58. Teine lõik, suund A

Joonis 2.59 Teine lõik, suund A värvärvides



Joonis 2.60 Teine lõik, suund B



Joonis 2.61 Teine lõik, suund B värvärvides

2.4 Mõõtmistulemuste kokkuvõte

Mõõtmistulemuste eeldustena saab välja tuua, et naatriumvalgustitega valgustatud lõikudel ei ole tagatud ükski kehtestatud normidest, sest antud lõikudel ehitati valgustus välja ilma projektlahenduseta juba olemasolevatele mastidele ning valgustite võimsus valiti suvaliselt. Samuti ei olnud ehituse ajal veel kehtivaid norme ega korralike mõõdistusvahendeid. Eriti suured vajakajäämiseks peaksid antud lõikudel olema just üld- ja pikiühtlusega, sest tumedad laigud keset teed on näha ka silmaga ning valgustite all olevad alad peaks olema tugevalt ülevalgustatud.

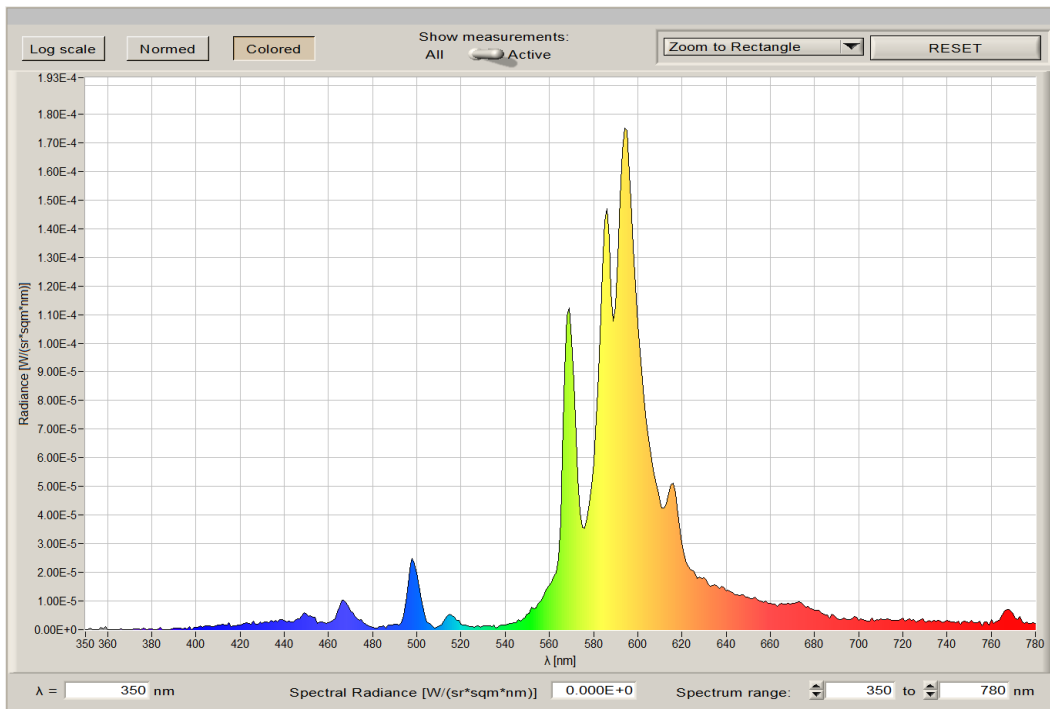
Hüpotees valgusallikate asendamise kohta näeb ette, et lampide asendamine parandab oluliselt ühtlust, kaotab ära väga tumedate ja väga heledate kohtade esinemise mõõtealal, mis ühtluse tulemusi enim mõjutavad. Hüpoteesi kohaselt tõuseb ka keskmine heledus ja üldühtlus, kuid need jäävad siiski alla standardis toodud väärtusi. Hüpoteesi kohaselt valgusallikate vahetamine suurendab valgusreostust ning veelgi enam on valgustatud näiteks eramaad, haljasalad ning majad või muude tänaväärsed alad ja seinad. Eeldatakse, et valgusallikate vahetamise tulemusi on silmaga hästi märgata, kuid need ei pruugi kajastuda mõõtmistulemustel.

Veskimetsa tänav asub aga piirkonnas, kus 2018. aasta sügisel vahetati olemasolevad valgustid leedvalgustite vastu. Leedvalgustid vailiti antud lõikudele vastavalt valgusarvutustele ning seega saab seada hüpoteesi selliselt, et kõik nõuetekohased normid on täidetud ja puudusi ei ole. Eelkõige on täidetud norm keskmise heleduse kohta, sest see on silmale kõige enam eristatav ning mõõdistuste koha pealt ka kõige olulisem näitaja. Kuna piirkonnas on mastide vaheline kaugus ning valgustite kõrgus maapinnast küllaltki erinev, siis võib esineda puudusi pikiühtlusega, kuid see peaks olema siiski normilähedane või veidi alla selle. Samas olles eelnevalt mõõdistanud antud piirkonnas kasutatud valgustit ka laboris ning sealsetest mõõtetulemustest selgus, et tegelik valgusvoog on lubatust ca 21% madalam, võivad ka muud näitajad olla alla kehtiva normi piiride.

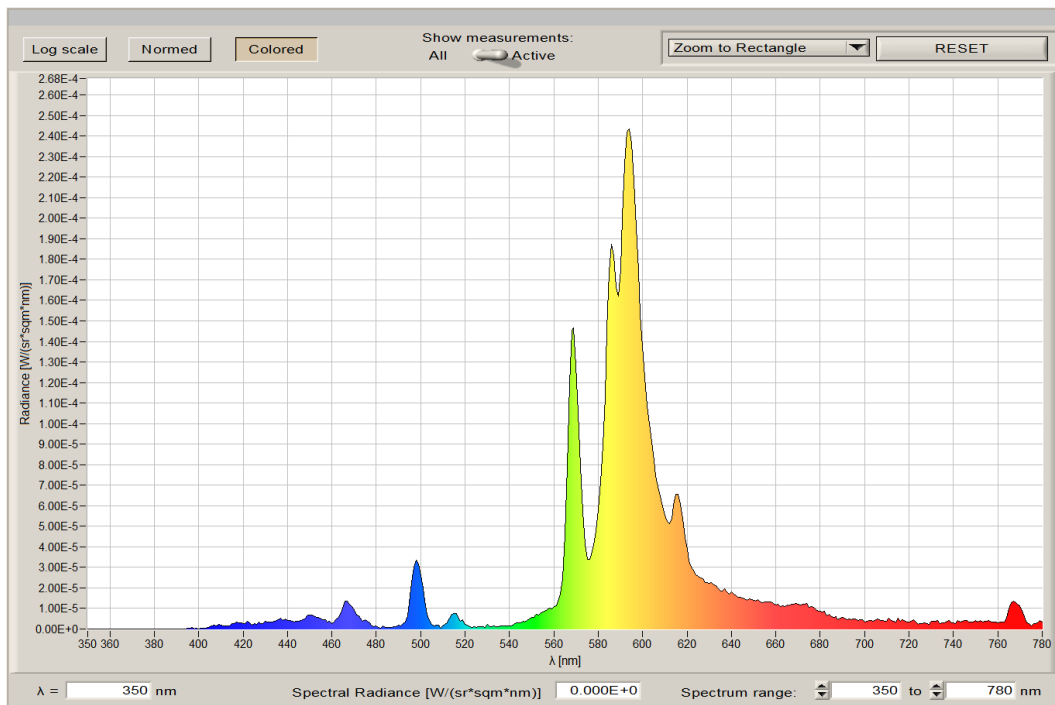
2.4.1 Mõõtmistulemused

Astri tänaval mõõdetud valgusjaotusspekter on välja toodud joonisel 2.62 ning on sarnane kasutatud valgusallika spektrile joonistel 2.11 ja 2.17, seega saab eeldada, et tegemist oli kõrgrõhu-naatrium valgusallikaga. Valgusallika vahetamise järel tehtud mõõdistus Astri tänava valgustite valgusjaotusspekter on toodud joonisel 2.63. Jooniselt on näha, et paigaldatud valgusallika oli kõrgrõhu-naatrium valgusallikas, sest see on väga sarnane eelnevalt samas kohas mõõdetud ning ka laboris mõõdetud valgusjaotus spektritele, mis on toodud joonistel 2.62, 2.11 ja 2.17. Veskimetsa tänaval mõõdistatud valgusjaotusspekter on välja toodud joonisel 2.64 ja sarnaneb väga laboris

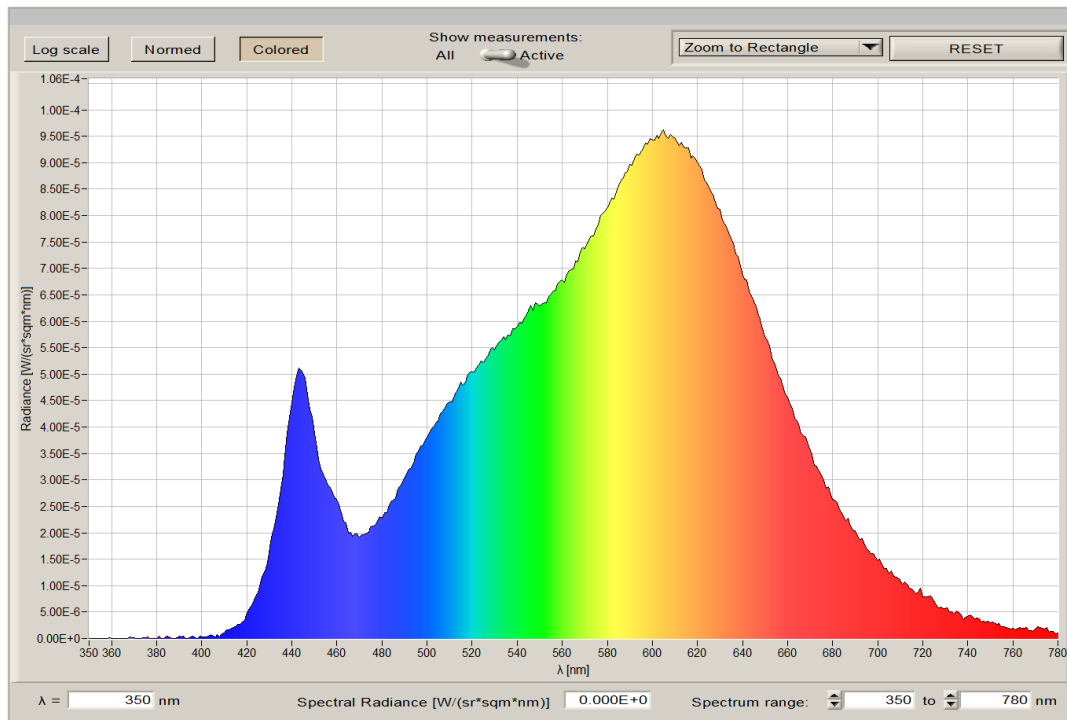
mõõdetule joonisel 2.24. Seega saab väita, et antud löiku valgustavad samasugused või väga sarnased valgustid, mida mõõdistati ka TalTechi valgustehnika laboris.



Joonis 2.62. Astri tänaval mõõdistatud valgusjaotusspekter



Joonis 2.63. Astri tänaval mõõdistatud valgusjaotusspekter peale valgusallika vahetamist



Joonis 2.64. Veskimetsa tänaval mõõdistatud valgusjaotusspekter

Kõikide mõõtmistulemuste kokkuvõte on esitatud tabelis 2.16. Tabeli esimesel real on kehtiva standardi EVS-EN 13201-2: 2015 [24] minimaalsed näitajad ning tabelis on punasega märgitud need näitajad, mis ei vasta standardis ettenähtule. Tabelis 2.17 on toodud kõik valgusvoo ja valgusviljakuse mõõtmistulemused, mis fikseeriti mõõtmiste käigus Tallinna Tehnikaülikooli valgustehnika laboris. Mõõtmistulemuste analüüs on toodud peatükis 2.5.

Tabel 2.16. Mõõtmistulemuste kokkuvõte

Objekt	Keskmine heledus (L)- [cd/m ²]	Pikiühtlus (U)	Üldühtlus (U ₀)
Kehtiv standard valgustusklassil M5	0,50	0,40	0,35
Astri tn, esimene lõik, suund A	0,34	0,19	0,29
Astri tn, esimene lõik, suund A peale hooldust	0,47	0,21	0,23
Astri tn, esimene lõik, suund B	0,41	0,09	0,17
Astri tn, esimene lõik, suund B peale hooldust	0,42	0,08	0,19
Astri tn, teine lõik, suund A	0,54	0,17	0,37
Astri tn, teine lõik, suund A peale hooldust	0,65	0,16	0,33
Astri tn, teine lõik, suund B	0,63	0,25	0,35
Astri tn, teine lõik, suund B peale hooldust	0,71	0,30	0,25
Veskimetsa tn, esimene lõik, suund A	0,72	0,34	0,41
Veskimetsa tn, esimene lõik, suund B	0,67	0,27	0,37
Veskimetsa tn, teine lõik, suund A	0,50	0,28	0,44
Veskimetsa tn, teine lõik, suund B	0,56	0,31	0,45

Tabel 2.17. Labori mõõtmistulemuste kokkuvõte

Mõõdistatud objekt	Lubatud valgus-voog	Tegelik valgus-voog	Erinevus	Lubatud valgus-viljakus	Tegelik valgus-viljakus	Erinevus
Ühik	lm	lm	%	lm/ W	lm/ W	%
Kasutatud valgusti 70 W kasutatud valgusallikaga	7000	2358	66,3	100	23,5	76,5
Kasutatud valgusti 70 W uue valgusallikaga	7000	3064	56,2	100	31	69,0
Uus valgusti 70 W uue valgusallikaga	7000	3416	51,2	100	36,7	63,3
Kasutatud valgusti 100 W kasutatud valgusallikaga	10 000	4100	59,0	100	32,1	67,9
Kasutatud valgusti 100 W uue valgusallikaga	10 000	4147	58,5	100	32,5	67,5
Uus valgusti 100 W uue valgusallikaga	10 000	4605	54,0	100	39	61,0
Leedvalgusti	4400	3474	21,0	119	93,9	21,1

2.5 Mõõtmistulemuste analüüs ja järeldused

Tabelis 2.16 on välja toodud kõigi mõõtmistulemuste kokkuvõte. Kõik tabelis toodud väärtused on leitud vastavate valemitega mõõtmistulemuste algandmetest, mis on välja toodud tabelites 2.4-2.15. Tabelis on iga objekti kohta välja arvatud keskmine heledus, pikiühtlus ning üldühtlus mõõdistatud lõigu piires. Mõõtmistulemuste põhjal saab esimest korda ülevaate valgusallika vahetamise tulemustest ning neid saab kolmandas peatükis käsitletud tasuvusarvutusi tehes arvesse võtta.

Seatud hüpoteesi kohaselt ei peaks Astri tänava lõikudel valgustus tabeli esimeses reas välja toodud standardi EVS-EN 13201-2 kohaselt vastama. Esimese mõõdistatud lõigu puhul see nii ka oli, kui mõõtmistulemused keskmise heleduse, piki- ja üldühtluse osas jäid kõik alla kehtestatud standardi. Teise lõigu puhul jäi aga täitmata vaid pikiühtluse tagamine. Esimese mõõdistatud lõigu puhul ei olnud täidetud ükski norm ning seega kinnitata, et antud lõigul on ohutuks liiklemiseks liiga pime. Tulemustest selgus, et piki- ja üldühtluse puhul ei jäänud mõõtetulemused napilt alla standardis välja toodu, vaid olid oluliselt väiksemad. Eriti suur erinevus standardiga oli aga teise lõigu tulemustel just pikiühtluse mõõtmistulemustes.

Tabeli 2.16 põhjal saab väita, et valgusallika vahetamine parendab üldist valgustatust tänaval. Võrreldes sama lõigu mõõtmistulemusi enne ja peale valgusallika vahetamist on jooniste 2.34 ja 2.46 põhjal näha, et valgustus on ühtlasemalt jaotatud ja silmale ka tunduvalt heledam. Astri tänava esimese lõigu puhul valgustus ka peale valgusallikate vahetamist ei vasta nõuetele, kuid valgusallikate vahetamine tõstis antud lõigu keskmist heledust. Astri tänava teise lõigu puhul tõusis keskmise heleduse näitaja veelgi rohkem, kui esimese lõigu puhul ja seega saab väita, et lampide vahetamine tõstab tänaval keskmist heledust.

Vastavalt hüpoteesile peaks lampide vahetamine tõstma eelkõige just valgustuse piki- ja üldühtluse näitajaid, kuid mõõtmistulemused seda ei kinnita. Teise lõigu puhul jäävad ühtluse näitajad peaaegu samaks, kuid esimese lõigu puhul lausa langevad nii üld- kui ka pikiühtluse näitajad. See tähendab, et antud lõigul heleduse jaotumine on ebaühtlane ning esinevad üle- ja alavalgustatud alad, mida on näha ka joonistel 2.32 ja 2.33. Valgusallikate vahetamisel langesid üldühtluse mõõtmistulemused Astri tänava teise lõigu puhul lausa alla kehtestatud normi.

Vastavalt loodud hüpoteesile on suurenenud valgusreostus, mida on näha peale lampide vahetamist fikseeritud fotodel. Valgusallikate vahetamisel suureneb valgustist väljuv valgusvoog ning kuna vanad naatriumvalgustid ei ole tee suhtes korrektselt paigaldatud ning valgusti reflektor ei suuna valgust õigesse kohta. Selle tulemusena on valgustatud lisaks tänavale ka tänaväärsed

alad, eramaade sissesõidualad ning aiad ja vähesel määral sisehoovid, maja seinad ning haljasalad. See aga vähendab oluliselt energiatõhususnäitajaid antud lõigul ning selles kontekstis valgusallikate vahetamine ei ole õigustatud.

Jooniste 2.36 ja 2.48 näitel, ehk pilt samast objektist enne- ja peale valgusallikate vahetamist näitab, et valgus langeb pinnale ühtlasemalt ning enam ei ole selgelt eristatavaid tumedaid ja heledaid laike nagu oli seda enne valgusallika vahetamist. Sama lõigu mõõtmistulemuste põhjal saab aga väita, et mõõtepunktides mõõdetud heleduse väärtused valgusallika vahetamisel ei suurene ja seega väheneb oluliselt üldühtlus. Mõõtmistulemuste põhjal, mis on fikseeritud enne valgusallika vahetamist, saab väita, et valgustite alla tekivad väga tugevalt ülevalgustatud laigud, mis omakorda suurendavad keskmise heleduse väärtusi ning vähendavad ühtlustuse väärtusi. Peale valgusallikate vahetamist ei ole valgustite all enam nii tugevalt üle valgustatud laike ja seega ka keskmise heleduse näitajad võivad langeda.

Veskimetsa tänaval mõõdistatud lõikude põhjal saab väita, et keskmine heledus ning üldühtlus on nõuetekohaselt tagatud, kuid pikiühtlus ei ole. Veskimetsa piirkonna kohta oli seatud hüpotees osaliselt tõene, sest oli probleeme pikiühtluse tagamisega. Pikiühtlus on tee teljel olevate mõõtepunktide keskmise heleduse näitaja ning see on allapoole normi, kui tee teljel olevad mõõtepunktid on väga suure erinevusega ning valgustus ei ole antud lõigul ühtlane. Silmaga antud probleemi koha peal tuvastada ei olnud võimalik ja niinimetatud tumedaid laike antud lõigul näha ei olnud, seega on antud mõõtetulemus veelgi üllatavam.

Üldiselt võib leedvalgustitega valgustatud lõikude mõõtmistulemustega rahule jääda, sest üldjoontes on näitajad head. Huvitav oleks teada saada, et kas ka mõõdistatud lõike valgustavad valgustid on oma valgusvoost ligi veerandi kaotanud, mis põhjendaks ka antud lõikudel pikiühtluse tagamisega seatud probleeme. Antud valgustite puhul saab eeldada, et lubatud valgusvoo puhul oleks kehtestatud normid ületatud probleemideta. Lõikude valgusmõõdistuste põhjal saaks järeldada, et valgusti valik on korrektne, kuid kuna valgusti ei anna välja lubatud valgusvoogu, siis ei ole kõik standardis nõutud väärtused saavutatud.

Tabeli 2.17 põhjal saab väita, et valgusallikate vahetamine täishoolduse käigus suurendab valgusti valgusvoogu olenevalt paigaldatavast valgusallikast. Näiteks mõõdistatud 70 W lambi puhul suureneb valgusviljakus ca 10%, kuid 100 W valgusti puhul vaid 1%. Sarnase järelduse saab teha ka valgusti valgusviljakuse kohta, sest mõõtmistulemused näitasid, et tarbimine langeb ning valgusviljakus tõuseb vaid 70 W lambi puhul. 100 W lambi puhul erinevusi praktiliselt ei olnud ning antud valgusti puhul ei saa väita, et valgusallika vahetamine valgusvoo tõstmise osas tulemusi oleks

toonud. Uue valgusti valgusvoog võrreldes täishoolduse läbinuga tõuseb nii 70 W ja ka 100W lambi puhul ca 6%. Tabelist 2.17 saab aga järeldada, et tootja poolt lubatud ja mõõtmistel fikseeritud valgusvoo erinevus on väga suur just kõrgrõhu-naatrium valgustite puhul, kui keskmine erinevus ca 58%. Leedvalgusti puhul erineb mõõdetud tulemus lubatust oluliselt vähem kui naatriumvalgusti puhul, kuid erinevus on siiski märgatav. Valgusviljakuse erinevus on aga lausa 21%, mis võib olla tingitud mõõtmismeetodist, mõõtmisveast või valgusti omadustest.

Seega saab väita, et energiatõhususe, valgusvoo ja valgusviljakuse suurendamiseks, valgustite valgusallikate vahetamisel ei pruugi mõtet olla, kui asendatav valgusallikas ei ole piisavalt kvaliteetne. Tellijal peaks kindlasti olema teada, et millised valgusallikad valgustitesse paigaldatakse ning millised on nende parameetrid. Mõõdistatud 100 W valgusti puhul oli näha, et asendatud valgusallikas ei suurendanud edastatava valgusvoogu ja seega saab väita, et lambi asendamisel ei olnud mõtet.

Mõõtmistulemuste põhjal saab järeldada, et lõputöö raames valitud lõikudel jaotusvõrgu mastidel olev naatriumvalgustitega välisvalgustus ei vasta kehtivatele standarditele. Peale antud lõikudel valgusallikate vahetamist teostati uued mõõtmised, mille käigus tuvastati, et valgustatust iseloomustavad parameetrid (keskmine heledus, üld- ja pikiühtlus) on kohati paranenud, kohati halvenenud ning osadel lõikudel ka jäänud samaks. Sarnastel parameetritel nagu mastide vaheline kaugus, valgusti kõrgus teepinnast ning valgusti paiknemine tee serva suhtes olev leedvalgustitega lõik aga vastab nõuetele, kuid osaliselt tänu valgusti valgusvoo langemisele võib kohati tekkida probleeme pikiühtluse normi täitmisel. Valgusallikate ja valgustite vahetamise majanduslikku analüüsi ning tasuvusarvutusi käsitletakse lähemalt peatükis 3, kus selgub ka võimalike investeeringute suurused, säästmise võimalused ja tasuvusajad.

Mõõtmistulemuste põhjal ei ole võimalik ühest otsust võtta, et kas valgusallikate vahetamine täishoolduse käigus on õigustatud või mitte. Enne valgusallikate vahetamist ei olnud täidetud kehtestatud normid ning valgustatus oli väga ebaühtlane. Valgustite all olid suured ülevalgustatud alad ning kahe masti keskpunktis olid tumedad laigud. Lampide vahetamise tõttu heledus antud lõikudel küll kohati paranes, kuid siiski ei vastanud nõuetele. Valgusallikate vahetamine tõstab valgustite valgusviljakust ning see suurendab oluliselt ka valgusreostust. Sarnastel parameetritel olev leedvalgustus on oluliselt parem, sest see on ühtlasem ning valge valgusega on objektid paremini eristatavad. Antud leedvalgustusega lõikudel küll kõik kehtestatud normid täidetud ei olnud, kuid see võib olla tingitud näiteks tegeliku valgustite valgusvoo erinevusest tootja omast.

3. NÄIDISPIIRKONNA TASUVUSARVUTUSED

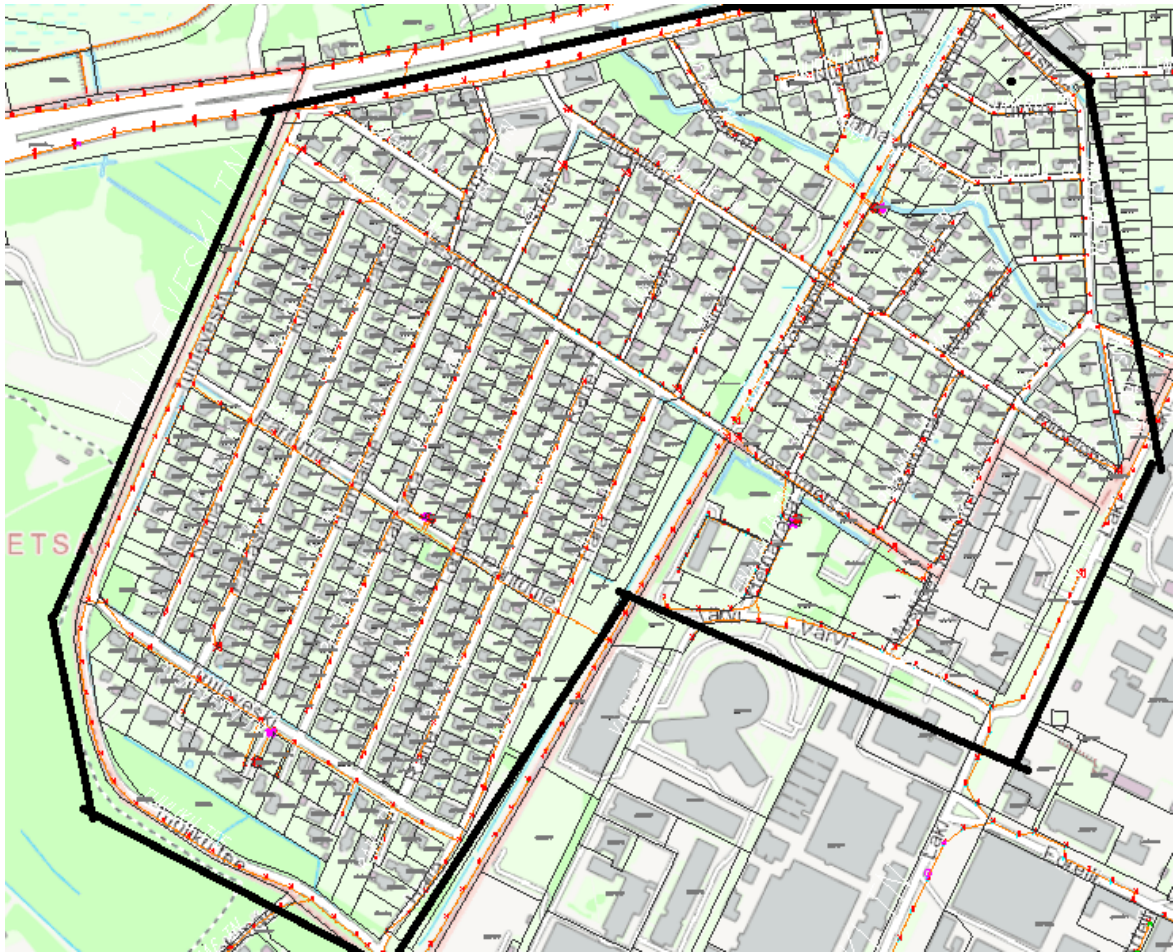
3.1 Valgustite vahetamise pilootprojekt näidispiirkonnas

2017. aasta lõpus tekkis Elektrilevil kui Tallinna tänavavalgustuse haldajal idee teostada Tallinnas pilootprojekt, kus kogu kvartali amortiseerunud valgustid vahetatakse välja leedvalgustite vastu. Seda ideed tutvustati Tallinna Kommunaalametile esmalt 2018. aasta jaanuaris. Kommunaalametile tundus idee sobivat, kuid Elektrilevi peaks välja valima pilootprojekti realiseerimise piirkonna ning välja selgitama võimaliku projekti kogumaksumuse. Kommunaalametil oli huvi pilootprojekti piirkonnas katsetada ka targa linna lahendusi, integreerides valgustusvõrku erinevaid lisaseadmeid nagu liikumissensored, jalgrattaloendurid, videokaamerad, ilmastikusensored jne. Peamiseks eesmärgiks oli aga elektrienergia vähendamise pealt tulev sääst ja rikete vähendamine antud piirkonnas. Piirkonna valikul olid seatud kriteeriumid, milleks olid:

- amortiseerunud valgustid
- võimalikult suure võimsusega valgusallikad (100 W, 150 W, 250 W)
- ca 400 valgustit
- piirkond oleks selgelt eristatav ja piiratud
- õhuliiniga tänavavalgustus raudbetoon- või puitmastidel
- võimalikult suur osa valgustitest asuks jaotusvõrgu mastidel

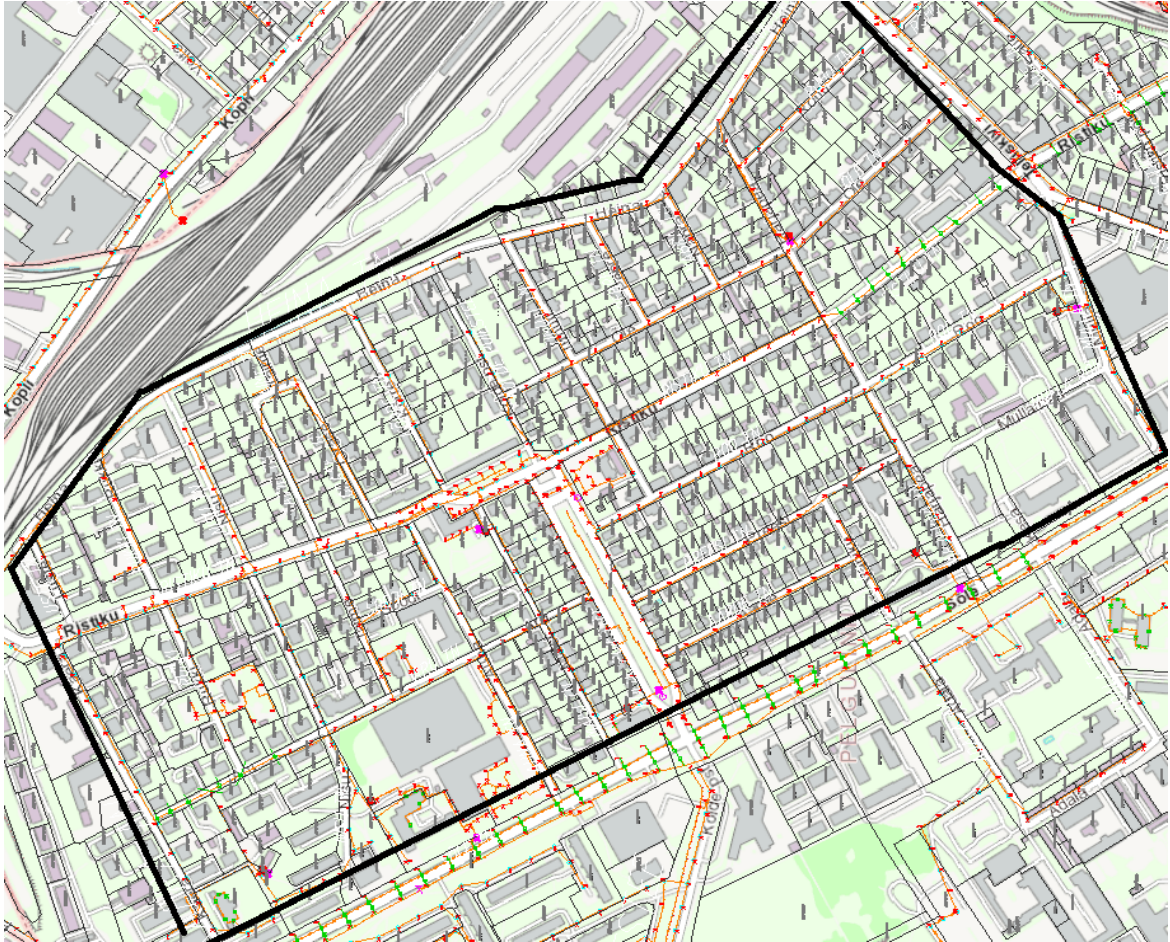
Võttes arvesse eelnimetatud kriteeriume, alustas Elektrilevi võimalikku pilootprojekti piirkonda valima. Valituks osutus piirkond Veskimetsa piirkonnas, mille piirkonnaskeem on toodud joonisel 3.1. Kuna antud piirkonnas toimuks 2018 suvel ka Elektrilevi sideliinide rajamise pilootprojekt, siis oleks mõistlik need kaks tööd samas piirkonnas ühildada. Lisaks sideliinide ehitusele toimus antud piirkonnas ka suuremahuline mastide välja vahetamine ning ka mõned võrgutööd. Antud piirkonna kohta esitati ligikaudne hinnapakkumine ning mindi seda Kommunaalametile esitama. Leiti, et kuna antud piirkonnas on valgustus suhteliselt heas olukorras ning rikkeid kuigi palju ei ole ja elektrienergia sääst ei ole võrreldes projekt maksumusega just kõige parem, siis otsustati mitte antud piirkonda valida.

Esmalt valitud piirkonnas oli ca 400 valgustit, kuid valgusallikate võimsused olid enamusega 70 W või 100 W ning lisaks oli tegemist väikeste tänavatega rahulikus piirkonnas, seega oleks valitus valgustusklassid antud piirkonnas kas M5 või M6, mis tähendab, et piirkonnas mitme astmelist valgustuse juhtimist rakendada on raske, sest säästurežiimis on valgusviljakus juba niigi madal. Valgustite ja mastide seisukord oli rahuldav ning enamik taristust paigaldati 1990-ndate teises pooles.



Joonis 3.1. Esmane pilootprojekti piirkonna valik Veskimetsa rajoonis

Loodud kriteeriumite järgi asuti uut piirkonda otsima, mis Kommunaalameti seisukohas vaadatuna tasuvam oleks. Järgmise piirkonnana valiti välja piirkond Pelgulinnas, mille piirkonnaskeem on toodud joonisel 3.2. Uue piirkonna puhul oli valgustite arv ligikaudu sama, mis eelmises piirkonnas (ca 450), kuid olemasolev taristu oli rohkem amortiseerunud. Antud piirkonnas asus ka üks värskelt renoveeritud tänav (Kolde Puiestee), mille suhtes otsustati, et sellel tänaval jääsid valgustid vahetamata. Uues piirkonnas olevad valgustid olid suurema võimsusega ja seega saavutatav elektrienergia sääst antud piirkonnas on suurem ning projekti tasuvusaeg väiksem. Uut piirkonda esitleti Kommunaalametis märtsis 2018, kuid mingit otsust projekti realiseerimise kohta vastu ei võetud ning asi jäi seisma. Hinnapakkumised aegusid ning mingit otsust valgustite vahetamise kohta ei järgnenud.



Joonis 3.2. Uue võimaliku piirkonna valik Pelgulinna rajoonis

Peale seda, kui Elektrilevi oma side pilootprojekti Veskimetsa piirkonnas valmis sai ning mastide vahetamine ning muud võrgutööd olid lõppenud, tekkis Elektrilevil taas initsiatiiv antud piirkonna valgustite vahetamise kohta uus pakkumine esitada. Seekord oli valitud piirkond ca poole väiksem (valgustite arv oli 450 asemel 227) ning paremini piiritletud teistest asumisest. Augusti alguses toimunud koosolekul otsustas Kommunaalamet, et antud piirkonna valgustust võiks siiski uuendada ning soovis planeeritava töö kohta hinnapakkumist ning muud tehnilist infot. Kinnitatud ala piirkonnaskeem on toodud joonisel 3.3. Elektrilevis otsustati, et antud projekti hakkab läbi viima ning selle eest vastutama Erki Varandi.

hinnapakkumine ka valgustite paigaldamise ning ühendamise kohta. Selles osas lepiti kokku, et töid teostab Elektrilevi välisvalgustuse lepinguline hoolduspartner. Peale kõikide hindade selgumist edastati Kommunaalametile hinnapakkumise Veskimetsa piirkonnas valgustite vahetamiseks. Projekti kogumaksumuseks antud piirkonnas juba kasutusel olevate Philips Digistreet valgustitega kujunes 89 400 € (koos käibemaksuga), alternatiivsete valgustite puhul oli hind ca 20% soodsam. Projekti hind sisaldas:

1. 227 uue leedvalgusti maksumus koos paigaldusega
2. projektijuhtimine, monitoorimine, probleemide lahendamine
3. vana valgusti demonteerimine ja utiliseerimine
4. paigaldatud valgustite reguleerimine valgusreostuse vähendamiseks pimedal ajal
5. teostusjoonis lihtalusel

Vastavalt kokkuleppele hind ei sisaldanud:

1. okste lõikamist
2. liinide, mastide ja konsoolide vahetust
3. valgustuse mõõtmist
4. kaitseautomaatide või muude komponentide vahetus liitumispunktis
5. sensoreid, kaameraid jms tarklinna lahendusi

Augusti lõpus otsustas Kommunaalamet, et hinnapakkumine neile sobib ning olemasolevad valgustid asendatakse Philips Digistreet valgustitega ja seega oli joonisel 3.3 toodud piirkonnas valgustite vahetamise projekti kogumaksumuseks 89 400 €. Huvi puudumise tõttu ei soovinud Kommunaalamet rakendada ka tarklinna lahendusi, tarka juhtimissüsteemi ega ka muid targa linna lahendusi, samuti ei hämardata valgusteid. Peamiseks põhjuseks oli see, et süsteemi välja ehitamine on väga kallis, süsteemi ülal hoidmine on lisakulu ning süsteemist tuleva infoga ei osata midagi peale hakata ega infohulka rakendada ja seega ei leitud, et uuenduslikku süsteemi tasuks välja ehitada kui sellega midagi peale pole hakata.

Kõik valgustid said vahetatud 31.10.2018 ning peale seda tehti kogu piirkonnale pimedal ajal ülevaatus, et kontrollida tumedaid laike tänaval ning valgustite kaldeid. Valgusteid vahetati vaid valgel ajal ning seetõttu pidi valgustite paigaldamis järel pimedal ajal kontrollima valgustite kaldeid ning veenduma, et paigaldatud valgustid ei jääks sisse paistma akendesse ning tänavatel ei oleks silmaga märgatavaid musti laike. Ülevaatuste käigus selgus, et vaja on reguleerida viite valgustit, millest kolmel oli valgusti kalle liiga suur või väike, et valguskiirgus oli suunatud eramaale ning ühel juhul oli valgusti konsooli külge viltu paigaldatud ning tänavale jäi suur valgustamata ala.

Üldiselt jäädi paigaldusega rahule ning öise ülevaatusel selgus, et antud tänavate valgustus on oluliselt paranenud ning tagatud oli valguse suunamine vaid sõiduteele, mitte erakinnistutele ja haljasaladele. Üldiselt projekti teostamise raames suuri probleeme ei esinenud ning projekt said edukalt lõpetatud 31.10.2018. Siiski jäi lahendamata probleem liini ja valgustite lähedale kasvanud okste kohta, mida antud projekti raames ei likvideeritud. Kohati jäid oksad varjama ka valguskiirgust ning tekitasid tänavatele tumedaid alasid.

Pildid antud piirkonna valgustustest enne- ja peale paigaldust on toodud joonistel 3.4- 3.9 ja joonistelt on näha, kuidas tänava valgustus leedvalgustite paigaldamisel muutus. Esmalt jääb joonistelt silma see, et valgustemperatuur on muutunud ning kollakas- oranži valguse asemel on nüüd täiesti naturaalne, valge valgus. Teisalt näeb joonistelt, et haljasalad, aiad ja muu loodus ei ole enam nii suurel määral valgustatud ning valgusvihk on suunatud vaid vajalikele aladele. Kogu ala ulatuses on tänava valgustus oluliselt paranenud ning piirkonnas pimedal ajal vaadeldes on üldpilt väga ilus ja ühtlane, mida kahjuks ei kinnita Veskimetsa tänaval teostatud valgusmõõdistuste tulemused, mis olid välja toodud peatükis 2.3.3. Valgusreostus on märgatavalt vähenenud ning energiatõhusus antud lõigul on oluliselt tõusnud.



Joonis 3.4. Räitsaka tänav enne valgustite vahetamist



Joonis 3.5. Räitsaka tänav peale valgustite vahetamist



Joonis 3.6. Halla tänav enne valgustite vahetamist



Joonis 3.7. Halla tänav peale valgustite vahetamist



Joonis 3.8. Härmalise tänav enne valgustite vahetamist



Joonis 3.9. Härmalise tänav peale valgustite vahetamist

3.2 Energiatõhususnäitajate arvutamine

Energiatõhususe võrdlemiseks peaks standardi EVS-EN 13201-5:2015 järgi leidma kaks iseloomustavat suurust- erivõimsusnäitaja ja aastane energiatarbimisnäitaja. Aastane energiatarbimisnäitaja D_E on valgustustaristu aasta jooksul tarbitava elektrienergia ja valgustatava pindala jagatis, mille ühikuks on vatt-tund ruutmeetri kohta, $Wh * m^{-2}$. Erivõimsusnäitaja D_P on valgustustaristu koguvõimsus jagatuna valgustatava ala pindalaga ning sellele määratud hooldeväärtuse korrutisena. Erivõimsusnäitaja ühikuks on määratud vatt luksi ja ruutmeetri kohta, $W * lx^{-1} * m^{-2}$. [25]

Antud juhul on määratletavateks objektideks Veskimetsa näidispiirkonna valgustustaristu enne- ja peale valgustite vahetamist. Määramaks võimalikku saavutatavat säästu energiatõhususe parendamiseks peaks välja arvutama mõlemad näitajad enne valgustite vahetamist ja ka peale seda. Arvutades välja aastase energiatarbimisnäitaja D_E saab teada taristu aastase energiatarbimise ning võrreldes seda peale valgustite vahetamist, saab teada, et kui palju energiat antud ala valgustamise pealt kokku hoitakse. [25]

3.2.1 Energiatõhususnäitajad enne valgustite vahetamist

Enne energiatõhususnäitajate arvutamist oleks tarvis kokku koguda ja analüüsida antud piirkonna algandmed: piirkonna valgustustaristu koguvõimsus, valgustatava tee pindala ja põlemistundide arv. Veskimetsa näidispiirkonnas on 227 valgustit. Enne valgustite vahetamist asus piirkonnas 100 W valgusallikaga 44 valgustit ning 70 W valgusallikaga 183 valgustit. Arvestades peatükis 2.2.1 sarnaste valgustite mõõtmistulemusi, tuleb valgustuspargi võimsuse arvutamisel valida valgustite nimivõimsused tabelist 2.1 ja seega saan 70 W lambiga valgusti nimivõimsuseks 100,2 W ja 100 W lambiga valgusti võimsuseks 127,8 W. Valgustusparki koguvõimsus avaldub kujul:

$$P = 100,2 W * 44 + 127,8 W * 183 = 27,8 kW$$

Arvestades, et Tallinna välisvalgustusvõrgus on aastas põlemistunde ca 4100 h, siis saab seda ka antud piirkonna arvutustel rakendada. Näidispiirkonna valgustatud teede kogupikkuseks on 8,2 km, tee keskmiseks laiuseks kogu piirkonna ulatuses on 7,5 m. Valgustatud teede pindala avaldub kujul:

$$A = 8200 m * 7,5 m = 61 500 m^2$$

Antud lõigul kasutatakse keskmise rõhttasandilise valgustustiheduse hooldeväärtuseks $E_i = 9,58 lx$, mis lähtub sarnastest mõõtmistest mujal Tallinnas. Seega on energiatõhususnäitajate arvutamiseks kõik lähteandmed teada ning saab sooritada tehted vastavalt järgmistele valemitele põhinevalt

Erivõimsusnäitaja D_P leitakse valemiga: [25]

$$D_P = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i * A_i)} \quad (1)$$

P on antud piirkonna valgustamiseks kasutatava valgustuspaigaldise süsteemivõimsus W ,
 E_i on vastavalt mõõtepiirkonna keskmine rõhttasandilise valgustustiheduse hooldeväärtus lx ,
 A_i on valgustuspaigaldise mõõtepiirkonna pindala m^2 ,
 n on valgustatavate alapiirkondade arv.

Aastase energiatarbimisenäitaja arvutamiseks on valem: [25]

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j * t_j)}{A} \quad (2)$$

D_E on teevalgustuspaigaldise aastane energiatarbimisenäitaja $Wh * m^{-2}$,
 P_j on j -nda talitlusajavahemikuga seotud talitlusvõimsus W ,
 t_j on j -nda talitlusajavahemiku talitlusgraafik võimsustarbimisega P_j kogu aasta kestel h ,
 A valgustatava piirkonna pindala m^2 ,
 m on erisuguse talitlusvõimsusega P_j ajavahemike arv.

Veskimetsa näidispiirkonna erivõimsusnäitaja enne valgustite vahetamist lähtuvalt valemist 1 on:

$$D_{P1} = \frac{27\,800\,W}{9,58\,lx * 0,90 * 61\,500\,m^2} = 0,052 \frac{W}{m^2 * lx}$$

Ja Veskimetsa näidispiirkonna aastane energiatarbimisenäitaja lähtuvalt valemist 2 on:

$$D_{E1} = \frac{27\,800\,W * 4100\,h}{61\,500\,m^2} = 1853,3 \frac{Wh}{m^2} \approx 1,85 \frac{kWh}{m^2}$$

Energiaõhususnäitajate arvutuste kokkuvõte on toodud tabelis 3.1 ja tulemuste analüüs on välja toodud peatükis 3.2.3.

3.2.2 Energiatõhususnäitajad peale valgustite vahetamist

Peale valgustite vahetamist muutus energiatõhususnäitajate arvutamiseks vaid üks parameeter, milleks oli valgustustaristu koguvõimsus. Antud piirkonda paigaldati nelja erineva nimivõimsusega mitte hämardatavad valgustid Philips Digistreet BGP760. Paigaldati 40 W valgusteid 37 tk, 36 W valgusteid 29 tk, 28 W valgusteid 23 tk ja 21 W valgusteid 138 tk. Vastavalt mõõtmistulemustele tabelis 2.3 saame lugeda leedvalgusti nimivõimsuseks tootja poolt lubatud andmed ja seejärel saab arvutada valgustustaristu koguvõimsuse:

$$P = 40 \text{ W} * 37 + 36 \text{ W} * 29 + 28 \text{ W} * 23 + 21 \text{ W} * 138 = 6,07 \text{ kW}$$

Veskimetsa näidispiirkonna erivõimsusnäitaja peale valgustite vahetamist lähtuvalt valemist 1 on:

$$D_{P1} = \frac{6070 \text{ W}}{9,58 \text{ lx} * 0,90 * 61\,500 \text{ m}^2} = 0,011 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{lx}}$$

Ja Veskimetsa näidispiirkonna aastane energiatarbimisnäitaja lähtuvalt valemist 2 on:

$$D_{E1} = \frac{6070 \text{ W} * 4100 \text{ h}}{61\,500 \text{ m}^2} = 404,7 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \approx 0,40 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

Energiatõhususnäitajate arvutuste kokkuvõtte on toodud tabelis 3.1 ja tulemuste analüüs ning järeldused peatükis 3.2.3.

3.2.3 Energiatõhususnäitajate analüüs

Arvutatud energiatõhususnäitajaid saab võrrelda omavahel ning ka standardis EVS-EN 13201-5 välja toodud tüüpväertustega. Arvutustulemused ning standardi tüüpväertused on välja toodud tabelis 3.1. Tabelist on näha, et enne valgustite vahetamist energiatõhususnäitajate arvutuste tulemused on väga sarnased standardis toodud tüüpväertustele naatriumvalgustite kohta. See tähendab, et valitud piirkonna algandmed ning ka keskmise rõhhtasandilise valgustustiheduse hooldeväärtus on korrektelt valitud ning piirkonna energiatõhususnäitajad vastavad normidele. Erivõimsusnäitaja on standardis tooduga võrreldes väiksem, kuid seda saab põhjendada madala keskmise valgusti nimivõimusega antud piirkonnas.

Tabeli 3.1 andmete põhjal saab väita, et peale valgustite vahetamist energiatõhususnäitajad paranesid vähemalt kaks korda. Energiatõhususnäitajad on ka standardis tooduga oluliselt madalamad, mis tähendab, et valitud valgustid on antud piirkonnale väga hästi valitud ning tänavad on valgustatud võimalikult väikese energiakuluga. Näidispiirkonnas olevad valgustid on väga energiatõhusad ning valgustavad kogu ala ära minimaalse energiakuluga. See aga tähendab, et piirkonna peale kuluv elektrienergia rahaline sääst on standardis tooduga võrreldes veelgi suurem ning selle arvelt on võimalik elektrienergia pealt kulutusi kokku hoida.

Tabel 3.1. Veskimetsa piirkonna energiatõhususnäitajad

Tee liik	Režiim	Erivõimsus- näitaja naatrium- valgusti korral $\frac{mW}{m^2 * lx}$	Erivõimsus- näitaja leedvalgusti korral $\frac{mW}{m^2 * lx}$	Aastane energia- tarbimis näitaja naatrium- valgusti korral $\frac{Kwh}{m^2}$	Aastane energiatarbimis näitaja leedvalgusti korral $\frac{Kwh}{m^2}$
Sõidutee: Valgustusklass M5, teekujundus B [25]	Standardis välja toodud tüüpväärtused	60	27	1,8	0,8
	Enne valgustite vahetamist	52	-	1,85	-
	Peale valgustite vahetamist	-	11	-	0,4

3.3 Tasuvusarvutuste analüüs

Käesoleva lõputöö eesmärk on uurida, kas näidispiirkonna näitel olemasolevat taristut on mõttekas hooldada rikkepõhiselt, hoolduskava järgi või uuendada olemasolevat taristut ning luua peaaegu hooldusvaba võrk. Käesolevas peatükis teostavate tasuvusarvutuste põhjal peaks selguma, et kas ja kui palju peaks taristu hooldusele rõhku panema. Arvutustest saab järeldada, et mis võiks olla hooldustööde maksumus, kui palju maksab taristu uuendamine ning kui suur sääst on võimalik saavutada hooldustööde ning elektrienergia pealt kokku hoides.

Näidispiirkond sisaldab ca 8,2 km asfaltkattega valgustatud teid, kus liikluskoormus on madal ning kus peamiselt on kasutusel üks sõidusuund. Piirkonda läbib üks suurem tänav (Tuuliku tee), mida kasutatakse ka nõ läbikäigutänavana ning ülejäänud tänavad on peamiselt kohalikele liiklejatele. Üldiselt on kõik piirkonnas olevad tänavad kas valgustusklassis M5 või M6, ehk kõige madalamasse valgustusklassi kuuluvad [24]. Kogu piirkonnas asub valgustus jaotusvõrgu mastidel ja seega õhuliinikoridore, maste, tõmmitsaid, tugesid jne hooldab jaotusvõrgu haldaja kohalikule omavalitsusele lisakulusid tekitamata. [6]

Veskimetsa piirkond asub Tallinnas ja seega on tänavavalgustuse hoolduslepingu kohaselt fikseeritud ka rikete eemaldamise ajad. Ühe tähtsaima punktina on välja toodud, et valgusti mitte töötamise korral tuleb see korrastada kolme päeva jooksul, mis tavaolukorras tähendab, et riknenud valgusallikaga valgustit lülitatakse sisse kuni kolm korda. Allika põhjal saab väita, et väga oluline on vältida valgusallika riknemise, puudumise või halva kontakti korral valgusti tühisüütamist, mil starter ning ballast edutult tööd peavad tegema. Tühisüütamiste korral väheneb valgusti komponentide eluiga oluliselt ning valgusti töökindlus väheneb kiirelt. [8]

Seega saab väita, et kui rikkeline valgusallikas jätta võrku pikemaks ajaks, lühendab see ülejäänud valgusti komponentide eluiga ja seega võib hilisem taastusremont valgusti elektroonikakomponentide vahetamise võrra kallimaks minna. Tallinnas see linnale lisakulu ei ole, sest valgusallikate, starterite ja drosselite vahetamine on võrgu hooldaja kohustus. Siiski võib tekkida ka olukordi, kus mõne komponendi asendamisega valgusti tööle ei hakka ja seega peab välja vahetama kogu valgusti. See kategoriseerib juba taastusremondi alla, mis on tellijale lisakulu.

Taastusremondi alla kuulub ka valgusti toiteliiniga seotud tööd, kui liini tuleb remontida, asendada või ümber ehitada. Veskimetsa piirkonnas on õhuliin paigaldatud 90-ndatel ja seega saab väita, et lähiajal täitub õhukaabli eluiga ja rikete hulk sageneb. Liinil võib sageda isolatsiooni, klemmide või kandetrosside amortiseerumisega seotud rikked. Antud piirkonnas on taolisi rikkeid keskmisel 1-3 tk aasta ning rikete taastamise keskmine maksumus jääb keskmiselt 500 € piiresse ühe rikke

kohta. Halva kontakti puhul võib lisakulu tekkida ka rikkekoha otsimisel, sest rike ei pruugi defekteerimise käigus koheselt välja tulla ning rikkele tuleb reageerida korduvalt. [6]

Käesoleva töö tasuvusarvutuste eesmärk on leida, et kas olemasolevaid valgusteid oleks soodsam hooldada rikkepõhiselt, hoolduskava järgi või tuleks vanad valgustid leedvalgustite vastu välja vahetada. Antud peatükis ei ole seega uuritud mastide, liinide, juhtimissüsteemide ja kilpidega seotud tööde maksumusi ja arvutustes neid ei käsitleta. Eelnimetatud töödega seonduvad kulud on loetud võrdsed olenemata sellest, kas valgusteid vahetatakse või mitte. Samuti ei olene valgustite vahetamisest liiklusavariide, vandalismi, varguse ja muude vigastustega seotud kulutuste summa ja ka neid komponente antud tasuvusarvutustes ei käsitleta. Kulude analüüsimiseks on koostatud tabelid 3.2, 3.3 ja 3.4, milles on ära toodud näidispiirkonna valgustuse tagamise kulud järgmise 20 aasta jooksul. 20 aastat on perioodina valitud seetõttu, et näidispiirkonda paigaldatud valgustite eluiga on 100 000 töötundi (paigaldatud valgusti Philips Digistreet tooteleht on toodud lisana 2) ehk ca 20 aastat ning see peaks olema piisavalt pikk periood kulude hindamiseks ning analüüsimiseks.

3.3.1 Näidispiirkonna ülalpidamiskulud

Antud piirkonnas on viimase kolme aasta jooksul registreeritud keskmiselt 12 valgusti riket aastas. Piirkonnas on peamiselt jaotusvõrgu mastid ja kuna liinikoridorid on jaotusvõrgu hooldada, siis saab eeldada, et enamik rikkeid on seotud valgustite, kilpide või juhtimissüsteemidega [26]. Rikete statistikast selgus, et enim rikkeid oligi seotud valgusallika kustumisega ning rike sai eemaldatud valgusallika vahetamisega. Samas olid ligi 30% riketest seotud valgusti toitekaabli, liini kontaktühenduste või muude sarnaste riketega, mis Tallinna välisvalgustuse hoolduslepingu alusel akteeritakse eraldi ning seetõttu on ka tellijale lisakulud.

Valgustustaristu töös hoidmiseks on kaks võimalust- hooldada ja korrastada võrku vastavalt hoolduslepingule või korrastada võrku rikkepõhiselt vastavalt vajadusele. Muidugi on ka piirkondasid, kus valgusti rikkele ei reageerita koheselt ning selle eemaldamine ei ole kohalikul omavalitsusel prioriteetne ülesanne, kuid antud juhul on arvestatud, et igale rikkele reageeritakse koheselt. Kohalike omavalitsuste seas on levinud ka rikete likvideerimise meetod, kus kogutakse mingi perioodi vältel kogunenud rikked kokku (tavaliselt korra 1-2 kuu jooksul) ning seejärel tellitakse riketele korrastamine ühe tellimusena, et hoida riketele reageerimise pealt kulusid kokku. Siiski analüüsitakse käesolevas peatükis tasuvust kvaliteetse teenuse puhul tagades elanikele ohutu keskkond ja seega peab igale fikseeritud rikkele reageerima ning selle ka likvideerima koheselt [26]. Tasuvusarvutustes ei ole arvestatud hoolduslepinguga seotud lisakulusid, sest need on sõltuvalt piirkonnas väga erinevad ning valitud piirkond oli vaid osa suuremast lepingust.

3.3.2 Kõrgrõhu-naatrium valgustitega võrgu ülalpidamiskulud

Tabelites 3.2 ja 3.3 on toodud antud näidispiirkonnas vana taristu ülalpidamiskulud, mille hulka on arvestatud aasta jooksul hinnanguliselt tarbitav elektrienergia maksumus ning valgusti rikete likvideerimise kulud. Tulpades on eraldi välja toodud hinnapakumiste põhjal koostatud erinevate rikete likvideerimise maksumused, kogused ning nende põhjal arvestatud aastased maksumused. Viimases tulbas on arvestatud kulud 20 aasta jooksul võttes aastaseks inflatsioonimääraks 3% nii elektrihinna kui ka remonttööde puhul.

Tabelis 3.2 on toodud olemasoleva vana taristu hoolduskulud 20 aasta jooksul ilma hoolduslepinguta, s.t. rikete likvideerimine toimub vastavalt rikete esinemisele ning nende korrastamine vastavalt rikke tüübile ning konkreetsele maksumusele. Antud tabelis võetud tööde mahud on viimase kolme aasta statistikale tuginedes aasta jooksul esinenud rikete summad. Seega on aastas keskmiselt kaheksal valgustil vaja vahetada valgusallikas, neljal juhul kas starter või ballast, rikkele reageerimiseks läks aasta jooksul ca 25 tundi [26]. Tabelis ei ole välja toodud eraldi taastusremonttöödega seotud kulud, need akteeritakse eraldi hinnapakumiste maksumuse järgi.

Tabeli 3.2 järgi saab järeldada, et peamine kulu valgusti rikked on reageerimise kulu, mis moodustab ca 80% kogu rikke taastamise maksumusest. Valgusallika, starteri ja ballasti maksumus on vahemikus 5 kuni 25 €, kuid iga rikke puhul peab eraldi välja sõitma, lisandub maksumusele tööle kulunud aeg. Tabelis on eraldi reana välja toodud ka rikkele reageerimise maksumus. See on tellija lisakulu hoolduslepingu puudumisel, kui hooldaja peab ükskõik millise rikke tõttu objektile välja sõitma ka näiteks taastusremonttööde, avariide, liini rikete ja mööduvate lühiste korral. Antud kulutusi ei kanta taastusremonttööde maksumusele juurde vaid kujutatakse eraldi real, mistõttu on antud kulu ka tabelis 3.2 välja toodud. Kulude kokkuvõtte ja analüüs on toodud peatükis 3.4.

Tabel 3.2. Valgustuse tagamise kulud rikkepõhise hoolduse puhul

Rikkepõhine hooldus	Maksumus	Kogus aastas	Kulu aastas	Kulud 20 aasta peale kokku
	€/ kWh	kWh	€	€
Elektrienergia kulu	0,15	113 980	17 097	459 403
Valgusallikate asendamine	70	8	560	15 047
Muude komponentide asendamine	80	4	320	8 599
Rikkele reageerimine	65	25	1625	43 664
Kokku			22 852	614 042

3.3.3 Kõrgrõhu-naatrium valgustitega võrgu ülalpidamiskulud hoolduskava järgi

Tabelis 3.3 on välja toodud plaanilise hoolduse kulud vanade kõrgrõhu-naatrium valgustitega taristu töös hoidmiseks. Tabelis on arvestatud, et kõikide valgustite valgusallikaid vahetatakse korra viie aasta jooksul, mil tehakse taristule täishooldus. Tabel on jaotatud kaheks: ühel puhul on arvestatud, et tellijal on hooldusleping ning valgusti rikete eemaldamine ei ole lisakulu. Tabeli alumine osa analüüsib olukorda, kus hoolduslepingut ei ole ja rikkeid likvideeritakse rikkepõhiselt, kuid iga viie aasta tagant teostatakse kogu piirkonnale täishooldus. Seega tabelis analüüsitakse olukorda, kus valgustite rikkeid likvideeritakse võrdses mahus, erinev on vaid hoolduste läbiviimise kord.

Ühel juhul on tellijale hooldusleping ning valgusti rikete eemaldamine ei ole lisakulu. Hoolduslepingu olemasolul on võrk pidevalt hooldatud ning ka rikkeid eemaldatakse vastavalt lepingus väljatoodule. Teisel juhul hoolduslepingut aga ei ole ja seega peab iga rikke likvideerimise eest eraldi tasuma. Kuludele lisandub iga viie aasta tagant teostatav täishooldus, mille tänane maksumus on kogu piirkonna kohta 3000 €. Täishoolduse puhul peab hooldaja vahetama kõik lambid, tegema mõõtmised, auditit, lõikama oksid, pingutama ja õiguma liinid, mastid ja tõmmitsad, värvima ja taastama kilbid, kõik ühendused ja klemmid üle käima, puhastama/pesema kuplid, ühtlustama faseeringud ja koormused jne. Antud tööde mahu puhul on materjali maksumus ca 1000 €, tööd ca 2000 €. Täishoolduse täpne kirjeldus ja ka tööde mahud on kirjeldatud peatükis 1.4.

Tabel 3.3. Valgustuse tagamise kulud plaanilise hoolduse puhul

Plaaniline hooldus	Maksumus	Kogus aastas	Kulu aastas	Kulud 20 aasta peale kokku
	€/ kWh	kWh	€	€
Elektrienergia kulu	0,15	113980	17097	459 403
Valgusallikate asendamine	0	0	0	-
Muude komponentide asendamine	0	0	0	-
Rikkele reageerimine	0	0	0	-
Iga-aastane	600	1	600	16 122
Täishooldused	3000	1/5		20 089
Kokku lepinguga			17 697	495 614
Valgusallikate asendamine	70	8	560	15 047
Muude komponentide asendamine	80	4	320	8 599
Rikkele reageerimine	65	25	1625	43 664
Täishooldused	3000	1/5		20 089
Kokku lepinguta			19 602	546 802

Tasuvusarvutustes peaks arvesse võtma ka täishoolduse käigus vahetatud valgusallikate mõju elektrienergia tarbimisse. Võttes aastaseks põlemistundide arvuks 4100 h, keskmiseks elektriinnaks 0,15 €/ kWh eest ja lisades ka käibemaksu, saame arvutada valgusti ja valgusallika kohta tehtava lihttasuvusarvutuse tuginedes peatükist 2.2 saadud andmetele. Myra 70 W kasutatud valgusti- ja valgusallika puhul aastane tarbimise maksumus ca 74,1 €, kasutatud valgusti, kuid uue valgusallika puhul ca 72,8 €, kuid uue valgusti- ja valgusallika puhul 68,7 €. Siit saab järeldada, et valgusti vahetamisel uue vastu on võimalik aastas kokku hoida vaid 5,4 €, valgusallika vahetamisel aga vaid 1,3 €. Valgusti hind on 93,2 € [16], millele lisandub uue valgusallika hind 7,6 € [16] ja seega saame järeldada, et valgusti, aga ka valgusallika vahetamisel elektrienergialt erilist säästu teki. 100 W valgusallikaga kasutatud valgusti puhul ei olnud vahet, kas valgusallikas on uus või kasutatud, sest valgusti nimivõimsus oli sama ning aastane elektrienergia kulu oli mõlemal juhul ca 94,3 €. Uue valgusti ning valgusallika puhul on arvestatav elektrienergia kulu aga 87,1 € ja seega on ühe valgusti kohta võimalik elektrienergialt sääst 7,2 € aastas.

Uurides Tallinnas juhuslikult välja valitud kümne lülitus- jaotusseadme (LJS) piirkonna rikete esinemise sagedust enne ja peale täishoolduse läbiviimist saab teha järelduse valgusallikate vahetamise mõjust valgusti riketele. Uuriti kümne LJS piirkonnas fikseeritud valgusti rikete hulka aasta piires vahemikus 2017- 2019. Kõikidel valimis olnud kilbiipiirkondadel teostati täishooldus jaanuaris või veebruaris 2018, seega oli uuritava perioodi vahemik üks aasta enne kuni üks aasta peale täishoolduse teostamist. Arvestatud on vaid nende riketega, kus valgusti enam ei töötanud valgusallika või valgusti komponendi rikke tõttu ning mis sai korrastatud ilma taastusremonttööd teostamata.

Rikete statistikast selgus, et kõikide piirkondade peale kokku fikseeriti aasta jooksul enne täishoolduse teostamist 133 riket. Aasta jooksul peale täishoolduse teostamist fikseeriti samadel LJS-es 63 riket. Siit saab aga järeldada, et täishoolduste teostamisel väheneb valgusti rikete arv 53%. Seega saab järeldada, et täishoolduse läbinud piirkonnas väheneb oluliselt valgusti rikete hulk, kuid siiski ei saa eeldada, et võrk on rikkevaba ja valgustid töötavad korrektselt. Kulude kokkuvõtte ja analüüs on toodud peatükis 3.4.

3.3.4 Uuendatud võrgu ülalpidamiskulud

Tabelis 3.4 on välja toodud näidispiirkonna uuendatud taristu töös hoidmise kulud arvestades, et näidispiirkonnas vahetatakse esimesel aastal välja kõik valgustid nii nagu seda tehti 2018. aastal Veskimetsa näidispiirkonnas. Tabeli ülemine osa kirjeldab piirkonna taristu hooldust vastavalt kehtestatud hooldusplaanile, kuid antud piirkonnas ei teostata täishooldusi. Täishooldusi ei ole leedvalgustite puhul vaja teostada, sest valgusti rikkeid on vähe, võrk on stabiilne ning lühiseid seetõttu vähem. Arvestades, et valgustid, toitekaablid ja klemmid on korrektselt paigaldatud, saame eeldada, et valgusti rikkeid ei ole. Tabelis 3.4 on arvestatud, et esimesed 5 aastat on valgustitel garantii ning valgusti rikkeid ei ole ning edaspidi on valgustite rikkelisus 5% kogumahust ehk valgustite eluea vältel (20 aastat) vajab vahetust 12 valgustit. Tabeli alumine pool analüüsib olukorda, kus peale valgustite vahetamist hoolduslepingut ei ole ja rikkeid eemaldatakse vastavalt vajadusele, mille eeldatav maht on 1 rike aastas ning kulu on valgusti vahetamise summa.

Tabel 3.4. Valgustuse tagamise kulud plaanilise hoolduse puhul peale investeeringut

Peale investeeringut	Maksumus	Kogus aastas	Kulu aastas	Kulud 20 aasta peale kokku
	€/ kWh	kWh	€	€
Elektrienergia kulu	0,15	24 887	3 733	100 308
Investeeringu maksumus	89 400	1	89 400	89 400
Valgustite asendamine	350	0,76	265	7 116
Rikkele reageerimine	-	-	-	-
Iga-aastane	600	1	600	16 122
Kokku lepinguga			93 998	212 947
Valgustite asendamine	350	1	265	7 116
Rikkele reageerimine	65	1	65	1 747
Kokku rikkepõhine			93 463	198 571

3.4 Näidispiirkonna tasuvusarvutuste kokkuvõte

Tasuvusarvutuste kokkuvõte on toodud välja tabelites 3.5 ja 3.6. Tabelis 3.5 on välja toodud võrdluseks kõikide eelnimetatud variantide rikete likvideerimise ja hoolduskulud aastas ning esitledes neid 20 aasta peale kokku. Tabelist selgub, et kõige soodsam on hooldada taristut siis, kui on paigaldatud leedvalgustid. Arvutuste kohaselt oleks soodsam antud piirkonnas mitte plaaniliselt hooldust teostada vaid valgusti rikkeid likvideerida rikkepõhiselt töid sisse tellides. Uuendatud valgustite puhul hoolduskava järgi hooldades on kulu küll veidi suurem, kuid selle eest tagatakse kontrollitud ning nõuetele vastav võrk.

Kõrgrõhu-naatrium valgustitega taristut on oluliselt kulukam hooldada, sest pidevalt on vaja vahetada valgusallikaid või muid valgusti komponente. Tasuvusarvutustest selgus, et kõige kulukam on taristut hallata hoolduskava järgi, kui ei ole hoolduslepingut ning kõik tööd tellitakse eraldi sisse. See tähendab, et fikseeritud kuluna on iga viie aasta tagant teostatav täishooldus kogu piirkonnale, kuid ülejäänud aja jooksul tekkinud rikked kõrvaldatakse lisaraha eest. Samuti teostatakse võrgule iga-aastast hooldust, mida samuti eraldi sisse tellitakse. Tabelist 3.2 selgub, et näidispiirkonna valgusti rikete eemaldamiseks on väga kulukas rikete likvideerimine eraldi sisse osta ning võrgu rikkepõhiselt hooldada. Antud meetodi puhul on peamiseks kuluks rikke puhul objektile sõit, sest see moodustab valgusti rikke eemaldamise maksumusest ca 80%. Antud variant on ka hooldajale väga ajakulukas, sest rikete esinemist on raske ette prognoosida, kuid rikke esinemisel koheselt reageerida.

Kõrgrõhu-naatrium valgustitega taristu puhul on kõige soodsam taristut kava järgi hooldada ning hoolduslepingu raames on valgusti rikete likvideerimine ilma lisakuludeta. Hoolduslepingu olemasolul on rikete likvideerimine 20 aasta jooksul üle 50 000 € võrra soodsam. Tasuvusarvutuste näitel on hoolduskava järgi taristu töös hoidmine soodsam kui mistahes teine variant. Antud variandi puhul ei ole arvestatud hoolduslepingu enda maksumusega, sest valitud piirkond on vaid väike osa lepingu kogumahust mille tõttu lepingu maksumust nii väikesele piirkonnale ei ole võimalik prognoosida. Siiski saab tasuvusarvutuste puhul näidispiirkonna näitel väita, et kõige õigem ning ka soodsam on naatriumvalgustite puhul jätkata hooldustega samas mahus, mis praegu hoolduslepingus on fikseeritud.

Tabeli 3.5 põhjal saab väita, et antud piirkonna näitel on välisvalgustuse hooldamiseks kõige soodsam variant vanad kõrgrõhu-naatrium valgustid leedvalgustite vastu välja vahetada. Kuna leedvalgustitega võrk on antud piirkonnas peaaegu hooldusvaba, on rikete eemaldamine 20 aasta jooksul võrreldes vanade valgustitega oluliselt soodsam. Arvutuste kohaselt tasuks läbi mõelda, et millist hooldust antud piirkonnas peale valgustite vahetamist vaja teostada on ning võimalusel

tuleks kaaluda hoolduste ja rikete haldamist ilma traditsioonilise hoolduslepinguta, sest Veskimetsa piirkonnas paigaldatud valgustite rikkestatistika näitab, et rikkeid esineb vähe (kui üldse) ning arvestades valgustite rikkelisuse osakaaluks 5% 20 aasta jooksul, oleks soodsam antud tööd eraldi tellida.

Tabel 3.5. Valgusti rikete ja hoolduse kulud erinevate variantide puhul

Hoolduse viis	Kulu aastas	Kulu 20 aasta peale kokku
	€	€
Rikkepõhine	2505	67 310
Plaaniline hooldus lepinguga	1604	36 211
Plaaniline hooldus lepinguta	3509	87 399
Peale investeringut lepinguga	865	23 238
Peale investeringut rikkepõhine	330	8 863

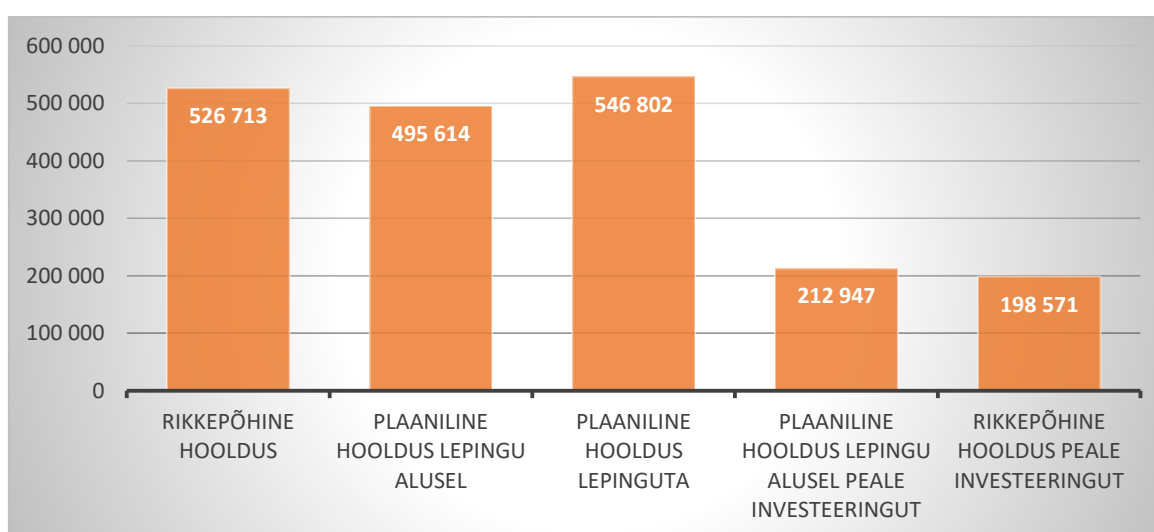
Kogukulude võrdlemiseks on tabelis 3.6 on välja toodud erinevate hooldustüüpide maksumus koos elektrienergiaga 20 aasta peale. Tabeli põhjal saab järeldada, et 20 aastase perioodi korral on hoolduste kulu on võrreldes elektrienergia kuluga marginaalne. Tabelist saab järeldada, et võrreldes naatriumvalgustite töös hoidmise ja hooldamisega on igal juhul oluliselt soodsam valgustite vahetamine leedvalgustite vastu. Kui hoolduse pealt on 20 aasta jooksul võimalik säästa olenevalt hoolduse tüübist 25- 80 000 €, siis elektrienergia pealt on sääst 20 aasta jooksul juba üle 350 000 €. Tabelist 3.4 selgub, et peale valgustite vahetamist on elektrienergia kulu vähenenud üle nelja korra ning hooldustele kuluv summa on samuti oluliselt väiksem. Seega saab järeldada, et valgustite vahetamisel leedvalgustite vastu on hoolduse ning elektrienergia pealt 20 aasta jooksul võimalik säästa ca 400 000 €.

Tabeli 3.6 puhul on arvestatud ka esimesel aastal teostatav valgustite vahetamise investeering suurusjärgus 89 400 €, mis on ühekordne kulu. Antud summat oleks võimalik ka 20 aasta peale ära jaotada- seda saab teha näiteks kas pangalaenuga või siduda investeeringu maksumus hoolduslepinguga. Viimasel juhul oleks võimalik investeeringu maksumust hajutada 20 aasta peale võrdsete kuumaksetega ning valgustite vahetamise esialgse investeeringu teeks taristu hooldaja. Sellisel juhul oleks mõistlik kaaluda valgustusvõrgu täisteenus lepingut, mille käigus on tellijal võrgu töös hoidmiseks fikseeritud maksumus ning võrgu hooldaja vastutab võrgu toimimise eest täies ulatuses. Täisteenus leping sisaldab antud piirkonnas kõikide valgustite vahetamist, valgustuse juhtimist ning võrgu haldamist, rikete juhtimist, ennetamist ning likvideerimist.

Tabel 3.6. Tasuvusarvutuste kokkuvõte

Hooldus viis arvestades ka elektrienergia maksumust	Kulu aastas	Kulu 20 aasta peale kokku
	€	€
Rikkepõhine hooldus	19 602	526 713
Plaaniline hooldus lepingu alusel	18 701	495 614
Plaaniline hooldus lepinguta	20 606	546 802
Plaaniline hooldus lepingu alusel peale investeringut	93 998	212 947
Rikkepõhine hooldus peale investeringut	93 463	198 571

Tasuvusarvutuste põhjal saab väita, et Veskimetsa piirkonnas teostatud valgustite vahetus oli igati õigustatud ning arvutuste näitel on antud piirkonna hoolduskulude ning elektrienergia pealt 20 aasta jooksul võimalik säästa ca 350 000 € ja peamiselt on sääst tingitud vähenenud elektrienergia tarbimisest. Tasuvusarvutuste põhjal saab väita, et täishoolduste käigus tehtud valgustite vahetamise tõttu rikete arv järgmise aasta jooksul küll langeb, kuid ei kao ära. Samuti selgus, et uute valgusallikate tõttu tarbimine väheneb marginaalselt ning ei ole teada, kui kaua tarbimine kasutatud valgusallikaga võrreldes madalam on. Tasuvusarvutustes määratud tööde maksumused on koostatud hinnapakumiste põhjal, kuid tööde mahud (sh hooldustööde mahud) on valitud vastavalt kehtivale hoolduslepingule [5]. Hooldustööde mahtude vähendamisel või hooldusvälba muutmisel on võimalik kulusid kokku hoida ning seejärel tuleks küsida uued hinnapakumised ja koostada uus tasuvusarvutus. Tabeli 3.6 põhjal on koostatud joonis 3.10, millel on kujutatud välisvalgustuse tagamise kulud järgmise 20 aasta jooksul erinevate hooldusviiside puhul. Analüüsi tulemuna peaks taolisi valgusti vahetamise projekte veel läbi viima. Soovituslikult oleks järgmiseks piirkonnaks juba eelnevalt pakutud Pelgulinna piirkond, mis on välja toodud ka joonisel 3.2.



Joonis 3.10. Erinevate hooldusviiside maksumused arvestades ka elektrienergia maksumust 20 aasta jooksul

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärk oli uurida näidispiirkonna näitel, kas olemasolevat taristut oleks mõttekas hooldada rikkepõhiselt, hoolduskava järgi või uuendada olemasolevat taristut ning luua peaaegu hooldusvaba võrk. Lisaks oli eesmärgiks analüüsida kõrgrõhu-naatrium valgustitega võrgu hooldamise tulemusi ning selle mõju valgustuse parendamisel. Töö tulemusena selgus tänavavalgustite valiku analüüs lähtuvalt kasutuskogemusest ning tasuvusarvutustest.

Viimaste aastate jooksul on valgustite arv Tallinna välisvalgustusvõrgus pidevalt kasvanud ning uuenenud, sest toimub pidev võrgu juurdeehitus ning taristu uuendamine. Võrgu töökindluse tõstmiseks asendatakse igal aastal välja vähemalt 200 vana ja amortiseerunud raudbetoonmasti, ca 15 km õhuline isoleeritud keerdrippkaabli või maakaabli vastu ning vahetatakse välja või paigaldatakse juurde ca 1500 valgustit. Pidevalt hooldatakse välisvalgustitaristut, et tagada selle elementide korrasolek ning ennetada rikkeid. Tallinnas peab vastavalt hoolduslepingule täishoolduste käigus ära vahetama kõik vanad valgusallikad uute samaväärsete vastu. Sellist nõuet varasemalt rakendatud ega uuritud ei ole ning seetõttu ei ole ka valgusallikate vahetamise mõju üldise valgustuse ning rikete statistikale tuginevalt varem uuritud.

Tallinnas on kõrgrõhu-naatrium valgustite osakaal kõikidest valgustitest ligi 80% ja 2018. aastal ligi 6200-st fikseeritud rikkest olid 2500 riket seotud valgusti või selle komponendi rikkumisega. Naatriumvalgusti puhul peamiseks rikke põhjuseks valgusallika kustumine, ebaühtlane töötamine või vilkumine. Leedvalgusteid on Tallinnas ligi 7400 ning nendega seotud rikkeid fikseeriti aasta jooksul vaid ca kümme. Leedvalgustite puhul ongi eeliseks väheste rikete esinemine, pikem tööiga (kuni 20 aastat), hooldusvaba tehnoloogia ja energiasäästlikkus. Kõrgrõhu-naatrium valgusallika eluiga on tavaoludes aga vaid kuni kuus aastat, mis langebki kokku praeguse täishoolduse käidukavaga, mille kohaselt viie aastase lepingu jooksul peaksid kõik kilbid saama ühe korra täishoolduse.

Uurimaks valgusallika vahetamise tulemusi valgusti parameetritele teostati Tallinna Tehnikaülikooli valgustehnika laboris mõõdistused. Eesmärgiks oli uurida valgustite optiliste ja elektrotehniliste parameetrite muutumist valgusallika vahetamisel. Kõik neli mõõdistatud kõrgrõhu-naatrium valgusallikaga valgustit SBP MYRA olid ühesugust marki, aga kahe erineva võimsusega, millest kummastki oli üks uus ning teine kasutatud valgusti. Lisaks naatriumvalgustitele mõõdistati ka leedvalgusti Philips Digistreet BGP760. Töös käsitleti eelkõige kasutatud valgusteid ja nende hooldust ning seetõttu oli ka leedvalgusti kasutatud. Valgustite mõõtmiseks kasutati valgusvoo fotomeetrilist kera ning spektroradiomeetrit.

Möötetulemustest selgus, et kõige suurema tarbimisega oli kasutatud valgusti vana valgusallikaga. Kõige väiksemad on antud näitajad aga uute komponentide puhul, kui stardivool väheneb 6% ja töövool 13%. Tulemustest selgus, et kõrgrõhu-naatrium valgusti tegelik võimsus on kasutatud valgusti puhul ligi 30% kõrgem kui tootelehel märgitud. Selgus, et kasutatud valgusti valgusallika vahetamisega märgatavat energiasäästu ei saavutatud, kuid kui paigaldada kasutatud valgusti asemel uus valgusti ja vahetada sellel ka valgusallikas, saavutatakse energiasääst ca 10%. Sarnase järelduse saab teha ka valgustite valgusviljakuse kohta, kui uue valgusti paigaldamisel tõuseb valgusviljakus 20% võrrelduna kasutatud valgustiga. Philips Digistreet leedvalgusti puhul erineb mõõdetud valgusviljakus tootelehel märgitust ca 21%, mis võib olla tingitud kasutatud mõõtemetoodikast, mõõteveast või valgusti omadustest.

Valguse mõõdistamisel tänaval teostati kokku neljal lõigul Tallinnas, millest kaks asus näidispiirkonnas Veskimetsa tänaval ning kaks lõiku asusid Tallinnas Astri tänaval. Antud lõigud valiti peamiselt selle põhjal, et kõrgrõhu-naatrium valgustitega lõigul oleks valgusallikad veel vahetamata ning mõõdistatud lõigud oleks sarnaste parameetritega. Heleduse mõõdistusi teostati Veskimetsa tänaval ühe korra ning Astri tänaval kaks korda- nii enne, kui ka peale täishoolduse teostamist, et mõõdistada täishoolduse käigus valgusallikate vahetamise tulemusi.

Mõõtmistulemustest selgus, et valitud lõikudel olev naatriumvalgustitega välisvalgustus ei vasta kehtivatele standarditele. Peale valgusallikate vahetamist samal lõigul teostatud mõõtmise tulemustest selgus, et sõidutee valgustust iseloomustavad parameetrid (keskmine heledus, üld- ja pikiühtlus) on kohati paranenud, kohati halvenenud ning osaliselt jäänud muutumatuks. Mõõdistatud leedvalgustitega lõigu valgustus aga peamiselt vastas nõuetele, kuid ilmselt tänu valgusti valgusvoo langemisele tekkis probleeme pikiühtluse standardkohase normi täitmisel.

Üldine valgustus on aga Veskimetsa piirkonnas ühtlane ning valge valguse puhul on objektid paremini eristatavad ning samuti puudub valgusreostus. Selgus, et kõrgrõhu-naatrium valgustite puhul valgusallikate vahetamine tõstab valgustite valgusviljakust, mis suurendab valgusti omaduste tõttu oluliselt ka valgusreostust. Rikete statistikat analüüsid ilmsel, et täishoolduste teostamisel väheneb aasta jooksul valgusti rikete arv võrreldes hooldusele eelnenud aastaga üle 50%, kuid siiski ei saa eeldada, et võrk on rikkevaba ja valgustid töötavad korrektselt.

Tasuvusarvutustest selgus, et kõrgrõhu-naatrium valgustitega taristut on oluliselt kulukam hooldada, sest pidevalt on vaja vahetada valgusallikaid või muid valgusti komponente. Arvutuste näitel on naatriumvalgustitega võrgu puhul hoolduskava järgi taristu töös hoidmine soodsam kui mistahes teine variant. Siiski saab valitud piirkonna näitel väita, et kõige soodsam on naatriumvalgustite puhul jätkata hooldustega samas mahus, mis praegu Tallinna hoolduslepingus

on fikseeritud. Selgus, et valgusallikate vahetamist võiks tulevikus jätkata, kuid täishooldustööde mahtu vähendada, et hooldustööde pealt raha kokku hoida. Tasuvusarvutused keskendusid valgusti valikule ning seega ei ole uuritud mastide, liinide, juhtimissüsteemide ja juhtimiskilpidega seotud taastusremonttööde maksumusi.

Töös käsitletud näidispiirkonnas välisvalgustuse tagamiseks kõige madalama maksumusega variant on vanad kõrgrõhu-naatrium valgustid leedvalgustite vastu välja vahetada. Analüüsi tulemusel selgus, et leedvalgustitega võrk näidispiirkonnas on peaaegu hooldusvaba ja rikete eemaldamise kulu 20 aasta jooksul on võrreldes vanade valgustitega oluliselt madalam. Tasuvusarvutustest tuli välja, et valgustite vahetamisel leedvalgustite vastu on hoolduse ning elektrienergia pealt 20 aasta jooksul võimalik säästa ligi 400 000 €. Uuendatud võrgu puhul tuleks kaaluda hoolduste ja rikete haldamist ilma hoolduslepinguta, sest Veskimetsa piirkonnas paigaldatud valgustite rikkestatistika on näidanud, et rikkeid on vähe ning seega oleks soodsam rikke puhul korrastamine tellida eraldi.

SUMMARY

The purpose of this thesis was to research by an example area, if the existing infrastructure should be serviced in case of failures, by a maintaining schedule, or renewed to create a mainly service free network. An additional purpose was to analyse the results of high-pressure sodium luminaire network maintenance and its effect in improving lighting. As a result of this thesis the analysis of street lighting selection was clarified based on experience and profitability calculations.

With the number of outdoor luminaires constantly increasing in Tallinn's infrastructure there is an increased need for maintaining to prevent failures and it to ensure that all elements are working. Of all the outdoor luminaires, more than 80% are high-pressure sodium luminaires. In 2018 from close to 6200 fixed failures, over 2500 happened because the lamp or one of luminaire's components had deteriorated. The main issue with sodium lamps is that the light goes out, works unevenly or flickers.

There are 7400 LED (light-emitting diode) luminaires in Tallinn and there were only about ten fixed failures about them. The advantages of LED luminaires is very few failures, longer lifetime (up to 20 years), maintenance free technology and low energy consumption. The working time of sodium lamps in usual conditions is about six years, and by the maintenance schedule in place now, they should be maintained once every five years.

The measurements of lighting technology were done in laboratory in Tallinn University of Technology. The aim was to study the change of optical and electrotechnical parameters of luminaires when changing the light source. The luminous flux photometric sphere and the spectroradiometer were used to measure the luminaires.

The measurement results showed that the most energy was consumed by a used luminaire with an old light source. It also became clear that if an old light was replaced with a new one with a new light source, the energy save would be about 10%. A similar conclusion can be drawn regarding the luminous efficacy of lights, when the luminous efficacy of a new light was increased by 20% compared to a used luminaire.

The luminance measurements were also done on four street sections in Tallinn, of which two were on Veskimetsa street and two on Astri street. These sections were chosen because the high-pressure sodium lamps had not been changed yet and the parameters of the sections were similar. The results of these measuring showed that sections with sodium luminaires are not up to the current standard. After changing the lamps in the same section, the measurements showed some

improvement, some deterioration and some unchanges in the lighting parameters on the road (average road surface luminance, longitudinal and overall uniformity).

Measured LED luminaire sections were mostly up to the current standard but probably due to the decrease in the luminous flux of the luminaire, there was a problem in meeting the standard of longitudinal uniformity. The overall lighting in Veskimetsa area is even and in case of white light the objects are better seen and there is no light pollution. It was concluded that in case of high-pressure sodium luminaires the changing of lamps increases luminous efficacy, which in turn also increases light pollution.

Profitability calculation results showed that high-pressure sodium luminaires are considerably more expensive to maintain because the lamps and other components constantly need to be changed. By the profitability calculations, it can be seen that sodium luminaire network should be maintained by the current maintenance schedule. The changing of lamps should be continued in the future, but full maintenance volume should be decreased to save funds.

The lowest cost option to insure the best lighting in the example area is to exchange the old high-pressure sodium luminaires with new LED technology. The analysis results show that the network with LED luminaires in the example area is mostly maintenance free and the fixing of failures within 20 years will be more cost effective compared to old luminaires. The calculations showed that when switching to led luminaires the city can save around 400 000 € in 20 years from maintenance and electricity fees in the example area alone. The renewed infrastructure should be maintained without a certain contract because the example section failure statistics in Veskimetsa have shown there are only a few failures, which means it would be cost effective to order separate maintenance for every failure case.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Tamm, T., „Valgustehnika I,“ Tallinn, TTÜ Kirjastus, 2009
- [2] Van Liempt, I., Van Aalst, I., Schwanen, T., 2015. Geographies of the Urban Night. Urban Studies
- [3] Van Bommel, W., „Road Lighting: Fundamentals, Technology and Application,“ Springer International Publishing, London, 2015
- [4] Tallinna linna välisvalgustuse suunad aastateks 2006-2015, Tallinna Kommunaalamet
- [5] Tallinna linna ja Elektrilevi OÜ vahel sõlmitud käsundusleping nr 2.1-5H/ KA95-JV-JUH-18-181
- [6] Elektrilevi varahaldus andmed ja statistika seisuga 01.04.2019
- [7]<http://www.luciassociation.org/wp-content/uploads/2017/09/LUCI-Strategic-Plan-2017-2027.pdf>, vaadatud 02.04.2019
- [8] Tamm, T., „Praktiline valgustehnika,“ Tallinn, EETEL- EKSPERT, 2011
- [9] <https://www.performanceinlighting.com/ww/en/>, vaadatud 30.03.2019
- [10]<http://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/road-and-urban-lighting/road-and-urban-luminaires/digistreet> vaadatud 27.03.2019
- [11] <http://www.premiumlightpro.eu/> vaadatud 28.03.2019
- [12]<https://www.tallinn.ee/Teenus-Tanavavalgustuse-rajamine-ja-korrashoid>, vaadatud 02.04.2019
- [13] Endel Altpere, „Valgustehnika käsiraamat,“ Tallinn, Valgus, 1981.
- [14] E. Risthein, „Valgustehnika sõnaraamat,“ Tallinn, Valgus, 1982.
- [15] Philips kodulehekülg. <http://images.philips.com/is/image/PhilipsConsumer/COMF1458-CLP-global-001?§jpglarge&wid=1250>. Vaadatud 31.03.2019
- [16] <https://www.esvika.ee/kataloog/>, vaadatud 08.04.2019
- [17] Nerman, R., Kaplinski, K., „Tallinna Kommunaalmajandus 1940- 2011,“ Tallinn, AS Pakett, 2012
- [18] „Juhend fotomeetrilisteks mõõtmisteks,“ 2017
- [19] Palmer, J. M., Grant, B. G., „*The Art of Radiometry*,“ 2009.

- [20] BTS256-LED Tester with Integrating Sphere for Luminous Flux ISD-21, ISD-50, ISD-50HF, ISD-100HF. Version 12.2011. Gigahertz-Optik. (kasutusjuhend)
- [21] Operation Manual BTS256-LED Measurement Instrument for Luminous Flux Φ , Spectral Distribution W/nm and Color Data of LEDs. Version 10.2011. Gigahertz-Optik. (kasutusjuhend)
- [22] <http://minotec.ee/>, vaadatud 12.04.2019
- [23] <https://www.ttu.ee/instituut/elektroenergeetika-ja-mehhatroonika-instituut/laborid-ja-teenused-12/laborid-9/valgustehnika-labor/>, vaadatud 15.04.2019
- [24] EVS-EN 13201- 2:2015 Teevalgustus. Osa 2: Teostusnõuded, Tallinn, 2015
- [25] EVS-EN 13201- 5:2015 Teevalgustus. Osa 5: Energiatõhususnäitajad, Tallinn 2015
- [26] <http://www.howard-lighting.com/Documents/ProductLiterature/HIDLampServiceGuide.pdf>, vaadatud 13.04.2019
- [27] <http://www.pro-lite.fr/File/BTS-256-LED.pdf>, vaadatud 13.05.2019

PERFORMANCE
IN LIGHTING

MYRA 12/V SR



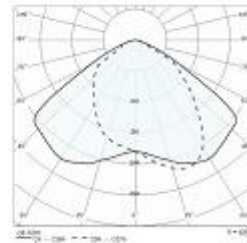
Part number	05082390
Lampholder:	E27
Wattage:	1x70 W
Finish:	GR-RAL7035 / Grey RAL7035 / Matt
Insulation class:	II
Degree of protection:	IP23/65
IK-J-xxIP:	IK09 17J xx7
Power factor:	COSφ ≥ 0,9
Optic:	ROAD REFLECTOR
Ta MIN luminaire:	-25°
Ta MAX luminaire:	45°



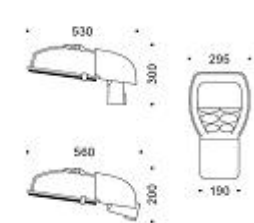
Description

- Series of street luminaires, comprising:
- Fixing kit for posts Ø 42 - Ø 60 mm made of die-cast aluminium, painted in grey
 - Technopolymer housing
 - Flat tempered glass diffuser
 - Pure polished oxidised aluminium reflector, polyester powder-coated on the outside
 - Gaskets made of silicone foam directly applied on glass without joints
 - Post locking by means of stainless steel headless screw and safety nut
 - Stainless steel external screws
 - Technopolymer component holder bracket reinforced with fiberglass
 - Gear tray removable without tools
 - Compliant with the UNI 10619 Standard and with the Italian regional laws on light pollution

PHOTOMETRIC DATA



TECHNICAL DRAWINGS





Get your city ready for the future with DigiStreet

DigiStreet

Developed with the aim to become your long term partner, the system ready architecture of DigiStreet enables you to enjoy the benefits of connected lighting systems today and also gets the city ready for the innovations to come!. Its two sockets enable you to connect directly to the Philips CityTouch system and is also prepared to connect you to the future innovations of IoT. Next to this, each individual luminaire is uniquely identifiable, thanks to the Philips Service tag application. With a simple scan of a QR code, placed on the inside of the mast door, you gain instant access to the luminaire configuration, making maintenance and programming operations faster and easier, no matter what stage of the luminaire's lifetime.

Benefits

- Prepared for the future, it is easy to upgrade directly after installation or later with future CMS nodes and sensors to enable new functionalities
- Large availability of lense optics to match international road and street geometries
- On-the-spot luminaire identification to make maintenance easier and quicker with the Philips Service tag

Features

- Easy luminaire identification due to the Philips Service tag
- High efficacy up to 161 lm/W
- Choice of 30+ different beams and different internal louvers
- Surge protection, 10 kV
- L-tune tool available
- Lifetime 100,000 hours @up to L96B10
- Internal louver (optional)

Application

- Traffic routes and main access road
- Urban and residential area
- City centers and main streets
- Cycle paths, footpaths and pedestrian crossings

Specifications

Type	BGP760 (Micro version) BGP761 (Mini version) BGP762 (medium version) BGP763 (large version)
Light source	Integral LED-module
Power	Micro version: WW: 5.6 up to 39.5W, NW/CW: 6 up to 39W Mini version: WW: 34 up to 72W, NW/CW: 27.5 up to 74 W Medium version: WW: 69 up to 152 W, NW/CW: 55 up to 146 W Large version: WW: 178 up to 230 W, NW/CW: 144 up to 220 W
Luminous flux system	Micro version: WW from 550 to 4500 lm, NW/CW 700-5500 lm Mini version: WW from 4000 to 8500 lm, NW/CW 4000-11800 lm Medium: WW from 8500 to 18000 lm, NW/CW 8500-21600 lm Large: WW from 20600 to 26400 lm, NW/CW 20900-32000 lm Or tailor flux using L-Tune software
Luminaire efficacy	Micro version: NW/CW up to 147 lm/W, WW up to 118 lm/W Mini version: NW/CW up to 154 lm/W, WW up to 125 lm/W Medium: NW/CW up to 161 lm/W, WW up to 128 lm/W Large: NW/CW up to 150 lm/W, WW up to 121 lm/W
Correlated Color Temperature	Warm white (WW): 3000 K Neutral white (NW): 4000 K Cool white (CW): 5700 K
Color Rendering Index	NW and CW: 70 WW: 80
Useful life	BGP760: 100,000 hours at L92B10 (up to L96B10) at 25 °C ambient temperature BGP761: 100,000 hours at L90B10 (up to L95B10) at 25 °C ambient temperature BGP762: 100,000 hours at L88B10 (up to L94B10) at 25 °C ambient temperature BGP763: 100,000 hours at L81B10 (up to L89B10) at 25 °C ambient temperature
Operating temperature range	-40 to +35 °C
Driver	Built-in (self-ballasted LED-module)
Mains voltage	220-240 V / 50-60 Hz
Inrush current	22W: 15A/ 360 µs (max 23 drivers on CB 16A B type), SR 22W: 18A/ 320µs (max 21 drivers on CB 16A B type) 40W: 22 A/ 290 µs (max 20 drivers on CB 16A B type), SR 40W: 21A/ 300 µs (max 21 drivers on CB 16A B type) 75W: 46A/ 250 µs (max 11 drivers on CB 16A B type), SR 75W: 65A/ 330 µs (max 6 drivers on CB 16A B type) 150W: 53A/ 300 µs (max 8 drivers on CB 16A B type), SR 150W: 65A/ 330 µs (max 6 drivers on CB 16A B type) 2x 150 W: 106A/ 300 µs (max 4 drivers on CB 16A B type), SR 150 W: 130A/ 330 µs (max 3 drivers on CB 16A B type)

Dimming	Stand alone DynaDimmer DALI
Options	Wired for SR (System Ready), mini Photocell or NEMA socket
Optic	Narrow, medium, wide or extra wide road optics: DM10, DM11, DM12, DM13, DM30, DM31, DM32, DM33, DM50, DM70, DPR1, DPL1, DS50, DW10, DW50, DX10, DX50, DX51, DX70, DN09, DN10, DN11, DN50, DRM1, DRM2, DRN1, DRN2.
Optical element	Louvers (BL1, BL2)
Optical cover	Tempered glass
Material	High-pressure, die-cast LM6 aluminum
Colour	RAL 7022 for Philips Dark grey Other RAL or AKZO colors available on request
Connection	M20 cable gland with strain relief, for cable Ø 6-12 mm
Maintenance	Canopy to access the gear tray hinges upwards and is secured by a stainless steel locking bar The Philips Service tag will help to identify the product and share all product information on the spot
Installation	Post top: 48-62 or 76 mm Side entry: 32-48 mm, 48-62 mm Recommended mounting height: Micro version: 4 to 6 m Mini version: 5 to 8 m Medium version: 6 to 12 m Large version: 10 to 18 m Standard tilt angle post top: 0° Adjustable tilt angle: -20°, -15°, -10°, -5°, 0°, +5°, +10°, +15°, +20° Adjustable light distribution: no Max SCx Micro version: 0.0450 m² Mini version: 0.0589 m² Medium version: 0.0562 m² Large version: 0.0562 m²
SR compatibility	For SR based luminaires only SR Certified components/sensors are to be used (see also: http://www.lighting.philips.co.uk/oaem-erneat/products/driving-connected-lighting?) Functional compatibility of 2 (SR certified) components/sensors to be used in combination as well as override possibility of any lineswitch function used in a SR based luminaire, is to be released by the master component/sensor supplier. For the use of NEMA 7pin socket on a SR based luminaire a full system verification is required. Not following these advises can will cause risk of damage and non-compliance for which Signify cannot take any responsibility.

DigiStreet

Versions

DigiStreet Micro BGP760 road-lighting luminaire



DigiStreet Mini BGP761 road-lighting luminaire



Medium side entry



Large side entry



Product details

Post-top version



Below view



Top view



Side view

