



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

TEEVALGUSTUSPAIGALDISE ENERGIATÕHUSUSE
HINDAMINE JA NÄITAJATE ANALÜÜS (EVS-EN 13201-
5 BAASIL)

ROAD LIGHTNING INSTALLATION ENERGY EFFICIENCY FIGURES
EVALUTATION AND ANALYZE (BASED ON EVS-EN 13201-5 STANDARD)

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Risto Rosin

Üliõpilaskood: 111729AAAMM

Juhendaja: Toivo Varjas

Tallinn, 2017.a.

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.

“.....” 201.....

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

Teevalgustuspaigaldiste energiatõhususe hindamine ning näitajate analüüs (EVS-EN 13201-5 baasil).

Risto Rosin, üliõpilaskood 111729AAAMM, juuni 2017. – 51lk.

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Inseneriteaduskond

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja: Toivo Varjas

Võtmesõnad: Teevalgustuspaigaldis, energiatõhusus, EVS, standard, valgustus, valgustusklass

Referaat:

Lõputöö on 51 lehel, sisaldab 21 tabelit ja 10 joonist.

Magistritöö eesmärgiks on mingi kindla teevalgustuspaigaldise energiatõhususe hindamine ja näitajate analüüs (EVS-EN 13201-5 baasil). Hinnatud on Majaka tänava energiatõhusust.

Töös hinnati Majaka tänava vastavust standarditele EVS-EN 13201-2 ja EVS-EN 13201-5. Töös leiti, et antud teelõik vastas standardile EVS-EN 13201-2, kuid antud teelõigul oli puudusi vastamiseks standardile EVS-EN 13201-5.

Road lightning installation energy efficiency figures evaluation and analyze (based on EVS-EN 13201-5 standard)

Risto Rosin, student code 111729AAAMM, June 2017.-51 pages.

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

School of Engineering

Department of Electrical Power engineering and Mechatronics

Tutor of the work: Toivo Varjas

Key words: road lightning installation, energy efficiency, EVS, standard, lightning, lightningclass

Summary:

The Master`s thesis contains 51 pages 21 tabels and 10 figures.

The aim of this thesis is to analyze certain road lightning installation energy effeciency figures using the EVS-EN 13201-5 standard. Majaka street was used for evaluation and analysis.

In the thesis Majaka street was evaluated according to standards: EVS-EN 13201-2 and EVS-EN 13201-5. The thesis revealed that the street was according to standard EVS-EN 13201-2 but it had shortcomings to meet the needs of EVS-EN 13201-5.

SISUKORD

Magistritöö ülesanne	7
1. Sissejuhatus	8
2. Teelõikude valik, põhjendus ja kirjeldus	11
2.1. Teelõik 1	11
3. Teelõigu hindamine EVS-EN 13201-2 baasil	14
3.1. EVS-EN 13201-2 standardi kirjeldus.....	14
3.2. Teelõik 1	16
3.2.1. Tee osa 1	18
3.2.2 Tee osa 2	20
3.2.3 Tee osa 3	21
3.3. Teelõik 1 kokkuvõte EVS-EN 13201-2 baasil	23
4. Teelõikude hindamine EVS-EN 13201-5 baasil	25
4.1. EVS-EN 13201-5 standardi kirjeldus.....	25
4.1.1. Sissejuhatus	25
4.1.2 Erivõimsusnäitaja arvutamine.....	26
4.1.3. Aastase tarbimisnäitaja arvutamine.....	28
4.2. Teelõik 1	30
4.2.1. Tee osa 1.....	30
4.2.2. Tee osa 2.....	35
4.2.3. Tee osa 3.....	39
4.3. Teelõik 1 kokkuvõte vastavusest EVS-EN 13201-5 standardile	44
5. Kokkuvõte	47
Kasutatud kirjandus	50
Lisad	52
Lisa 1. Tänavavalgustuse skeem LJS-214 piirkond	53

Lisa 1. Tänavavalgustuse skeem PR1 piirkond-----	54
Lisa 2. Tänavavalgustuse juhtimiskilbi LJS-214 skeem -----	55
Lisa 2. Tänavavalgustuse juhtimiskilbi PR1 skeem -----	56
Lisa 3. Mõõteprotokoll-----	57

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

KOOSKÕLASTATUD

Ivo Palu.....

..... 2017

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

Risto Rosin, üliõpilaskood 111729AAAMM

Magistritöö teema: Teevalgustuspaigaldiste energiatõhususe hindamine ning näitajate analüüs (EVS-EN 13201-5 baasil).

Ülesanne: Hinnata teevalgustuspaigaldise energiatõhusust kasutades selleks standardit EVS-EN 13201-5.

Lähteandmed:

1. Tööprojektid
2. Arhitektuursed plaanid
3. Tehnilised nõuded
4. Standardi nõuded
5. Mõõtmiste tulemused
6. Kirjandus

Lahendamisele kuuluvate probleemide loetelu:

Hinnata Tallinna Majaka tänava (lõigus Lubja tänav - Peterburi tee) vastavust standardile EVS-EN 13201-5 järgmises mahus:

1. Põhjus antud teelõigu valikuks
2. Hinnang antud teelõigule EVS-EN 13201-2 põhjal
3. Hinnang antud teelõigule EVS-EN 13201-5 põhjal
4. Võrdlus standardis EVS-EN 13201-5 välja toodud tüüptänavalõiguga

Juhendaja:

Ülesande vastu võtnud:

T. Varjas.....

Üliõpilane R. Rosin.....

1. SISSEJUHATUS

Magistri lõputöö teemaks on valitud teevalgustuspaigaldise hindamine ja näitajate analüüs (EVS-EN 13201-5 baasil). Antud töö peamine eesmärk on kontrollida kindla teelõigu energiatõhususe omadusi, kasutades selleks standardit EVS-EN 13201-5. Antud teema on otseselt seotud omandatava erialaga ning võimaldab kasutada bakalaureuse- ja magistriõppe ajal saadud teadmisi. Teema on välja pakutud Tallinna Tehnikaülikooli doktorant Toivo Varjase poolt.

Tänapäeva ühiskonnas on aktuaalseks teemaks energia säästmine erinevates valdkondades. Seetõttu on ka töö teema aktuaalne ning võib pakkuda huvi nii üldsusele kui ka valgustehnikaga tegelevatele spetsialistidele. Elektrienergia tootmine on muutunud järjest kulukamaks, kas siis maavarade vähenemise, tehnoloogia kallinemise või erinevate regulatsioonide lisandumise tõttu. Seepärast üritatakse järjest rohkem pöörata rõhku elektrienergia säästmisele, mis mitte ainult ei aita kaasa maavarade säilitamisele, vaid on ka majanduslikult mõistlik, kuna elektrienergia kulu on otsene majanduslik kulu tarbijale, antud töö puhul kohalikule omavalitsusele, kes peab töös hoidma teevalgustuspaigaldist. Antud töö aktuaalsust tõstab veel Tallinna linnavalitsuse otsus vähendada Tallinna linna valgustuspunktide energiatarvet aastaks 2020 vähemalt 20% võrra. [1]

Diplomitöös kasutatav standard EVS-EN 13201-5 võimaldab hinnata teevalgustuspaigaldise energiatõhusust. Antud standard on värskest ilmunud ja seda ei ole töö autorile teadaolevalt kasutatud Eestis teevalgustuspaigaldise projekteerimisel, mis omakorda viitab antud töö uudsusele.

Enne standardi EVS-EN 13201-5 ilmunist, ei ole teevalgustuspaigaldise projekteerimisel korralikult tähelepanu pööratud energiasäästule. Rõhk on olnud suunatud EVS-EN 13201-2

standardi nõuete täitmisele. Energiasäästu saavutamiseks teevalgustuspaigaldistes on viimasel ajal küll kasutatud näiteks leedvälisvalgusteid ja muid lahendusi, kuid need on olnud praeguse hetkeni pigem tellija või siis projekteerija isiklik huvi selleks, et projekteeritud teelõigud oleksid energiatõhusad. Standardi EVS-EN 13201-5 ilmumisega on nüüdsest aga vajalik struktureeritud lähenemine selleks, et tagada energiatõhsus teevalgustuspaigaldistel.

Diplomitöö ülesandeks on standardi kasutamine selleks, et hinnata olemasoleva teevalgustuspaigaldise energiatõhusust. Samuti anda referents, mida peaks jälgima tulevaste teelõikude projekteerimisel selleks, et teevalgustuspaigaldis oleks võimalikult energiatõhus.

Magistritöö põhitähelepanu on pööratud sammudele, mida tuleb läbida, et hinnata, kas teevalgustuspaigaldis on energiatõhus, kuid samal ajal täidab kõikidest muudest standarditest tulenevad nõuded.

Lõputöö on jagatud neljaks osaks, millest esimene on sissejuhatus. Teises peatükis kirjeldatakse analüüsiks valitud teelõiku ning selle omadusi. Samuti põhjendatakse antud peatükis, miks uurimiseks võeti just see teelõik.

Kolmandas peatükis analüüsitakse valitud teelõigu omadusi standardi EVS-EN 13201-2 põhjal, kuna standard EVS-EN 13201-5 nõuab, et teelõik peab kindlasti vastama EVS-EN 13201-2 standardi tingimustele. Antud osas on lühike tutvustus standardi EVS-EN 13201-2 kohta. Peatüki lõpus antakse hinnang teelõigule projekteerimisandmete ning mõõtetulemuste põhjal.

Neljandas peatükis analüüsitakse valitud teelõigu omadusi standardi EVS-EN 13201-5 põhjal. Antakse ülevaade standardist EVS-EN 13201-5 ning tuuakse välja kõige tähtsamad omadused, mida on vaja selleks, et hinnata teelõigu energiatõhusust. Peatüki lõpus antakse hinnang valitud teelõigu tulemustele projekteerimisandmete ja mõõtetulemuste põhjal. Samuti antakse soovitusi, kuidas võiks saavutada parema energiatõhususe antud teelõigul.

Lisades on toodud teelõigu joonised koos valgustite asukohtade, tüüpide ja toitefiidritega. Samuti juhtimis- ja jaotusseadmete joonised ning teelõigu mõõtetulemuste raport, mis oli tehtud koostöös töö juhendajaga.

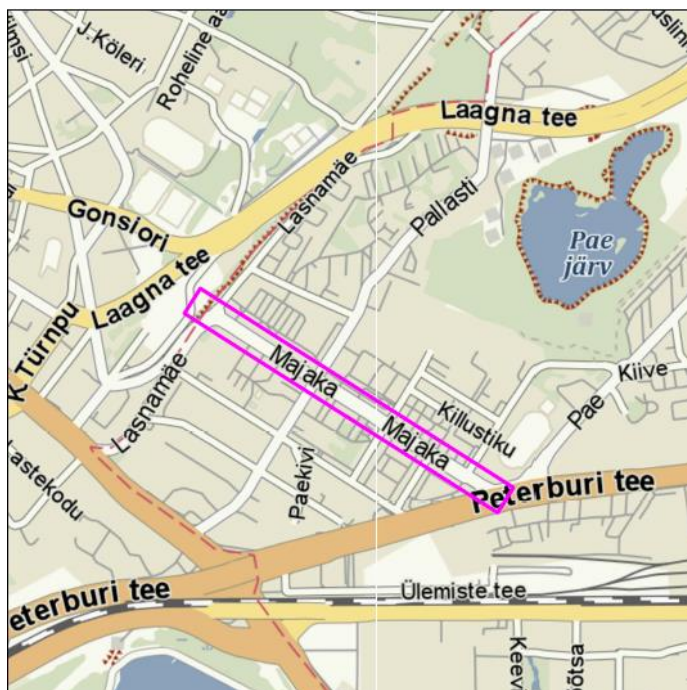
Lõputöö lugeja saab ülevaate, kuidas hinnata teevalgustuspaigaldise energiatõhusust, kasutades selleks standardit EVS-EN 13201-5. Lisaks saab lõputöö lugeja ka näha, kuidas hinnata teelõiku standardi EVS-EN 13201-2 põhjal. Samuti annab antud töö lugemine ülevaate, millele peaks tähelepanu pöörama teevalgustuse projekteerimisfaasis, selleks et tagada võimalikult energiatõhus teevalgustuspaigaldis.

Lõputöö on kirjutatud kasutades litsenseeritud tarkvara Microsoft Windows 7 Home Premium, Microsoft Office Word 2013, Microsoft Office Excel 2013, Microsoft Office Paint, Google Chrome, DIALux 4.13.

2. TEELÕIKUDE VALIK, PÕHJENDUS JA KIRJELDUS

2.1. Teelõik 1

Majaka tänav (lõigus Lubja tänav - Peterburi tee: (Joonis 2.1.) [2]) sai valitud teelõiguks nr.1, edaspidises töös kasutatakse Majaka tänava defineerimiseks väljendit “Teelõik 1“.



Joonis 2.1. Majaka tänava asendiplaan

Teelõik 1 valiku põhikriteeriumiks oli tingimus, et teelõigu valgustuspaigaldis oleks värskelt renoveeritud, mis tähendab seda, et kasutusel on võimalikult tänapäevased tehnilised lahendused ning teelõik oleks projekteeritud kasutades praegusel hetkel kehtivaid standardeid ja projekteerimistavasid. See omakorda võimaldab saada ülevaate, millised võivad olla värskelt renoveeritud teelõikude omadused vastavalt standardile EVS-EN 13201-5. Tänu sellele on võimalik anda hinnang, millises seisus võivad olla kõik ülejäänud värskelt renoveeritud teelõigud, kui teelõikude projekteerimisel on kasutatud teisi standardeid, aga mitte standardit

EVS-EN 13201-5. Teelõik 1 valgustuspaigaldise renoveerimine võeti vastu aastal 2016. Teelõik 1 kogupikkuseks on umbes 1 km. Peale renoveerimist on Teelõigul 1 on kokku 100 valgustit, millest 31 on kasutusel ülekäiguradade valgustamiseks. Teelõigul 1 kasutatavate valgustite tüübid on ära toodud tabelis (Tabel 2.1.) [3] [4] [5], kogu teelõik on varustatud leedvälisvalgustitega.

Tabel 2.1. Valgustite tüübid

	Valgustid (üldvalgustus)		
1	Leedvälisvalgusti komplektis liigpingekaitseadmega (Philips Surge Protection Device 277 V, nominal surges ≤ 10 kV)	PHILIPS "Luma 1" BGP623 OFR2	155 W, 230 V, Valgustist väljuv valgusvoog =13740 lm, 4000 K IP66, IK09 II kaitseklassi seade
2	Leedvälisvalgusti komplektis liigpingekaitseadmega (Philips Surge Protection Device 277 V, nominal surges ≤ 10 kV)	PHILIPS "Luma Mini" BGP621 OFR2	62 W, 230 V, Valgustist väljuv valgusvoog =5460 lm, 4000 K IP66, IK09 II kaitseklassi seade
Valgustid (ülekäiguraja valgustus)			
1	Leedvälisvalgusti, parempoolse valgusjaotusega, (konsooli külge paigutus), eritellimusel komplektis liigpingekaitseadmega nominal surges ≤ 10 kV) (D10)	Stratos-P 98 W Detas DLEDS	98 W, 230 V, 8730 lm, 5500 K IP65 II kaitseklassi seade
2	Leedvälisvalgusti, parempoolse valgusjaotusega, (posti otsa paigutus), eritellimusel komplektis liigpingekaitseadmega nominal surges ≤ 10 kV) (D1+D5+D8)	Stratos-N 48 W (55 W) Topp fixation Detas DLEDS	48 W (55 W), 230 V, 4700 lm, 5500 K IP66 II kaitseklassi seade
3	Leedvälisvalgusti, vasakupoolse valgusjaotusega, (posti otsa paigutus), eritellimusel komplektis liigpingekaitseadmega nominal surges ≤ 10 kV) (D2)	Stratos-N 48 W (55 W) Topp fixation Detas DLEDS	48 W (55 W), 230 V, 5125 lm, 5500 K IP66 II kaitseklassi seade
4	Leedvälisvalgusti, parempoolse valgusjaotusega, (posti külge kinnitus-kronsteiniga komplektis), eritellimusel komplektis liigpingekaitseadmega nominal surges ≤ 10 kV) (D3)	Stratos-N 48 W (55 W) Detas DLEDS	48 W (55 W), 230 V, 5125 lm, 5500 K IP66 II kaitseklassi seade

Valgustite asukohad koos tüüpidega ja toitefiidritega on ära toodud töö lisan 1. [6] Teelõigul 1 on kokku valgustuse jaoks 3 jaotusseadet, mille andmed on ära toodud tabelis (Tabel 2.2.). [7] LJS-561 jaotusseade on kasutusel kõrvaltänavatel olevate „vanade“ valgustite toiteks. LJS-214 ja LJS-PR1 jaotusseadmed on mõeldud Teelõik 1 „uue“ tüüpi valgustite toiteks, mis on

ära toodud tabelis (Tabel 2.1.). [3] [4] [5] Juhtimis- ja jaotusseadmete LJS-214 ja LJS-PR1 skeemid on toodud lisas 2. [8]

Tabel 2.2. Teelõigu jaotusseadmed

Juhtimis-jaotusseade	LJS-214	LJS-561	LJS-PR1
Pingesüsteem	3x400/230 V	3x230 V	3x400/230 V
Juhistikusüsteem magistraalides	TN-C	IT	TN-C
Peakaitse	3x63 A	3x50 A	3x32 A
Võimus	18,5 kW	10,0 kW	9,7 kW

3. TEELÕIGU HINDAMINE EVS-EN 13201-2 BAASIL

3.1. EVS-EN 13201-2 standardi kirjeldus

EVS-EN 13201-2 standardis kirjeldatakse teevalgustuse toimivusnõudeid. [9] Antud töös tuleb teelõikude hindamiseks standardi EVS-EN 13201-5 põhjal enim üle kontrollida teelõigu vastavuse standardile EVS-EN 13201-2. Standard EVS-EN 13201-2 määratleb toimivusnõudeid, mis peavad olema kindal teelõigul, et tagada teekasutajale piisavad nägemistingimused võttes arvesse teelõigu keskkonnaaspekte. [9]

Valgustuklassid on jagatud kuute erinevasse liiki, vastavalt teekasutuse järgi. Valgustusklasside liigid ja kirjeldused, mida on hinnatud antud töös, on loetletud järgnevalt:

- 1) M- valgustusklass on mõeldud teelõikudele, mida kasutavad mootorsõidukijuhid. Antud klasse kasutatakse ka mõnedes riikides elupiirkondades selleks, et oleks võimalik kasutada keskmist või suurt sõidukiirust tagades samas piisava nähtavuse. M- valgustusklassi hindamine sõltub peamiselt valgustatava teepinna heledusel, mis sisaldab endas keskmist heledust ning heleduse üldist ja pikiühtlust kuiva teekatte korral. Lisakriteeriumid arvestavad pimestusräigust, mis on väljendatud heledusläve kõrgenemistegurina ja ümbritsevate piirkondade valgustusega, mille puhul kasutatakse ääre valgustustiheduse suhet. [9]
- 2) P- ja HS-valgustusklassid kasutatakse jalakäijatega ja pedaaljalgratturitega kõnniteedel, jalgrattateedel, sõidutee ohutusribadel ja muudel teelõikudel, mis on eraldatud sõiduteest või lõik on piki sõiduteed. Samuti kasutatakse P- ja HS- valgustusklassid elupiirkondade teedel, kõnnitänavatel, parkimisplatsidel, koolihoovides jne. P- valgustusklasside valgustuskriteeriumid põhinevad teepiirkonna rõhtpinna valgustustihedusel ja väljenduvad keskmise ja vähima valgustustihedusega. [9]

Antud töös uuritava teelõigu sõidutee osa valgustusklassiks on M-valgustusklass ja kõnniteede valgustusklassiks on P valgustusklass. [7] M- valgustusklassi nõuded on näidatud tabelis (Tabel 3.1.) [9], P-valgustusklassi nõuded on näidatud tabelis (Tabel 3.2.). [9] Valgustusklassi arvjada näitab järjest vähenevaid nõudeid. Arvjada väärtuse leidmiseks kasutatakse standardit EVS-EN 13201-1. [9]

Tabel 3.1. M-valgustusklassi nõuded

Klass	Sõidutee pinna heledus teepinna kuivas olekus			Pimestusräigus
	Kuiv olek			Kuiv olek
	\bar{L} [vähim hooldeväärtus] $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	U_o [vähemalt]	U_l^a [vähemalt]	f_{TI}^c [enimalt] %
M1	2,00	0,40	0,70	10
M2	1,50	0,40	0,70	10
M3	1,00	0,40	0,60	15
M4	0,75	0,40	0,60	15
M5	0,50	0,35	0,40	15
M6	0,30	0,35	0,40	20

Antud tabelis (Tabel 3.1.) kasutatavate näitajate kirjeldused on toodud järgnevalt:

\bar{L} on teepinna keskmine heledus, teepinna heleduse keskvärtus sõidutee pindalal. [9] [10]

U_o on teepinna heleduse, teepiirkonna valgustustiheduse või poolsfäärilise valgustustiheduse üldühtlus, nimetatud suuruste vähimväärtuse ja keskvärtuse jagatis. [9]

U_l on sõidutee pinna heleduse pikiühtlus, vähim sõidutee iga sõiduraja kohta määratud teepinna heleduse vähima ja suurima väärtuse suhtest sõiduraja keskjoonel. [9]

f_{TI} on sõidutee pinnal oleva eseme heledusläve kõrgenemistegur, eseme kontrasti suurenemine, mida on vaja nähtavusläve säilitamiseks teevalgustuspaigaldise valgustitest tingitud pimestusräiguse olemasolul. [9]

^a Pikiühtlus kujutab endast teepinna heledamate ja tumedamate lõikude märgatava vaheldumise mõõtu ja on seega nägemisolude seisukohast asjakohane üksnes tee pikkadel katkematutel ulatustel ning seda tuleb kasutada sellistes olukordades. Veerus esitatud väärtused on sätestatud valgustusklassi korral vähimalt soovitatavad, kuid neid võib muuta tee ehitusse või kasutamisse puutuvate eriolukordade puhul vastavalt sellekohasele analüüsile või rahvuslikele erinõuetele. [9]

^c Suuruse f_{TI} väärtused selles veerus kujutavad endast sätestatud valgustusklassi puhul enimalt lubatavaid väärtusi, kuid neid võib muuta rahvusliku erinõuete olemasolul. [9]

Tabel 3.2. P-valgustusklassi nõuded

Klass	Rõhttasandiline valgustustihedus	
	\bar{E}^a [vähim hooldeväärtus] lx	E_{min} [hooldeväärtus] lx
P1	15,00	3,00
P2	10,00	2,00
P3	7,50	1,50
P4	5,00	1,00
P5	3,00	0,60
P6	2,00	0,40
P7	Toimivus sätestamata	Toimivus sätestamata
^a Ühtluse huvides ei tohiks keskmise valgustustiheduse tegelik hooldeväärtus olla üle 1,5 korra kõrgem kui antud klassile vastav vähim väärtus.		

Antud tabelis (Tabel 3.2.) kasutatavate näitajate kirjeldused on toodud järgnevalt:

\bar{E} on keskmine valgustustihedus. [9]

E_{min} on vähim valgustustihedus. [9]

3.2. Teelõik 1

Teelõik 1 oli esialgselt projekteeritud vastavalt standardile EVS-EN 13201-2 2007. Teelõigu sõidutee osa valgustusklassiks oli valitud ME3c, kõnniteede valgustusklassideks vastavalt kõnniteele S3 ja S4. [7] Antud töö kirjutamise ajal on kehtiv standard EVS-EN 13201-2 2015. Standardis EVS 13201-2 2007 olev valgustusklass ME3c on muudetud standardis EVS-EN 13201-3 2015 valgustusklassiks M3, S3 P3-ks ning S4 P4-ks. [9] [11] Standardite EVS-EN 13201-2 2007 ja EVS-EN 13201-2 2015 erinevus vastavalt valgustusklassile ME3c->M3 on esitatud tabelis (Tabel 3.3.). Kõnniteede valgustusklasside S->P väärtustes muutus näitajate täpsus, 2015 standardi puhul on täpsuseks 2 kohta pärast koma. [9] [11]

Tabel 3.3. EVS-EN 13201-2 2007 ja EVS-EN 13201-2 2015 erinevused

Klass	Sõidutee pinna heledus			Pimestusräigus
	Kuiv olek			Kuiv olek
	\bar{L} [vähim hooldeväärtus] $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	U_o [vähemalt]	U_l [vähemalt]	f_{Tl} [enimalt] %
ME3c->M3	1,00	0,40	0,5->0,60	15

Antud teelõigu vastavuse hindamiseks standardile EVS-EN 13201-2 kasutati simulatsiooniprogrammiga „Dialux“ saadud tulemusi, mis olid tehtud teelõigu projekteerimise käigus ning teostati ka valgusmõõtmised koos töö juhendajaga. Mõõtmiste protokoll on näidatud ära töö lisana (Lisa 3).

Teelõik 1 sõidutee osa tulemused, mis on saadud kasutades simulatsiooniprogrammi „Dialux“ [7] ja mõõtmiste teel, on nähtavad tabelis (Tabel 3.4.). [12] On näha, et antud teelõigu sõidutee osa mõõtmiste ja simulatsiooni teel saadud tulemused vastavad standardile EVS-EN 13201-2 2015.

Tabel 3.4. Teelõik 1 sõidutee tulemused

Kirjeldus	Sõidutee pinna heledus			Pimestusräigus
	Kuiv olek			Kuiv olek
	\bar{L} [vähim hooldeväärtus] $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	U_o [vähemalt]	U_l [vähemalt]	f_{Tl} [enimalt] %
Simulatsioon	1,3	0,68	0,85	6...5
Mõõdetud	1,26	0,64	0,75	-
EVS-EN 13201-2 2015 (M3)	1,00	0,40	0,60	15

Teelõik 1 kõnniteede tulemused, mis on saadud kasutades simulatsiooniprogrammi „Dialux“ [7] ja mõõtmiste teel on nähtavad tabelis (Tabel 3.5.). [12] Antud tabelist on näha, et teelõigu kõnnitee osa mõõtmiste ja simulatsiooni teel saadud tulemused vastavad standardile EVS-EN 13201-2 2015.

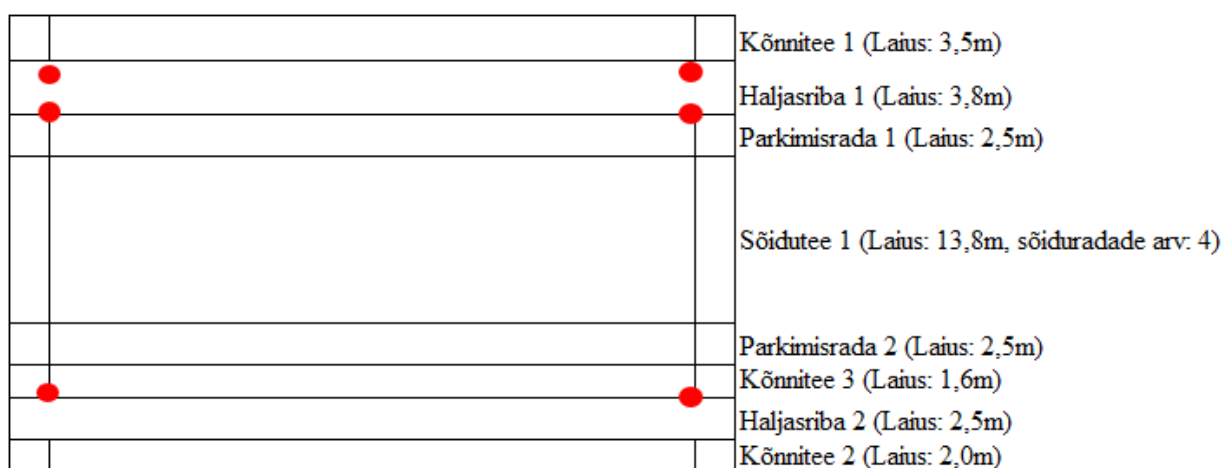
Tabel 3.5. Teelõik 1 kõnniteede tulemused

Kirjeldus	Rõhttasandiline valgustustihedus	
	\bar{E}^a [vähim hooldeväärtus] lx	E_{min} [hooldeväärtus] lx
Kõnnitee P3 simulatsioon	9,82	5,47
Kõnnitee P3 mõõdetud	9,12	5,30
EVS-EN 13201-2 2015 (P3)	7,50	1,50
Kõnnitee P4 simulatsioon	8,08	4,69
Kõnnitee P4 mõõdetud	7,09	5,20
EVS-EN 13201-2 2015 (P4)	5,00	1,00
^a Ühtluse huvides ei tohiks keskmise valgustustiheduse tegelik hooldeväärtus olla üle 1,5 korra kõrgem kui antud klassile vastav vähim väärtus.		

Kokku on Teelõigul 1 kolm erinevat tüüpi osa [12], mida on simuleeritud programmis „Dialux“ ning kus teostati ka mõõtmised. Järgnevalt on kirjeldatud erinevaid tee osasid ja nende tulemusi, mis saadi simulatsiooni teel ja mõõtmiste tulemusel. Mõõtmiste jooksul mõõdeti kõik erinevad sõidutee ja kõnnitee osad. Parkimisrajal ei olnud võimalik mõõdistusi teha, kuna teelõigul ei leidunud perioodi, millal parkimisradadel puudusid sõidukid. Samuti ei ole vaja parkimisradu hinnata selleks, et teelõik vastaks EVS-EN 13201-2 nõutele. Järgnevatel joonistel punasega märgitud punktid on valgustid.

3.2.1. Tee osa 1

Tee osa 1 on kujutatud joonisel (Joonis 3.1.). [12] Mastide vahekaugus tee osal 1 on 36 meetrit. Joonisel kõige üleval olevateks valgustiteks on tabelis (Tabel 2.1.) [3] [4] [5] olev valgusti tüüp: „Üldvalgustite tüübid“ valgusti järjekorranumbriga 2. Ülejäänud valgustid tee osal 1 on tabelis (Tabel 2.1.) [3] [4] [5] olev valgusti tüüp: „Üldvalgustite tüübid“ valgusti järjekorranumbriga 1. [12]



Joonis 3.1. Tee osa 1 mõõdud ja valgustite paigutus

Tee osa 1 sõidutee tulemused on näidatud tabelis (Tabel 3.6.). [12] Antud tulemustest võib lugeda, et tee osa 1 sõidutee simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemused vastavad nii standardist EVS-EN 13201-2 2007 kui ka EVS-EN 13201-2 2015 tulenevatele nõuetele ning erinevus simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemuste vahel on võrdlemisi väike.

Tabel 3.6. Tee osa 1 sõidutee tulemused

Kirjeldus	Sõidutee pinna heledus			Pimestusräigus
	Kuiv olek			Kuiv olek
	\bar{L} [vähim hooldeväär tus] $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	U_o	U_l	f_{TI} %
Simulatsioon	1,33	0,79	0,85	6
Mõõdetud	1,25	0,74	0,82	-
EVS-EN 13201-2 2015 (M3)	1,00	0,40	0,60	15

Tee osa 1 kõnnitee 1, 2 ja 3 tulemused on näidatud tabelis (Tabel 3.7.). [12] Antud tabelist võib lugeda, et kõikide kõnniteede simulatsiooni teel saadud ja mõõtmiste tulemused on suuremad, kui vajalikud vähimad valgustustihedused ning vastavad standardile EVS-EN 13201-2 2015. Samas, kõikide kõnniteede simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud (välja arvatud kõnnitee 1) tulemused on üle 1,5 korra suuremad kui standard ette näeb, mis omakorda tähendab, et ühtlus nendel kõnniteedel ei ole väga hästi tagatud. Tuleb välja ka see, et kõnniteede puhul on mõõdetud ja simulatsiooni teel saadud tulemustes näha erinevust.

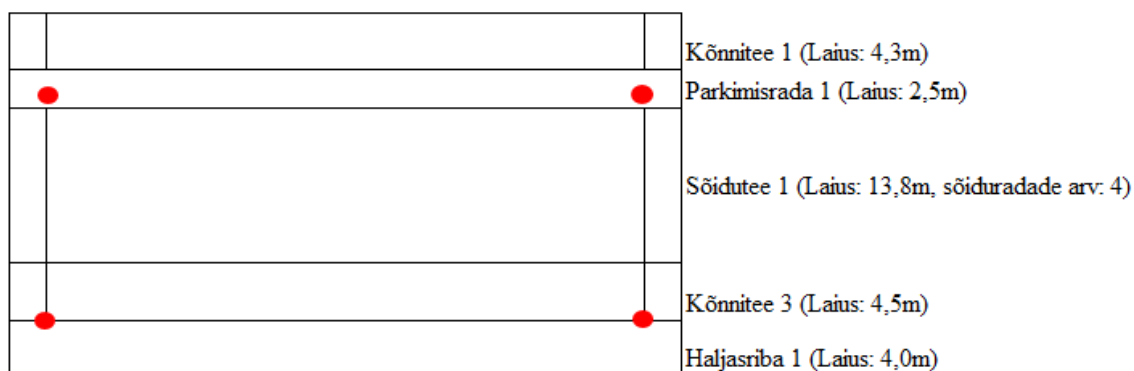
Tabel 3.7. Tee osa 1 kõnniteede tulemused

Kirjeldus	Rõhktasandiline valgustustihedus	
	\bar{E}^a [vähim hooldeväärtus] lx	E_{min} [hooldeväärtus] lx
Kõnnitee 1(P3) simulatsioon	12,61	8,69
Kõnnitee 1(P3) mõõdetud	10,19	5,50
Kõnnitee 2(P4) simulatsioon	8,90	4,69
Kõnnitee 2(P4) mõõdetud	10,80	7,30
Kõnnitee 3(P3) simulatsioon	15,16	9,89
Kõnnitee 3(P3) mõõdetud	17,80	14,70
EVS-EN 13201-2 2015 (P3)	7,50	1,50
EVS-EN 13201-2 2015 (P4)	5,00	1,00

^a Ühtluse huvides ei tohiks keskmise valgustustiheduse tegelik hooldeväärtus olla üle 1,5 korra kõrgem kui antud klassile vastav vähim väärtus.

3.2.2. Tee osa 2

Tee osa 2 on näidatud joonisel (Joonis 3.2.). [12] Mastide vahekaugus tee osal 2 on 30 meetrit. Joonisel olevate valgustite tüüpideks on tabelis (Tabel 2.1.) [3] [4] [5] olevad valgustid: „Üldvalgustite tüübid“ valgusti järjekorranumbriga 1. [12]



Joonis 3.2. Tee osa 2 mõõdetud ja valgustite paigutus

Tee osa 2 sõidutee tulemused on näidatud tabelis (Tabel 3.8.). [12] Antud tulemustest võib lugeda, et tee osa 2 sõidutee osa simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemused vastavad standardist EVS-EN 13201-2 2007 ja EVS-EN 13201-2 2015 tulenevatele nõuetele ning erinevus simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemuste vahel on võrdlemisi väike.

Tabel 3.8. Tee osa 2 sõidutee tulemused

Kirjeldus	Sõidutee pinna heledus			Pimestusräigus
	Kuiv olek			Kuiv olek
	\bar{L} [vähim hooldeväärtus] $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	U_o	U_l	f_{TI} %
Simulatsioon	1,68	0,68	0,85	6
Mõõdetud	1,44	0,77	0,87	-
EVS-EN 13201-2 2015 (M3)	1,00	0,40	0,60	15

Tee osa 2 kõnnitee 1 ja 3 tulemused on näidatud tabelis (Tabel 3.9.). [12] Antud tabelist võib lugeda, et kõikide kõnniteede simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud valgustustiheduse tulemused on suuremad kui vajalikud, ning vastavad standardile EVS-EN 13201-2 2015. Samas kõnnitee 3 simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemus on üle 1,5 korra suurem, kui standard ette näeb, mis omakorda tähendab, et ühtlus antud kõnniteel ei ole väga hästi tagatud. Samuti võib näha, et kõnnitee 3 puhul on simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemustes märkimisväärne erinevus.

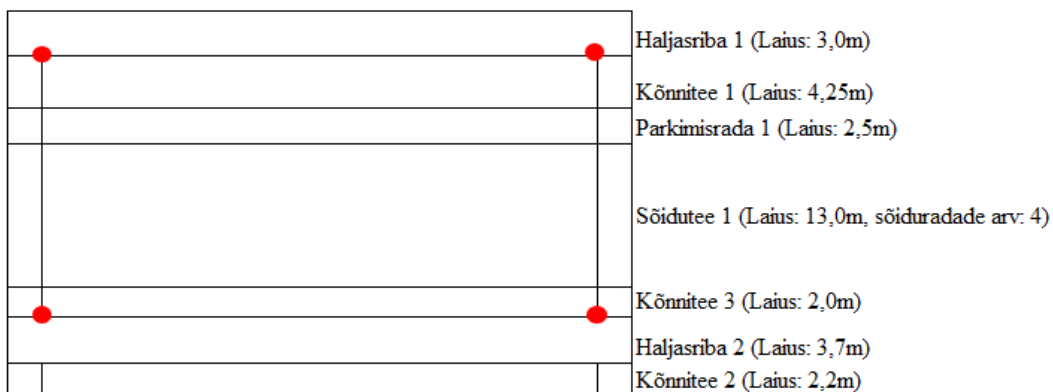
Tabel 3.9. Tee osa 2 kõnniteede tulemused

Kirjeldus	Rõhttasandiline valgustustihedus	
	\bar{E}^a [vähim hooldeväärtus] lx	E_{min} [hooldeväärtus] lx
Kõnnitee 1(P3) simulatsioon	9,82	5,47
Kõnnitee 1(P3) mõõdetud	9,12	5,30
Kõnnitee 3(P3) simulatsioon	20,93	13,60
Kõnnitee 3(P3) mõõdetud	17,69	10,30
EVS-EN 13201-2 2015 (P3)	7,50	1,50

^a Ühtluse huvides ei tohiks keskmise valgustustiheduse tegelik hooldeväärtus olla üle 1,5 korra kõrgem kui antud klassile vastav vähim väärtus.

3.2.3. Tee osa 3

Tee osa 3 on näidatud joonisel (Joonis 3.3.). [12] Mastide vahekaugus tee osal 3 on 30 meetrit. Joonisel olevate valgustite tüüpideks on tabelis (Tabel 2.1.) [3] [4] [5] olevad valgustid: „Üldvalgustite tüübid“ valgusti järjekorranumbriga 1. [12]



Joonis 3.3. Tee osa 3 mõõdud ja valgustite paigutus

Tee osa 3 sõidutee tulemused on näidatud tabelis (Tabel 3.10.). [12] Antud tulemustest võib lugeda, et tee osa 3 simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemused vastavad standardist EVS-EN 13201-2 2007 ja EVS-EN 13201-2 2015 tulenevatele nõuetele ning erinevus simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemuste vahel on võrdlemisi väike.

Tabel 3.10. Tee osa 3 sõidutee tulemused

Kirjeldus	Sõidutee pinna heledus			Pimestusräigus
	Kuiv olek			Kuiv olek
	\bar{L} [vähim hooldeväärtus] $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	U_o	U_l	f_{TI} %
Simulatsioon	1,36	0,73	0,86	5
Mõõdetud	1,44	0,64	0,75	-
EVS-EN 13201-2 2015 (M3)	1,00	0,40	0,60	15

Tee osa 3 kõnnitee 1, 2 ja 3 tulemused on näidatud tabelis (Tabel 3.11.). [12] Antud tabelist võib lugeda, et kõik kõnniteede simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud valgustustiheduste tulemused on suuremad kui vajalikud ning vastavad standardile EVS-EN13201-2 2015. Samas kõikide kõnniteede simulatsiooni teel saadud ning mõõdetud (välja arvatud kõnnitee 2) tulemused on üle 1,5 korra suuremad kui standard ette näeb, mis omakorda tähendab, et ühtlus nendel kõnniteedel ei ole väga hästi tagatud. Samuti on näha kõikide kõnniteede simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemustes erinevust.

Tabel 3.11. Tee osa 3 kõnniteede tulemused

Kirjeldus	Rõhttasandiline valgustustihedus	
	\bar{E}^a [vähim hooldeväärtus] lx	E_{min} [hooldeväärtus] lx
Kõnnitee 1(P3) simulatsioon	19,90	13,82
Kõnnitee 1(P3) mõõdetud	17,87	12,50
Kõnnitee 2(P4) simulatsioon	8,08	5,03
Kõnnitee 2(P4) mõõdetud	7,09	5,20
Kõnnitee 3(P3) simulatsioon	17,19	12,09
Kõnnitee 3(P3) mõõdetud	13,96	9,60
EVS-EN 13201-2 2015 (P3)	7,50	1,50
EVS-EN 13201-2 2015 (P4)	5,00	1,00
^a Ühtluse huvides ei tohiks keskmise valgustustiheduse tegelik hooldeväärtus olla üle 1,5 korra kõrgem kui antud klassile vastav vähim väärtus.		

3.3. Teelõik 1 kokkuvõte EVS-EN 13201-2 baasil

Eelnevate mõõtetulemuste ja simulatsioonide tulemuste põhjal võib lugeda Teelõigu 1 sõidutee ning kõnnitee vastavaks standardile EVS-EN 13201-2, kuid suuremal osal kõnniteedel oli probleeme ühtluse tagamisega, sest simulatsiooni teel saadud ning mõõdetud rõhttasandilise valgustustiheduse keskmised hooldeväärtused ületasid rohkem kui 1,5 korda standardis ette nähtud väärtuseid. Samas, standard EVS-EN 13201-2 ei kohusta tagama kõnniteedel ühtlust vaid lihtsalt soovitab seda, seega võib lugeda ka kõnniteed vastavaks standardile EVS-EN 13201-2.

Lisaks võib öelda, et antud teelõigul on sõidutee osadel mõõtetulemused ja simulatsiooni teel saadud tulemused võrdlemisi sarnased, kuid enamike kõnniteede puhul oli simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemustes näha erinevust. Simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemuste erinevust võib seletada järgmiste faktoritega:

- simulatsiooni ei ole sisestatud kõiki valgust piiravaid objekte (puud, majad, aiad, parkivad autod)
- mõõteseadmete tolerantsid.

Nagu on näha eelnevatest tulemustest, on sõidutee puhul erinevus simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemustes väike, aga kõnniteede puhul on märgatav. Samas, kui vaadata kõnniteede paiknemist võrreldes sõiduteega, on näha, et valgust piiravad objektid (puud, majad, parkivad autod, aiad) on just kõnniteede kõrval, mitte sõidutee kõrval (kõnnitee jääb sõidutee ja valgust piiravate objektide vahele). Sellest on võimalik järeldada, et erinevuse mõõdetud ja simulatsiooni teel saadud tulemustes põhjustab kõige suurema tõenäosusega simulatsiooni ebatäpsus, mitte teised faktorid - vastasel juhul oleks näha ka suurt erinevust sõidutee mõõdetud ja simulatsiooni teel saadud tulemustes.

4. TEELÕIKUDE HINDAMINE EVS-EN 13201-5 BAASIL

4.1. EVS-EN 13201-5 standardi kirjeldus

4.1.1. Sissejuhatus

Standardis EVS-EN 13201-5 määratletakse teevalgustuspaigaldiste energiatõhususnäitajaid. Standardis on esitatud kaks sellekohast iseloomustavat suurust - erivõimsusnäitaja D_p ja aastane energiatarbimisnäitaja D_E , neid suuruseid tuleb alati kasutada koos. [13]

Selleks, et määrata võimalikku saavutatavat säästu energiatõhususe parandamisel ja keskkonnatoimete vähendamisel, on otstarbekas arvutada nii erivõimsusnäitaja kui ka aastane energiatarbimisnäitaja. Peale selle võib teevalgustuspaigaldiste energiatõhususe võrdlemiseks kasutada paigaldise valgusviljakust (η_{inst}). [13] Antud töös ei kasutata energiasäästu võrdlemiseks paigaldise valgusviljakust (η_{inst}).

Valgustusklassi(de) hoolikas valik projekteerimis- ja spetsifitseerimisfaasis võib üksnes valgustustiheduse vajalike tasemete tagamisega õigetel ajavahemikel ja minimaalsel kestusel kaasa aidata energiasäästu maksimeerimisele. Sellekohased lisajuhised on esitatud tehnilises aruandes CEN/TR 13201-1, arvestades tee kasutajate nägemisnõudeid nt. vahelduvate liiklusvoogude puhul öö eri ajavahemikel või ilmaolude vaheldumisel. [13]

Teevalgustuspaigaldise projekteerimisfaasis tuleb hoolt kanda, et tagada standardis EVS-EN 13201-2 sätestatud projekteerimiskriteeriumide täitmine, kuid et ülevalgustus oleks piiratud vähima tehniliselt saavutatava tasemeni. Ülevalgustust saab minimeerida valgusti ja valgusallika hoolika valikuga, kuid ka sätestatud valgustusklass, valgustuspunktide projektikohased vahemaad ja ühtlustegurid kuuluvad kõik faktorite hulka, mis määravad

valgusallikast kiirguva valgusvoo ja seega valgusallika nõutava võimsuse. Sellist täpselt määratletud valgusvoogu ei pruugi aga tegelikult olemas olla. [13] See tähendab, et on piisavalt palju erinevaid faktoreid, mis mõjutavad valgusvoogu erinevates punktides ning kõikide nende faktorite mõjusid on keeruline reguleerida reaalses olukorras. Selleks, et saada teada, kuidas ja kui palju faktorid mõjutavad tulemust, oleks võimalik kasutada teoreetiliselt ka valgusarvutuste puhul „DOE-d (desing of experiment)“, mis on üks „Six Sigma“ tööriistadest, mida kasutatakse peamiselt tootmiskeskkonnas sisendite mõjude leidmiseks väljundile. Antud tööriist võimaldab välja selgitada, kuidas mõjutab ja kui suur on mingi faktori (näiteks postivahede suurendamise) mõju väljundile (valgusvoole). Tööriista kasutamine annaks arvulise väärtuse, kui palju muutuks valgusvoog, kui näiteks suurendada postivahesid 1 m võrra. [14] Samas, kui reguleerimine on võimalik, ei pruugi see olla majanduslikus mõttes kasulik. Kui valgusallika valgusvoog on nõutavast suurem, võib projekteerija ette näha sujuvalt reguleeritava liiteseadise, mis vähendab valgusallika valgusvoogu nõutava tasemini, mille tulemus seisneb väiksemas energitarbimises. [13] Leedvalgustite puhul, mida oli kasutatud uuritud teelõigul, oleks kõige parem kasutada liiteseadeldist, millega oleks võimalik sujuvalt reguleerida voolu, mida antakse valgustile. Leedvalgustile jõudva voolu muutmiseks võib kasutada erinevaid alalismuundureid. [15]

4.1.2. Erivõimsusnäitaja arvutamine

Alapiirkondadeks jagatud piirkonna antud talitlusolukorra erivõimsusnäitaja leitakse järgneva valemiga:

$$D_P = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \cdot A_i)} \quad (4.1)$$

kus D_P on erivõimsusnäitaja $W \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$,

P on antud piirkonna valgustamiseks kasutatava valgustuspaigaldise süsteemivõimsus W ,

\bar{E}_i on vastavalt jaotisele määratletud alapiirkonna „i“ keskmine rõhttasandiline valgustustiheduse hooldeväärtus lx ,

A_i on valgustuspaigaldise valgustatava alapiirkonna „i“ pindala m^2 ,

n valgustatavate alapiirkondade arv. [13]

Kui nõutav valgustusklass öö või aastaegade kestel muutub, tuleb erivõimsusnäitaja arvutada iga valgustusklassi jaoks eraldi. Alternatiivselt, kui öö või aastaegade jooksul kasutatakse mitut valgustusklassi, võib erivõimsusnäitaja arvutada vastava ajavahemiku keskmise väärtusena. [13]

Valgustustihedusel põhinevates valgustusklassides (C ja P) tuleb erivõimsusnäitaja arvutamiseks kasutatav keskmise rõhttasandilise valgustustiheduse hooldeväärtus arvutada vastavalt standardile EVS-EN 13201-3. [13]

Heledusel põhinevates valgustusklassides (M) tuleb erivõimsusnäitaja arvutamiseks kasutatav keskmine rõhttasandilise valgustustiheduse hooldeväärtus arvutada samades rasterpunktides, mida kasutati heleduse arvutamiseks vastavalt standardile EVS-EN 13201-3. [13]

Poolsfäärilisel valgustustihedusel põhinevates valgustusklassides (HS) peab erivõimsusnäitaja arvutamiseks kasutatav keskmise rõhttasandilise valgustustiheduse hooldeväärtus võrduma valgustustiheduse keskmise väärtusega samades rasterpunktides, mida kasutati poolsfäärilise valgustustiheduse arvutamiseks vastavalt standardile EVS-EN 13201-3. [13]

Energiatõhususe ja keskkonnahoidlikuse seisukohast ei tohi teatava valgustuspaigaldise arvutatud valgustustase ületada järgmise kõrgema valgustusklassi nõutavat valgustustaset (kõrgeima valgustusklassi korral aga nõutavast tasemest 50% võrra kõrgemat taset) ilma muude projekteerimislahenduste arvestamiseta. [13]

Süsteemivõimsus tuleb arvutada otseselt valgustatava piirkonna valgustamisega seotud ja paigaldise talitluse ja reguleerimise otstarvel paigaldatud valgusallikate, liiteseadiste ja muude elektriseadiste talitlusvõimsuste summana. Süsteemivõimsus tuleb arvutada kogu valgustuspaigaldise või selle esindusliku sektsiooni jaoks, kasutades valemit:

$$P = \sum_{k=1}^{n_{lp}} P_k + P_{ad} \quad (4.2)$$

kus P on kogu valgustuspaigaldise või selle esindusliku sektsiooni süsteemivõimsus W ,

P_k on k-nda valgustuspunkti (valgusallika, liiteseadise ja muude seadiste nagu reguleerimisühiku, lüliti või fotoelemendi ja valgustuspunktiga kaasneva ning selle talitluseks vajaliku elemendi) talitlusvõimsus W ,

P_{ad} on võimsuses P_k arvestamata, kuid teepaigaldise talitluseks vajalike seadiste, nagu kaugjuhtimislüliti või fotoelemendi, tsentraalse valgusvooregulaatori või tsentraalse haldussüsteemi jne, kogu talitlusvõimsus W ,

n_p on arvutuses kasutatav valgustuspaigaldise või selle esindusliku osa valgustuspunktide arv. [13]

Kui valgusallikad ja muud elektriseadised talitlevad konstantsel võimsusel, tuleb seda võimsust kasutada süsteemivõimuse arvutamisel. [13]

Kui valgustusklass öö või aastaegade kestel muutub (nt. valgustusklassi piiramisel liiklustiheduse vähenemise või nägemiskeskkonna või muude oluliste parameetrite muutumise tõttu), tuleb nõutavatele valgustusklassile vastav süsteemivõimsus arvutada selle ajavahemiku jaoks. [13]

Erivõimsusnäitaja arvutamiseks kasutatav piirkond peab olema identne piirkonnaga, mida kasutatakse valgustuse projekteerimisel standardile EVS-EN 13201-2 vastavate ja standardis EVS-EN 13201-3 kirjeldatud parameetrite valgustusarvutamiseks. [13]

Kui tee sõiduteeosa ei ümbritse muud piirkonnad (nt. muud sõiduteed, kõnnirajad, jalgrattarajad, parkimispiirkonnad jne) ja kui ääre-valgustustihedussuhe on arvutatud vastavalt standardile EVS-EN 13201-2, ei tule erivõimsusnäitaja arvutusse võtta ääre-valgustustihedussuhte arvutamiseks kasutatud ümbritsevaid piirkondi. [13]

4.1.3. Aastase tarbimisnäitaja arvutamine

Teevalgustuspaigaldise aastane energiatarbimisnäitaja sõltub

- 1) Ajalisest kestusest, mille jaoks valgustus on ette nähtud,
- 2) Igaks valgustus-ajavahemikuks asjakohase valgustusstandardi järgi sätestatud valgustusklassist,
- 3) Valgustuspaigaldise valgusviljakusest, kui igaks ajavahemikuks on ette nähtud vajalik valgustus,

- 4) Viisist, millega valgushaldussüsteem järgib tee kasutajate nägemisvajaduste muutumist,
- 5) Valgustusseadiste parasiitenergia tarbimisest ajavahemikul, mil valgustust ei ole vaja. [13]

Valgustuspaigaldise energiatõhususe võrdlemiseks ja seireks peab energiatarbimisenäitja arvesse võtma tänavaid või avalikke piirkondi valgustava teevalgustuse aastast salvestatud energia kasutamist ning seda, et tegelik valgustusvajadus võib aasta jooksul järgmistel põhjustel muutuda:

- 1) Aastajalised päeva- ja ööaja muutused; see sõltub geograafilisest paiknemisest,
- 2) Muutlikud ilmaolud, mis mõjutavad nägemisaistingut (nagu nt. kuiv või märg teepind),
- 3) Tänav või avaliku ala muutlik liiklustihedus öö ajal,
- 4) Tänav või avaliku ala muutlik funktsionaalsus. [13]

Aastase energiatarbimisenäitaja arvutamiseks tuleb kasutada valemit:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A} \quad (4.3)$$

kus D_E on teevalgustuspaigaldise aastane energiatarbimisenäitaja $\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}$,
 P_j on j-nda talitlusvahemikuga seotud talitlusvõimsus W ,
 t_j on j-nda talitlusvahemiku talitlusgraafik võimsustarbimisega P_j kogu aastal h ,
 A on ühe ja sama valgustuskujundusega valgustatava piirkonna pindala m^2 ,
 m on erisuguse talitlusvõimsusega P_j ajavahemike arv; arv m peab ühtlasi arvestama ajavahemikke, mille kestel valgustus ei ole talitluses, st päevatunde ja mõningaid öö-ajavahemikke, mil paigaldis on valgustamata. [13]

Kui valgusallika valgusväljund on ette nähtud hoida konstantsena, kuid selle valgusallika (või muude elektriseadiste) tarbitav võimsus ajaliselt muutub (kui nt. kasutatakse konstantset valgusväljundit tagavat regulaatorit), tuleb arvutuses arvesse võtta keskmine võimsustarbimine ettenähtava eluea kestel. Arvutuses tuleb selgelt esitada keskmise võimsustarbimise arvutamisel eeldatava eluea kestus ja võimsustarbimise arvutamiseviis. [13]

4.2. Teelõik 1

Teelõigul 1 on 3 erinevat tüüpi tee osasid, nagu oli näha peatükis 3.2 [12], seega teelõigu hindamiseks tuleb hinnata kõiki erinevaid tee osasid vastavalt standardile EVS-EN 13201-5. Hindamiseks tuleb kõigepealt hinnata sõidutee ning kõnnitee osade ülevalgustust, seejärel arvutada erivõimused näitaja ja leida aastane energiatarbimise näitaja.

4.2.1. Tee osa 1

Tee osa 1 ülevalgustuse hindamine

Tee osa 1 sõidutee osa simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemused on näidatud tabelis (Tabel 4.1.). [12] Antud tabelist on simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemuste põhjal näha, et tee osa 1 sõidutee on üledimensioneeritud järgmistes punktides: heleduse üldühtlus, heleduse pikiühtlus ja heledusläve kõrgenemistegur. Üledimensioneerimisega ei ole probleeme aga teepinna keskmise heleduse korral, nii simulatsiooni teel saadud kui ka mõõdetud tulemustes.

Tabel 4.1. Tee osa 1 sõidutee EVS-EN 13201-5

Kirjeldus	Sõidutee pinna heledus			Pimestusräigus
	Kuiv olek			Kuiv olek
	\bar{L} [vähim hooldeväärtus] $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	U_o	U_l	f_{TI} %
Simulatsioon	1,33	0,79	0,85	6
Mõõdetud	1,25	0,74	0,82	-
EVS-EN 13201-2 2015 (M3)	1,00	0,40	0,60	15
EVS-EN 13201-2 2015 (M2)	1,50	0,40	0,70	10

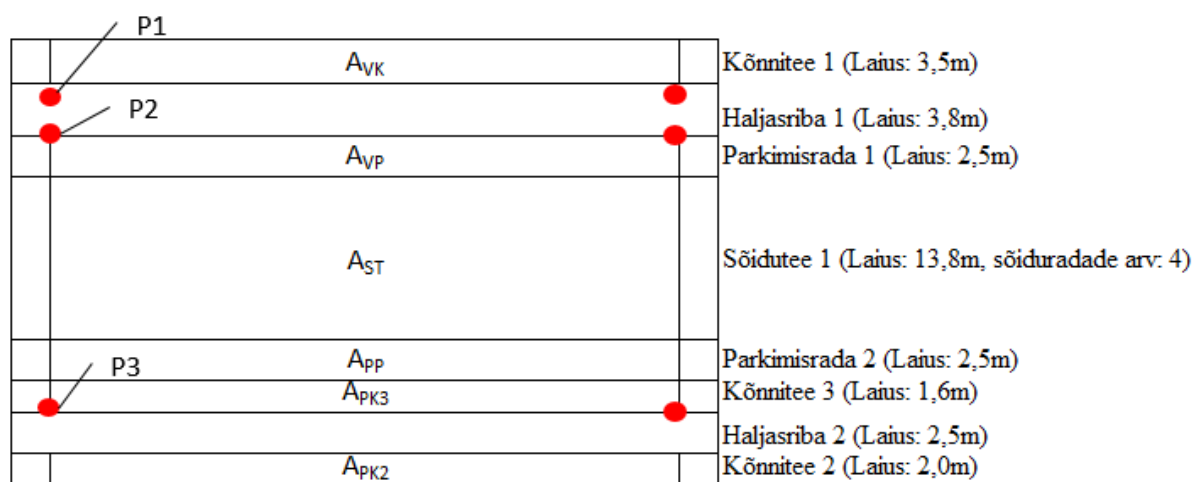
Tee osa 1 kõnniteede simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemused on näidatud tabelis (Tabel 4.2.). [12] Antud tabelist on näha, et kõik kõnniteed on üledimensioneeritud ja ületavad vähemalt järgmise klassi nõudeid, nii keskmise valgustustiheduse kui ka minimaalse valgustustiheduse korral, nii simulatsioon teel saadud kui ka mõõdetud tulemuste põhjal.

Tabel 4.2. Tee osa 1 kõnniteed EVS-EN 13201-5

Kirjeldus	Rõhktasandiline valgustustihedus	
	\bar{E} [vähim hooldeväärtus] lx	E_{min} [hooldeväärtus] lx
Kõnnitee 1(P3) simulatsioon	12,61	8,69
Kõnnitee 1(P3) mõõdetud	10,19	5,50
Kõnnitee 2(P4) simulatsioon	8,90	4,69
Kõnnitee 2(P4) mõõdetud	10,80	7,30
Kõnnitee 3(P3) simulatsioon	15,16	9,89
Kõnnitee 3(P3) mõõdetud	17,80	14,70
EVS-EN 13201-2 2015 (P2)	10,00	2,00
EVS-EN 13201-2 2015 (P3)	7,50	1,50
EVS-EN 13201-2 2015 (P4)	5,00	1,00

Tee osa 1 Erivõimsusnäitaja leidmine

Tee osa 1 pindalade ja võimsuste tähised on näidatud joonisel (Joonis 4.1.). [12]



Joonis 4.1. Tee osa 1

Tee osa 1 erivõimsusnäitaja leitakse valemiga (4.1).

Nagu on näha jooniselt (Joonis 4.1.), on antud tee osa jagatud kokku kaheksasse erinevasse osasse, mille laiused on märgitud joonisel, ning tee osa pikkuseks on 36 m. Vastavalt standardile EVS-EN 13201-5 jäetakse haljasribade pindalad erivõimsusnäitaja arvutamisel arvestamata, seega kokku on 6 erineva ala pindala, mis on esitatud järgnevalt: [13]

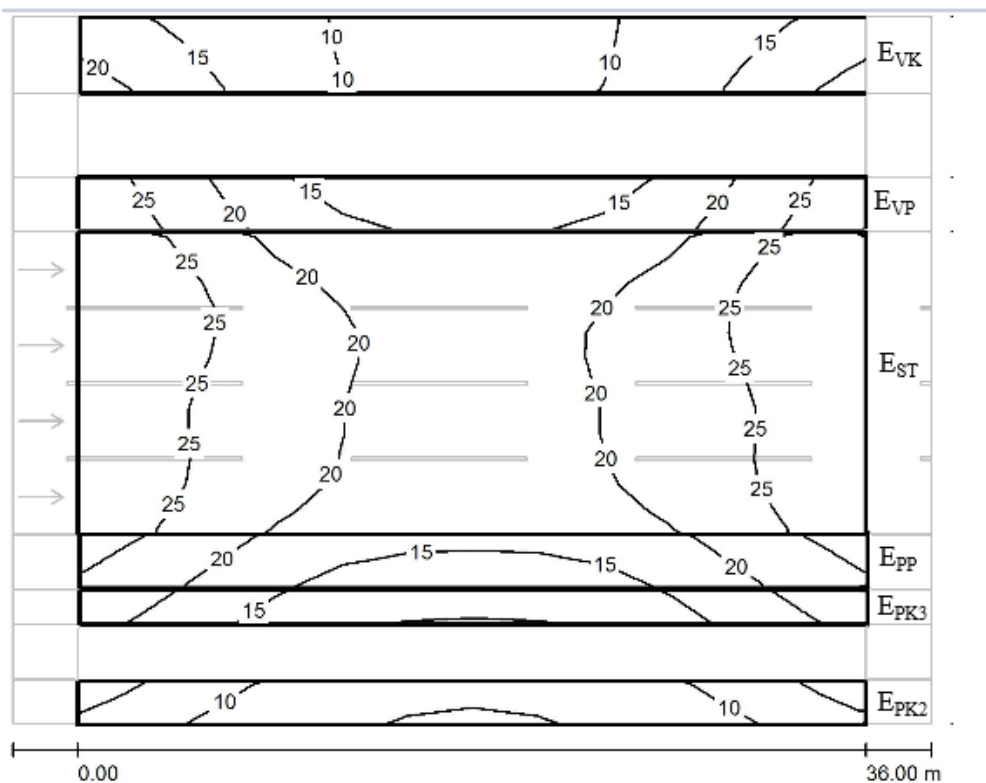
$$A_{VK} = 3,5 \cdot 36 = 126 \text{ m}^2 \quad A_{VP} = 2,5 \cdot 36 = 90 \text{ m}^2 \quad A_{ST} = 13,8 \cdot 36 = 496,8 \text{ m}^2$$

$$A_{PP} = 2,5 \cdot 36 = 90 \text{ m}^2 \quad A_{PK3} = 1,6 \cdot 36 = 57,6 \text{ m}^2 \quad A_{PK2} = 2 \cdot 36 = 72 \text{ m}^2$$

Valgustite võimsused vastavalt tabelile (Tabel 2.1) [3] [4] [5] ja projekteerimisandmetele [12] on järgmised:

$$P_1 = 62 \text{ W} \quad P_2 = P_3 = 155 \text{ W}$$

Valgustustiheduse hooldeväärtuste jaotused, mis on leitud, kasutades simulatsiooniprogrammi „Dialux“, on nähtavad jooniselt (Joonis 4.2.).



Joonis 4.2. Tee osa 1 valgustustiheduse hooldeväärtused

Tee osa 1 keskmised röhhtasandilised valgustustiheduse hooldeväärtused, mis on leitud programmiga „Dialux“ on järgmised:

$$E_{VKS} = 12,61 \text{ lx} \quad E_{VPS} = 18,48 \text{ lx} \quad E_{STS} = 22,34 \text{ lx}$$

$$E_{PPS} = 18,38 \text{ lx} \quad E_{PK3S} = 15,16 \text{ lx} \quad E_{PK2S} = 8,90 \text{ lx}$$

Tee osa 1 keskmised röhhtasandilised valgustustiheduse hooldeväärtused, mis on saadud mõõtmiste teel, on järgmised (parkimisradadel ei olnud võimalik mõõdistusi sooritada, seega parkimisradade puhul on kasutatud simulatsiooni teel saadud väärtuseid):

$$E_{VKM} = 10,19 \text{ lx} \quad E_{VPM} = 18,48 \text{ lx} \quad E_{STM} = 24,64 \text{ lx}$$

$$E_{PPM} = 18,38 \text{ lx} \quad E_{PK3M} = 17,80 \text{ lx} \quad E_{PK2M} = 10,80 \text{ lx}$$

Tee osa 1 simulatsiooni teel saadud tulemustega erivõimsusnäitaja kasutades valemit (4.1) on:

$$D_{PS} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{E_{VKS} \cdot A_{VS} + E_{VPS} \cdot A_{VP} + E_{STS} \cdot A_{ST} + E_{PPS} \cdot A_{PP} + E_{PK3S} \cdot A_{PK3} + E_{PK2S} \cdot A_{PK2}}$$

$$D_{PS} = \frac{62 + 155 + 155}{12,61 \cdot 126 + 18,48 \cdot 90 + 22,34 \cdot 496,8 + 18,38 \cdot 90 + 15,16 \cdot 57,6 + 8,90 \cdot 72}$$

$$D_{PS} = 21,28 \text{ mW} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tee osa 1 mõõtmiste teel saadud tulemustega erivõimsusnäitaja kasutades valemit (4.1) on:

$$D_{PM} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{E_{VKM} \cdot A_{VK} + E_{VPM} \cdot A_{VP} + E_{STM} \cdot A_{ST} + E_{PPM} \cdot A_{PP} + E_{PK3M} \cdot A_{PK3} + E_{PK2M} \cdot A_{PK2}}$$

$$D_{PM} = \frac{62 + 155 + 155}{10,19 \cdot 126 + 18,48 \cdot 90 + 24,64 \cdot 496,8 + 18,38 \cdot 90 + 17,80 \cdot 57,6 + 10,80 \cdot 72}$$

$$D_{PM} = 19,95 \text{ mW} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tee osa 1 aastase energiatarbimisinäitaja leidmine

Aastase energiatarbimisinäitaja leidmiseks kasutatakse valemit (4.3), kus antud tee osa 1 väärtused on järgmised.

Talitusvõimus P antud tee osal on:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P = 62 + 155 + 155$$

$$P = 372 \text{ W}$$

Aastane talitusvahemik on saadud reaalseste põlemistundide järgi. Antud teelõigu andmed on võetud ajavahemikul 01.07.2016 (teelõigu valmimise aeg) - 31.03.2017 (andmete saamise aeg). Kõnealune teelõik on nii uus, et ei olnud võimalik koguda terve aasta andmeid, seega puuduvate 3 kuu põlemistunnid on võetud ülejäänud 9 kuu keskmiste põlemistundidena. Antud teelõigu lülitusgraafik sõltub looduslikust valgusest ja valgustus lülitatakse sisse andurilt tuleva signaali tulemusena.

$$t = 4510,72 \text{ h}$$

Valgustatava ala pindala antud tee osal (välja on jäetud haljasalad) on:

$$A = A_{VK} + A_{VP} + A_{ST} + A_{PP} + A_{PK3} + A_{PK2}$$

$$A = 126 + 90 + 496,9 + 90 + 57,6 + 72$$

$$A = 932,5 \text{ m}^2$$

Aastane energiatarbimisinäitaja tee osal 1 kasutades valemit (4.3) on:

$$D_E = \frac{P \cdot t}{A}$$

$$D_E = \frac{372 \cdot 4510,72}{932,5}$$

$$D_E = 1,80 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

4.2.2. Tee osa 2

Tee osa 2 ülevalgustuse hindamine

Tee osa 2 sõidutee osa simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemused on näidatud tabelis (Tabel 4.3.). [12] Antud tabelist on näha, et tee osa 2 sõiduteel on üledimensioneeritud heleduse üldühtlus, heleduse pikiühtlus ja heledusläve kõrgenemistegur. Üledimensioneeritud ei ole aga teepinna keskmine heledus mõõtetulemuste järgi, kuid simulatsiooni teel saadud tulemuste järgi on üledimensioneeritud.

Tabel 4.3. Tee osa 2 sõidutee EVS-EN 13201-5

Kirjeldus	Sõidutee pinna heledus			Pimestusräigus
	Kuiv olek			Kuiv olek
	\bar{L} [vähim hooldeväärtus] $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	U_o	U_l	f_{TI} %
Simulatsioon	1,68	0,68	0,85	6
Mõõdetud	1,44	0,77	0,87	-
EVS-EN 13201-2 2015 (M3)	1,00	0,40	0,60	15
EVS-EN 13201-2 2015 (M2)	1,50	0,40	0,70	10

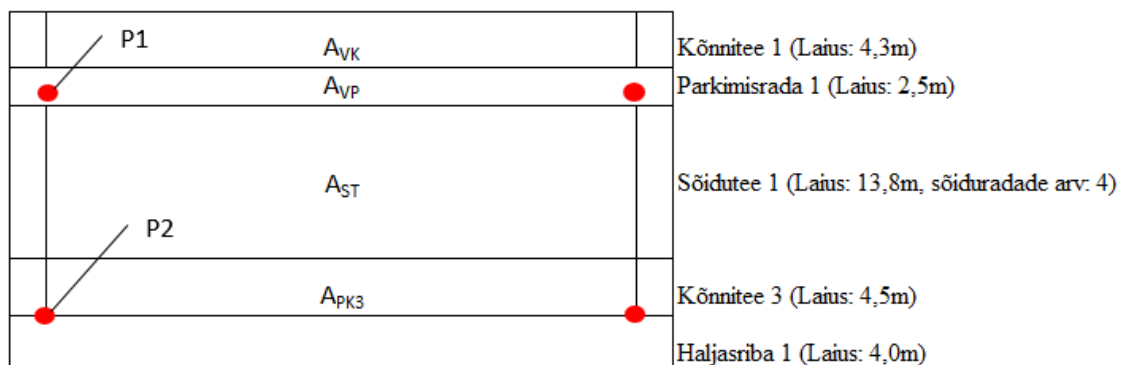
Tee osa 2 kõnniteede simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemused on näidatud tabelis (Tabel 4.4.). [12] Antud tabelist on näha, et kõnnitee 3 on üledimensioneeritud ja ületab vähemalt järgmise klassi nõudeid, nii keskmise valgustustiheduse kui ka minimaalse valgustustiheduse korral. Kõnnitee 1 ei ole üledimensioneeritud simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud keskmise valgustustiheduse korral.

Tabel 4.4. Tee osa 2 kõnniteede EVS-EN 13201-5

Kirjeldus	Rõhktasandiline valgustustiheidus	
	\bar{E} [vähim hooldeväärtus] lx	E_{min} [hooldeväärtus] lx
Kõnnitee 1(P3) simulatsioon	9,82	5,47
Kõnnitee 1(P3) mõõdetud	9,12	5,30
Kõnnitee 3(P3) simulatsioon	20,93	13,60
Kõnnitee 3(P3) mõõdetud	17,69	10,30
EVS-EN 13201-2 2015 (P2)	10,00	2,00
EVS-EN 13201-2 2015 (P3)	7,50	1,50

Tee osa 2 erivõimsusnäitaja leidmine

Tee osa 2 pindalade ja võimsuste tähised on näidatud joonisel (Joonis 4.3.). [12]



Joonis 4.3. Tee osa 2

Tee osa 2 erivõimsusnäitaja leitakse valemiga (3.1).

Nagu on näha jooniselt (Joonis 4.3.), on antud tee osa on jagatud kokku viite erinevasse osasse, mille laiused on märgitud joonisel, ning tee osa pikkuseks on 30m. Vastavalt

standardile EVS-EN 13201-5 jäetakse haljasribade pindalad erivõimsusnäitaja arvutamisel arvestamata, seega kokku on 4 erineva ala pindala, mis on esitatud järgnevalt [13]:

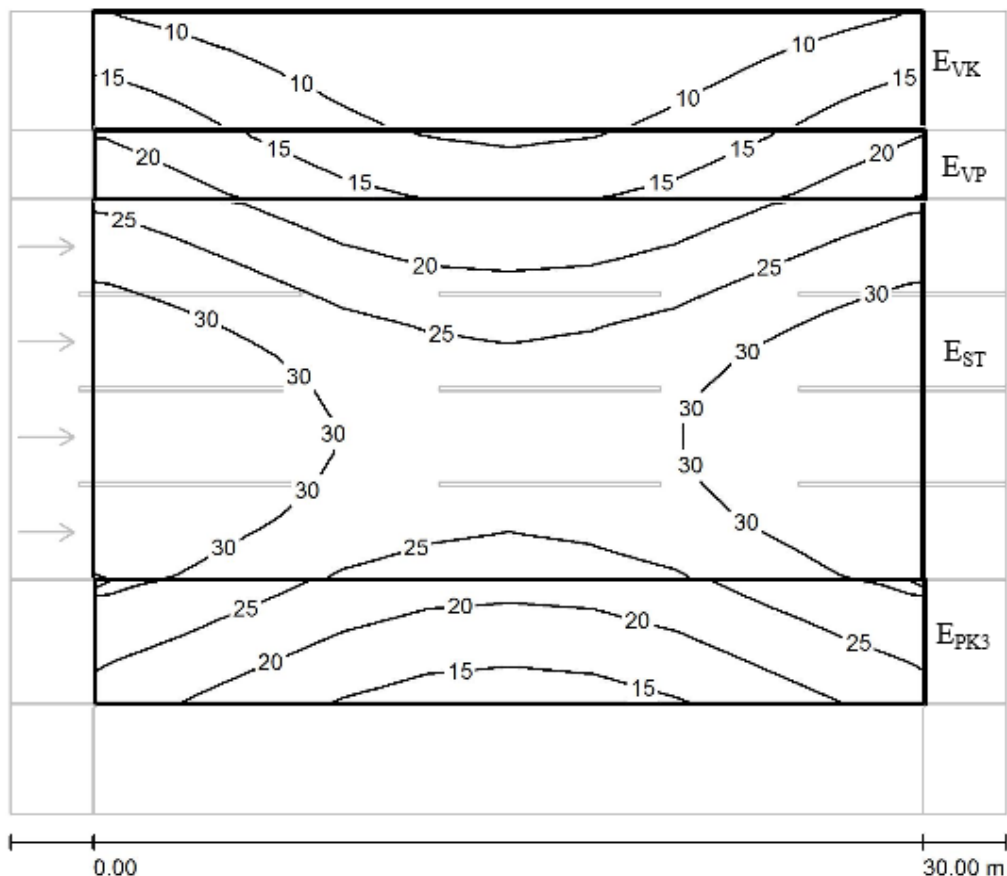
$$A_{VK} = 4,3 \cdot 30 = 129 \text{ m}^2 \quad A_{VP} = 2,5 \cdot 30 = 75 \text{ m}^2 \quad A_{ST} = 13,8 \cdot 30 = 414 \text{ m}^2$$

$$A_{PK3} = 4,5 \cdot 30 = 135 \text{ m}^2$$

Valgustite võimsused vastavalt tabelile (Tabel 2.1.) [3] [4] [5] ja projekteerimisandmete [12] on järgmised:

$$P_1 = P_2 = 155 \text{ W}$$

Valgustustiheduse hooldeväärtuste jaotused, mis on leitud kasutades simulatsiooniprogrammi „Dialux“, on nähtavad jooniselt (Joonis 4.4.).



Joonis 4.4. Tee osa 2 valgustustiheduse hooldeväärtused

Tee osa 2 keskmised rõhttasandilised valgustustiheduse hooldeväärtused, mis on leitud programmiga „Dialux“, on järgmised:

$$E_{VKS} = 9,82 \text{ lx} \quad E_{VPS} = 15,66 \text{ lx} \quad E_{STS} = 27,54 \text{ lx} \quad E_{PK3S} = 20,93 \text{ lx}$$

Tee osa 2 keskmised rõhttasandilised valgustustiheduse hooldeväärtused, mis on saadud mõõtmiste teel, on järgmised (parkimisrajal ei olnud võimalik mõõtmised sooritada, seega parkimisraja puhul on kasutatud simulatsiooni teel saadud väärtuseid):

$$E_{VKM} = 9,12 \text{ lx} \quad E_{VPM} = 15,66 \text{ lx} \quad E_{STM} = 23,41 \text{ lx} \quad E_{PK3M} = 17,69 \text{ lx}$$

Tee osa 2 simulatsiooni teel saadud tulemustega erivõimsusnäitaja kasutades valemit (4.1) on:

$$D_{PS} = \frac{P_1 + P_2}{E_{VKS} \cdot A_{VK} + E_{VPS} \cdot A_{VP} + E_{STS} \cdot A_{ST} + E_{PK3S} \cdot A_{PK3}}$$

$$D_{PS} = \frac{155 + 155}{9,82 \cdot 129 + 15,66 \cdot 75 + 27,54 \cdot 414 + 20,93 \cdot 135}$$

$$D_{PS} = 18,60 \text{ mW} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tee osa 2 mõõtmiste teel saadud tulemustega erivõimsusnäitaja kasutades valemit (4.1) on:

$$D_{PM} = \frac{P_1 + P_2}{E_{VKM} \cdot A_{VK} + E_{VPM} \cdot A_{VP} + E_{STM} \cdot A_{ST} + E_{PK3M} \cdot A_{PK3}}$$

$$D_{PM} = \frac{155 + 155}{9,12 \cdot 129 + 15,66 \cdot 75 + 23,41 \cdot 414 + 17,69 \cdot 135}$$

$$D_{PM} = 21,48 \text{ mW} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tee osa 2 aastase energiatarbimisenäitaja leidmine

Aastase energiatarbimisenäitaja leidmiseks kasutatakse valemit (4.3), kus antud tee osa väärtused on järgmised.

Talitusvõimus P antud tee osal on:

$$P = P_1 + P_2$$

$$P = 155 + 155$$

$$P = 310 \text{ W}$$

Aastane talitlusvahemik on sama, mis tee osal 1:

$$t = 4510,72 \text{ h}$$

Valgustatava ala pindala antud tee osal (välja on jäetud haljasalad) on:

$$A = A_{VK} + A_{VP} + A_{ST} + A_{PK3}$$

$$A = 129 + 75 + 414 + 135$$

$$A = 753 \text{ m}^2$$

Aastane energiatarbimismäär tee osal 2 on:

$$D_E = \frac{P \cdot t}{A}$$

$$D_E = \frac{310 \cdot 4510,72}{753}$$

$$D_E = 1,86 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

4.2.3. Tee osa 3

Tee osa 3 ülevalgustuse hindamine

Tee osa 3 sõidutee osa simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemused on näidatud tabelis (Tabel 4.5.). [12] Antud tabelist on näha, et tee osa 3 sõiduteel on üledimensioneeritud heleduse üldühtlus, heleduse pikiühtlus ja heledusläve kõrgenemistegur. Üledimensioneeritud ei ole teepinna keskmine heledus.

Tabel 4.5. Tee osa 3 sõidutee EVS-EN 13201-5

Kirjeldus	Sõidutee pinna heledus			Pimestusräigus
	Kuiv olek			Kuiv olek
	\bar{L} [vähim hooldeväär tus] $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	U_o	U_l	f_{Tl} %
Simulatsioon	1,36	0,73	0,86	5
Mõõdetud	1,44	0,64	0,75	-
EVS-EN 13201-2 2015 (M3)	1,00	0,40	0,60	15
EVS-EN 13201-2 2015 (M2)	1,50	0,40	0,70	10

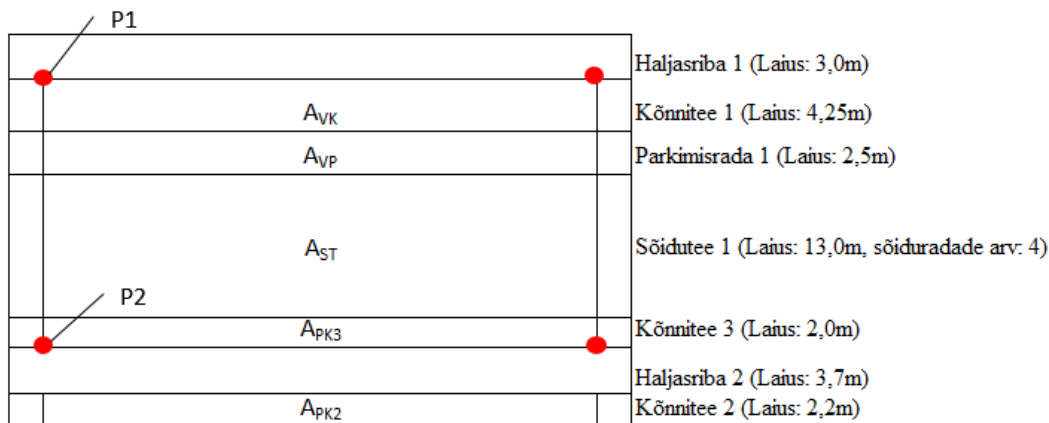
Tee osa 3 kõnniteede simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud tulemused on näidatud tabelis (Tabel 4.6.). [12] Antud tabelist on näha, et kõik kõnniteed on üledimensioneeritud ja ületavad vähemalt järgmise klassi nõudeid, nii keskmise valgustustiheduse kui ka minimaalse valgustustiheduse korral, välja arvatud kõnnitee 2 mõõdetud keskmine valgustustihedus.

Tabel 4.6. Tee osa 3 kõnniteed EVS-EN 13201-5

Kirjeldus	Rõhttasandiline valgustustihedus	
	\bar{E} [vähim hooldeväärtus] lx	E_{min} [hooldeväärtus] lx
Kõnnitee 1(P3) simulatsioon	19,90	13,82
Kõnnitee 1(P3) mõõdetud	17,87	12,50
Kõnnitee 2(P4) simulatsioon	8,08	5,03
Kõnnitee 2(P4) mõõdetud	7,09	5,20
Kõnnitee 3(P3) simulatsioon	17,19	12,09
Kõnnitee 3(P3) mõõdetud	13,96	9,60
EVS-EN 13201-2 2015 (P2)	10,00	2,00
EVS-EN 13201-2 2015 (P3)	10,00	2,00
EVS-EN 13201-2 2015 (P4)	10,00	2,00

Tee osa 3 erivõimsusnäitaja leidmine

Tee osa 3 pindalade ja võimsuste tähised on näidatud joonisel (Joonis 4.5.). [12]



Joonis 4.5. Tee osa 3

Tee osa 3 erivõimsusnäitaja leitakse valemiga (4.1).

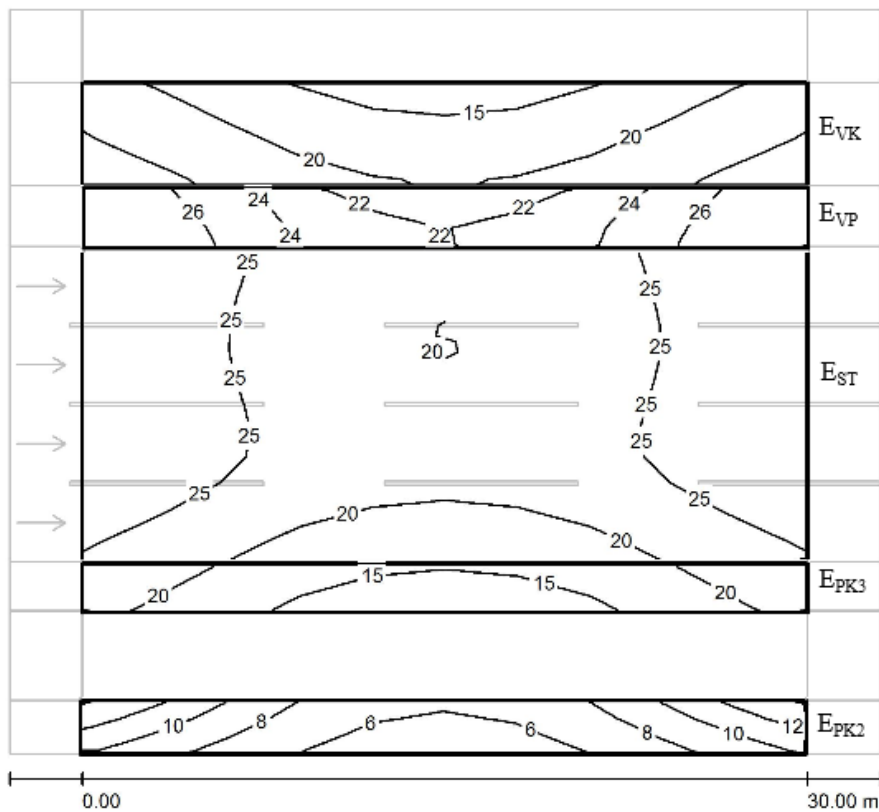
Nagu on näha jooniselt (Joonis 4.5.), on antud tee osa jagatud kokku seitsmesse erinevasse osasse, mille laiused on märgitud joonisel, ning tee osa pikkuseks on 30m. Vastavalt standardile EVS-EN 13201-5 jäetakse haljasribade pindalad erivõimsusnäitaja arvutamisel arvestamata, seega kokku on 5 erineva ala pindala, mis on esitatud järgnevalt [13]:

$$\begin{aligned} A_{VK} &= 4,25 \cdot 30 = 127,5 \text{ m}^2 & A_{VP} &= 2,5 \cdot 30 = 75 \text{ m}^2 & A_{ST} &= 13 \cdot 30 = 390 \text{ m}^2 \\ A_{PK3} &= 2 \cdot 30 = 60 \text{ m}^2 & A_{PK2} &= 2,2 \cdot 30 = 66 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Valgustite võimsused vastavalt tabelile: (Tabel 2.1.) [3] [4] [5] ja projekteerimisandmetele [12] on järgmised:

$$P_1 = P_2 = 155 \text{ W}$$

Valgustustiheduse hooldeväärtuste jaotused, mis on leitud kasutades simulatsiooniprogrammi „Dialux“, on nähtavad jooniselt (Joonis 4.6.).



Joonis 4.6. Tee osa 3 valgustustiheduse hooldeväärtused

Tee osa 3 keskmised rõhttasandilised valgustustiheduse hooldeväärtused, mis on leitud programmiga „Dialux“, on järgmised:

$$E_{VKS} = 19,90 \text{ lx} \quad E_{VPS} = 24,43 \text{ lx} \quad E_{STS} = 24,65 \text{ lx}$$

$$E_{PK3S} = 17,19 \text{ lx} \quad E_{PK2S} = 8,08 \text{ lx}$$

Tee osa 3 keskmised rõhttasandilised valgustustiheduse hooldeväärtused, mis on saadud mõõtmiste teel, on järgmised (parkimisrajal ei olnud võimalik mõõtmised sooritada, seega parkimisraja puhul on kasutatud simulatsiooni teel saadud väärtuseid):

$$E_{VKM} = 17,87 \text{ lx} \quad E_{VPM} = 24,43 \text{ lx} \quad E_{STM} = 21,58 \text{ lx}$$

$$E_{PK3M} = 13,96 \text{ lx} \quad E_{PK2} = 7,09 \text{ lx}$$

Tee osa 3 erivõimsusnäitaja simulatsiooni teel saadud tulemustega kasutades valemit (4.1) on:

$$D_{PS} = \frac{P_1 + P_2}{E_{VKS} \cdot A_{VK} + E_{VPS} \cdot A_{VP} + E_{STS} \cdot A_{ST} + E_{PK3S} \cdot A_{PK3} + E_{PK2S} \cdot A_{PK2}}$$

$$D_{PS} = \frac{155 + 155}{19,90 \cdot 127,5 + 24,43 \cdot 75 + 24,65 \cdot 390 + 17,19 \cdot 60 + 8,08 \cdot 66}$$

$$D_{PS} = 19,94 \text{ mW} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tee osa 3 erivõimsusnäitaja mõõtmiste teel saadud tulemustega kasutades valemit (4.1) on:

$$D_{PM} = \frac{P_1 + P_2}{E_{VKM} \cdot A_{VK} + E_{VPM} \cdot A_{VP} + E_{STM} \cdot A_{ST} + E_{PK3M} \cdot A_{PK3} + E_{PK2M} \cdot A_{PK2}}$$

$$D_{PM} = \frac{155 + 155}{17,87 \cdot 127,5 + 24,43 \cdot 75 + 21,58 \cdot 390 + 13,96 \cdot 60 + 7,09 \cdot 66}$$

$$D_{PM} = 22,41 \text{ mW} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tee osa 3 aastase energiatarbimisnäitaja leidmine

Aastase energiatarbimisnäitaja leidmiseks kasutatakse valemit(4.3), kus antud tee osa väärtused on järgmised.

Talitlusvõimus P antud tee osal on:

$$P = P_1 + P_2$$

$$P = 155 + 155$$

$$P = 310 \text{ W}$$

Aastane talitlusvahemik:

$$t = 4510,72 \text{ h}$$

Valgustatava ala pindala antud tee osal (välja on jäetud haljasalad) on:

$$A = A_{VK} + A_{VP} + A_{ST} + A_{PK3} + A_{PK2}$$

$$A = 127,5 + 75 + 390 + 60 + 66$$

$$A = 718,5 \text{ m}^2$$

Aastane energiatarbimisnäitaja tee osal 3 on:

$$D_E = \frac{P \cdot t}{A}$$

$$D_E = \frac{310 \cdot 4510,72}{718,5}$$

$$D_E = 1,95 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

4.3. Teelõik 1 kokkuvõte vastavusest EVS-EN 13201-5 standardile

Teelõik 1 erinevate tee osade esimeseks puudujäägiks on valgustuse üledimensioneerimine, mis on nähtav peatükist 4.2. Erinevate tee osade erinevad tee liigid ületavad enamikes kohtades EVS-EN 13201-2 standardi järgmise klassi nõudeid nii mõõdetud kui ka simulatsiooni tulemusel saadud väärtuste korral, kuigi näha on erinevust simulatsiooni teel saadud ja mõõdetud väärtustes, ei ole see erinevus piisavalt suur selleks, et projekteerimisfaasis oleks vajalik nii suur üledimensioneerimine nagu oli tehtud antud teelõigul.

Erinevus mõõtetulemuste ja simulatsiooni teel saadud tulemustes tuleb eriti välja kõnniteede puhul, mille põhjuseks võib olla simulatsiooni ebatäpsus nagu sai kirjeldatud punktis 3.3. Sõidutee puhul on erinevus mõõdetud tulemuste ja simulatsiooni teel saadud tulemuste puhul väiksem kui kõnniteedel.

Antud teelõigu näitel tuleks edaspidiste teevalgustusprojektide projekteerimisfaasis jälgida kindlasti standardi EVS-EN 13201-2 nõuetele vastavust mitte ainult nii, et saavutatakse vähemalt vastavus valitud klassile vaid, et see ei ületaks kindlasti järgmise klassi nõudeid ehk nõuded oleks täidetud võimalikult väikese varuteguriga.

Teelõik 1 erinevate tee osade erivõimsusnäitaja kokkuvõte on näidatud tabelis: (Tabel 4.7.). Teelõigu omaduse võrdlemiseks on näidatud esimeses tulbas standardist EVS-EN 13201-5 võetud tüüpväärtused teekujunduse F (sõidutee (7m laiusega) ja kaks mururibaga eraldatud kõnniteed) korral valgustusklassile M3/P3, kui kasutusel on leedvälisvalgustid. Antud võrdlusest võib välja lugeda, et antud töös uuritud teelõigu erivõimsusnäitaja tulemused on vägagi head võrreldes tüüpväärtusega, nii mõõtetulemuste kui ka simulatsiooni teel saadud tulemuste korral. Antud näitaja põhjal võib öelda, et antud teelõik vastab standardile EVS-EN 13201-5 ja ületab selle standardi ootuseid.

Tabel 4.7. Erivõimsusnäitaja

Teelõik 1				
Standardi EVS-EN 13201-5 tüüpvärtus	Tulemuste saavutamise viis	Tee osa 1	Tee osa 2	Tee osa 3
Erivõimsusnäitaja D_p $mW \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$		Erivõimsusnäitaja D_p $mW \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$	Erivõimsusnäitaja D_p $mW \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$	Erivõimsusnäitaja D_p $mW \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}$
25	Simulatsioon	21,23	18,59	19,93
	Mõõtmised	19,95	21,48	22,41

Teelõik 1 erinevate osade aastase energiatarbimisenäitaja kokkuvõte on esitatud tabelis: (Tabel 4.8.). Teelõigu omaduse võrdlemiseks on näidatud esimeses tulbas standardist EVS-EN 13201-5 võetud tüüpvärtused teekujunduse F (sõidutee (7m laiusega) ja kaks mururibaga eraldatud kõnniteed) korral valgustusklassile M3/P3, kui kasutusel on leedvälisvalgustid. Antud tabelist võib lugeda, et uuritud teelõik ei vasta aastase energiatarbimisenäitaja kohapealt standardis EVS-EN 13201-5 pakutud tüüpvärtustele.

Tabel 4.8. Aastane energiatarbimisenäitaja

Teelõik 1			
Standardi tüüpvärtus	Tee osa 1	Tee osa 2	Tee osa 3
Aastane energiatarbimisenäitaja D_E $kWh \cdot m^{-2}$ EVS-EN 13201-5	Aastane energiatarbimisenäitaja D_E $kWh \cdot m^{-2}$ EVS-EN 13201-5	Aastane energiatarbimisenäitaja D_E $kWh \cdot m^{-2}$ EVS-EN 13201-5	Aastane energiatarbimisenäitaja D_E $kWh \cdot m^{-2}$ EVS-EN 13201-5
1,3	1,80	1,86	1,95

Eelneva kokkuvõtte tulemusena võib väita, et töös analüüsitud teelõik ei vasta standardile EVS-EN 13201-5 järgmistel põhjustel:

- 1) Teelõik on üledimensioneeritud ületades enamikes lõikudes järgmise valgustusklassi nõudeid.
- 2) Aastane energiatarbimisenäitaja ületab standardis toodud tüüpvärtuseid.

Järnevalt on nimetatud viise, kuidas oleks teoreetiliselt võimalik antud teelõigul saavutada parem energiatõhusus

- 1) Suurendada postivahesid (ebareaalne oleks hakata postivahesid suurendama kui teelõik on juba valmis)
- 2) Kasutada väiksema võimsusega valgusteid (investeerida uutesse valgustitesse oleks majanduslikult ebapraktiline).
- 3) Lisada sujuvalt reguleeritav liiteseadeldis valgustitele [16]

Järgnevalt on toodud välja põhjused kuidas antud viisid saavad mõjutada teelõigu energiatõhusust

- 1) Postivahede suurendamine võimaldab kasutada vähem valgusteid kogu teelõigul, mis vähendaks üledimensioneerimist ja parandaks aastase energiatarbimisnäitaja tulemust antud teelõigul (ebareaalne oleks hakata postivahesid suurendama kui teelõik on juba valmis).
- 2) Väiksema võimsusega valgustite kasutamine vähendaks üledimensioneerimist ja parandaks aastase energiatarbimisnäitaja tulemust antud teelõigul (investeerida uutesse valgustitesse oleks majanduslikult ebapraktiline).
- 3) Sujuvalt reguleeritava liiteseadeldise kasutamine oleks kõige mõistlikum viis kuidas saavutada juba valmis ehitatud teelõigu vastavus nii EVS-EN 13201-2 kui ka EVS-EN 13201-5 standardile. Antud liiteseadeldis võimaldab vastavalt reaalsele teeoludele vähendada valgustite tarbitavat võimsust. [16]

Teelõigu energiatõhususega ei oleks olnud probleeme, kui teelõigu projekteerimise käigus oleks simulatsiooni sisestatud kõik muud valgust piiravad objektid, sellisel juhul ei oleks olnud vaja projekteerijal nii palju tänaval kasutatavaid valgusteid üledimensioneerida. Kui projekteerija oleks lisanud need objektid simulatsiooni programmi ei oleks olnud vaja mõelda sellele, et kas reaalse mõõtetulemuste korral lõik vastaks ka standardile EVS-EN 13201-2.

Tulevaste lõikude projekteerimisel tuleks seega jälgida järgmiseid aspekte:

- 1) Projekteerimise käigus tuleb lisada kõik valgust piiravad objektid simulatsiooni programmi- võimalik on täpsem valgustite võimsuse ja postivahede dimensioneerimine.
- 2) Kasutada valgustite juures sujuvalt reguleeritavat liiteseadeldist- võimaldab vastavalt reaalsele mõõtetulemustele ja tee kasutuse tihedusele muuta valgustite valgusvoogu, mis omakorda tähendaks parema energiatõhususega teelõiku.

5. KOKKUVÕTE

Magistriõppe lõputöö on kirjutatud Tallinna Tehnikaülikooli doktorandi Toivo Varjase juhendamisel ning kasutatud on Elektrilevi OÜ poolt saadud materjale ja standardiportaalist saadud standardeid.

Lõputöö teemaks oli valitud teevalgustuspaigaldise energiatõhususe hindamine ning näitajate analüüs (EVS-EN 13201-5 baasil), mille peamine eesmärk oli hinnata kindla teelõigu omadusi energiatõhususe vaatevinklist. Teema oli pakutud töö juhendaja doktorandi Toivo Varjase poolt.

Lõputöö teema oli pakutud selleks, et kasutada värkselt ilmunud standardit EVS-EN 13201-5 ning saada ülevaade, kuidas tuleb kasutada antud standardit teevalgustuspaigaldise energiatõhususe hindamisel.

Lõputöö alguses kirjeldati valitud teelõiku ning põhjendati antud teelõigu valikut. Teelõigu valiku põhikriteeriumiks oli see, et teelõik oleks värkelt renoveeritud, mida ka töös analüüsitud teelõik oli. Tingimuse seadmine, et teelõik oleks värkelt renoveeritud andis võimaluse hinnata praeguselt hetkel olevate projekteerimistavade vastavuse kohta ka energiatõhususe kohapealt. Samuti oli värkelt renoveeritud teelõigu puhul heaks küljeks see, et materjalid teelõigu omaduste kohta olid lihtsasti kättesaadavad.

Järgmises peatükis kontrollisin valitud teelõigu vastavust standardile EVS-EN 13201-2, millele viitab standard EVS-EN 13201-5, kus on välja toodud, et valgustuspaigaldis peab iga juhul vastama standardist EVS-EN 13201-2 tulenevatel nõuetele. [13] Analüüsiks valitud teelõik oli küll vastu võetud selle standardi kohaselt, kuid kontrollisin selle siiski ka isiklikult üle ja teostas ka koos töö juhendajaga valgustehnilised mõõtmised antud teelõigule. Välja

võib tuua selle, et ajavahemikul teelõigu projekteerimine kuni antud lõputöö kirjutamine, oli toimunud muudatus standardis EVS-EN 13201-2, millega karmistused teatavad nõuded teevalgustuspaigaldistele. Sellest tulenevalt kontrollisin antud töös teelõigu vastavust uuemale EVS-EN 13201-2 2015 standardile. Antud tööst selgus, et teelõik vastas ka karmistunud nõuetele.

Lõputöö põhiline sisuline osa oli esitatud peatükis 4 kus kontrollisin valitud teelõigu vastavust standardile EVS-EN 13201-5. Antud standardi järgi on esimeseks hindamiskriteeriumiks standardist EVS-EN 13201-2 tulenevad nõuded. Standard EVS-EN 13201-5 sätestab, et standardi EVS-EN 13201-2 nõuded oleks täidetud minimaalse üledimensioneerimisega, ehk nad ei tohiks ületada järgmise valgustusklassi nõudeid või kui tegemist on kõige kõrgema valgustusklassiga, ei tohiks ületada selle nõudeid rohkem kui 50%. [13] Antud töö näitaski seda, et valitud teelõik on paljudes kohtades üledimensioneeritud. Järgmisena sätestab standard, et vaja on arvutada teelõigu erivõimsusnäitaja, mis antud töös ka arvutati. Erivõimsusnäitaja arvutustulemused olid standardis toodud võrreldava teelõigu omast paremad, seega võiks öelda, et erivõimsusnäitajaga antud teelõigul probleeme ei esinenud. Peale seda oli vaja arvutada aastane energiatarbimisnäitaja, mille tulemused võrreldes standardis toodud sarnase teelõigu tüüpvaartusetga olid halvemad. Sellest võis järeldada, et antud teelõik energiatarbimise seisukohast täitis ainult ühe tingimuse kolmest.

Antud töö tõi välja, selle, et uuritud teelõik ei ole vastav standardile EVS-EN 13201-5, millest võib välja lugeda, et praeguse hetke projekteerimistavad, kus on kasutatakse ainult standardit EVS-EN 13201-2 ei pruugi tagada hea energitõhususega teevalgustuspaigaldisi.

Lõputöö käigus sain rakendada enda teadmisi ja oskuseid erinevate standardite kasutamise kohta. Antud töö andis võimaluse uurida ja aru saada teevalgustuspaigaldise projekteerimise ja mõõtmiste eripäradest ja töövõtetest. Samuti andis antud lõputöö võimaluse kasutada koolis õpitud teistsuguseid erialaseid teadmisi, mida igapäevases töös ei ole kasutanud.

Antud töö praktiliseks väärtuseks võib pidada seda, et antud tööd saab kasutada juhendmaterjalina tulevaste teelõikude projekteerimisel, kui on vaja hinnata ka teevalgustuspaigaldise energiatarbimist. Antud juhendmaterjali saavad kasutada nii projekteerijad ja tellijad, et hinnata teelõigu energiatarbimist. Lisaks sellele on antud töö hea materjal ka tudengitele, kes võivad tulevikus kokku sattuda selliste väljakutsetega. Samuti

annab antud töö ülevaate, millele tuleks kindlasti rõhku panna uute teevalgustusprojektide tegemisel, et paigaldised oleksid ka energiatõhusad.

Antud töö näitas seda, et standardi EVS-EN 13201-5 kasutamine projekteerimisfaasis ei põhjusta projekteerijale märkimisväärset lisatööd, kuna simulatsiooniprogrammis on kõik võimalused olemas ning kui seda kasutada koostöös standardiga EVS-EN 13201-2 on võimalik saavutada märkimisväärne majanduslik sääst nii elektrienergia kui ka paigaldatavate seadmete arvelt, samas täites kõiki valgustehnilisi nõudeid.

Enda arvates sain püstitatud ülesande lahendamisega hästi hakkama, kuna täitsin kõik eesmärgid, mis ülesande püstitamise käigus sai pandud.

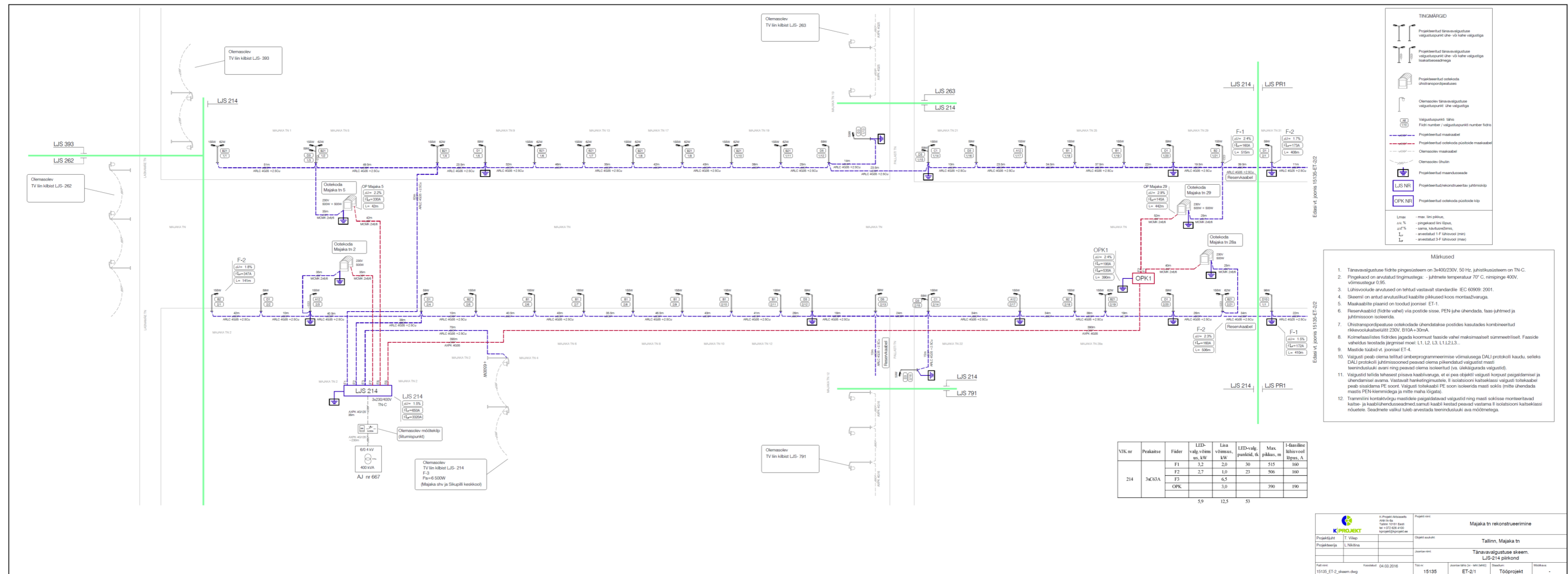
KASUTATUD KIRJANDUS

1. Tallinna Õigusaktide andmebaas <https://oigusaktid.tallinn.ee/?id=3003&aktid=124709>
Vaadatud 06.05.2017
2. K-Projekt AS, Töö nr. 15135 Tallinn, Majaka tn. Rekonstrueerimine Tänavavalgustus, Köide 6: Majaka tänava asendiplaan-Tallinn, 2016.
3. K-Projekt AS, Töö nr. 15135 Tallinn, Majaka tn. Rekonstrueerimine Tänavavalgustus, Köide 5: Põhimaterjalide loetelu-Tallinn, 2016.
4. Valgustite dialux failide andmebaas http://lumsearch.com/en/article/6bfSX0gSR2K53-0x_PCDKw Vaadatud 05.03.2017
5. Valgustite dialux failide andmebaas http://lumsearch.com/en/article/RFUG6-d6RPOp_OdoyT_wEA Vaadatud 05.03.2017
6. K-Projekt AS, Töö nr. 15135 Tallinn, Majaka tn. Rekonstrueerimine Tänavavalgustus, Köide 3: Tänavavalgustuse skeem-Tallinn, 2016.
7. K-Projekt AS, Töö nr. 15135 Tallinn, Majaka tn. Rekonstrueerimine Tänavavalgustus, Köide 1: Seletuskiri-Tallinn, 2016.
8. K-Projekt AS, Töö nr. 15135 Tallinn, Majaka tn. Rekonstrueerimine Tänavavalgustus, Köide 4: Kilbiskeem-Tallinn, 2016.-
9. EVS-EN 13201-2:2015 Teevalgustus. / Osa 2: Toimivusnõuded – Tallinn:Eesti Standardikeskus, 2015.-28 lk.
10. Risthein, E.Valgustehnika Sõnastik. – Tallinn Valgus, 1982 –149lk
11. EVS-EN 13201-2:2007 Teevalgustus. / Osa 2: Toimivusnõuded – Tallinn:Eesti Standardikeskus, 2015.-28 lk.
12. K-Projekt AS, Töö nr. 15135 Tallinn, Majaka tn. Rekonstrueerimine Tänavavalgustus, Köide 2: Valgustuse arvutused_Majaka tn_Luma-Tallinn, 2016.
13. EVS-EN 13201-5:2015 Teevalgustus. / Osa 5: Energiatõhususnäitajad – Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2015.- 27 lk.

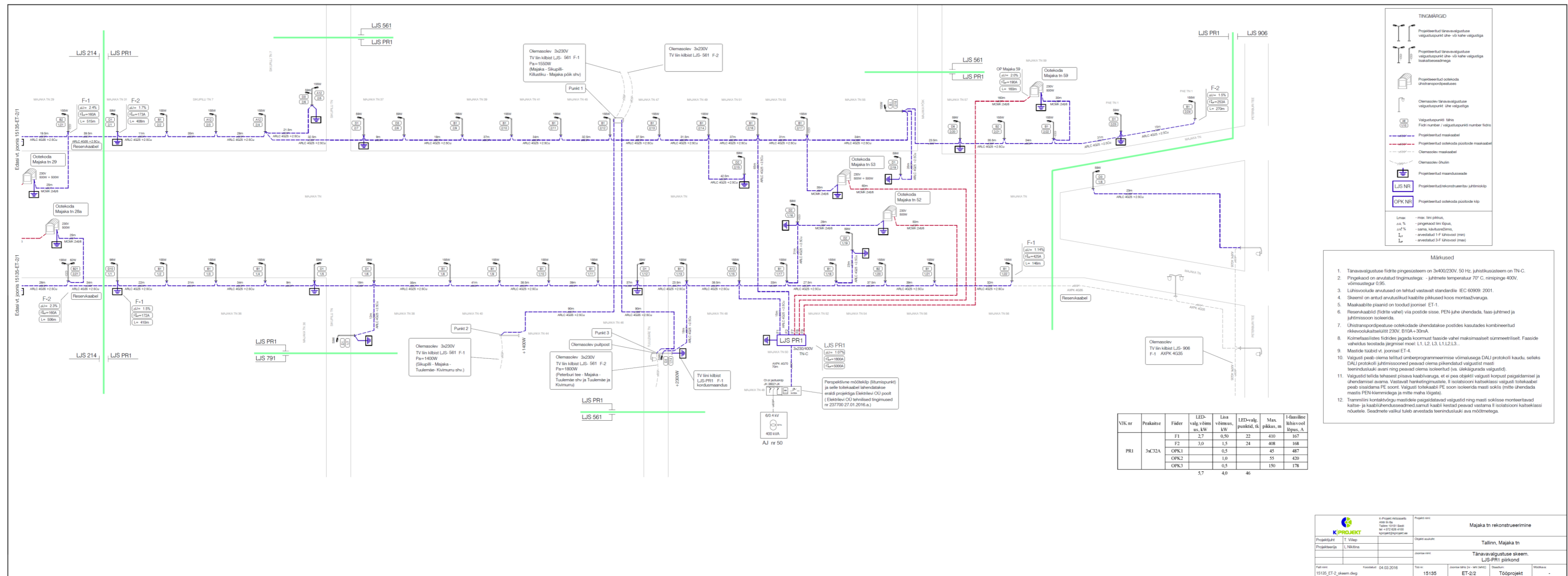
14. American Society of Quality <http://asq.org/learn-about-quality/data-collection-analysis-tools/overview/design-of-experiments.html> Vaadatud 19.05.2017
15. I. Galkin, L. Bisenieks, A.Suzdalenko, Impact of pulse modulation method of LED dimmer for street lighting on its efficiency „ Proceedings of the 4th European DSP in Education and Research Conference“, 2010
16. A. Sedziwy, L.Kotulski, A New Approach to Power Consumption Reduction of Street Lighting „2015 International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems(SMARTGREENS)“, 2015

L I S A D

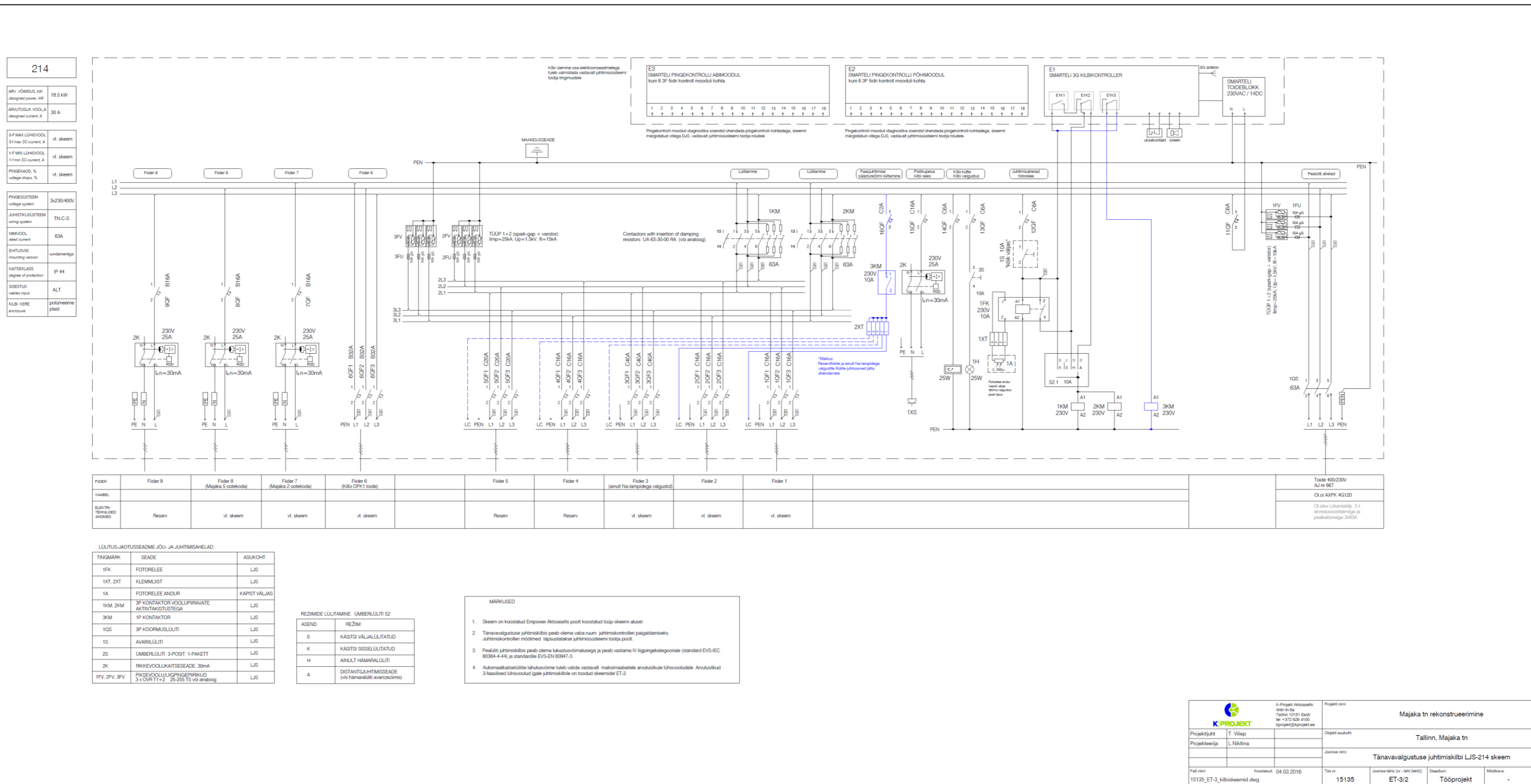
Tänavavalgustuse skeem LJS-214 piirkond



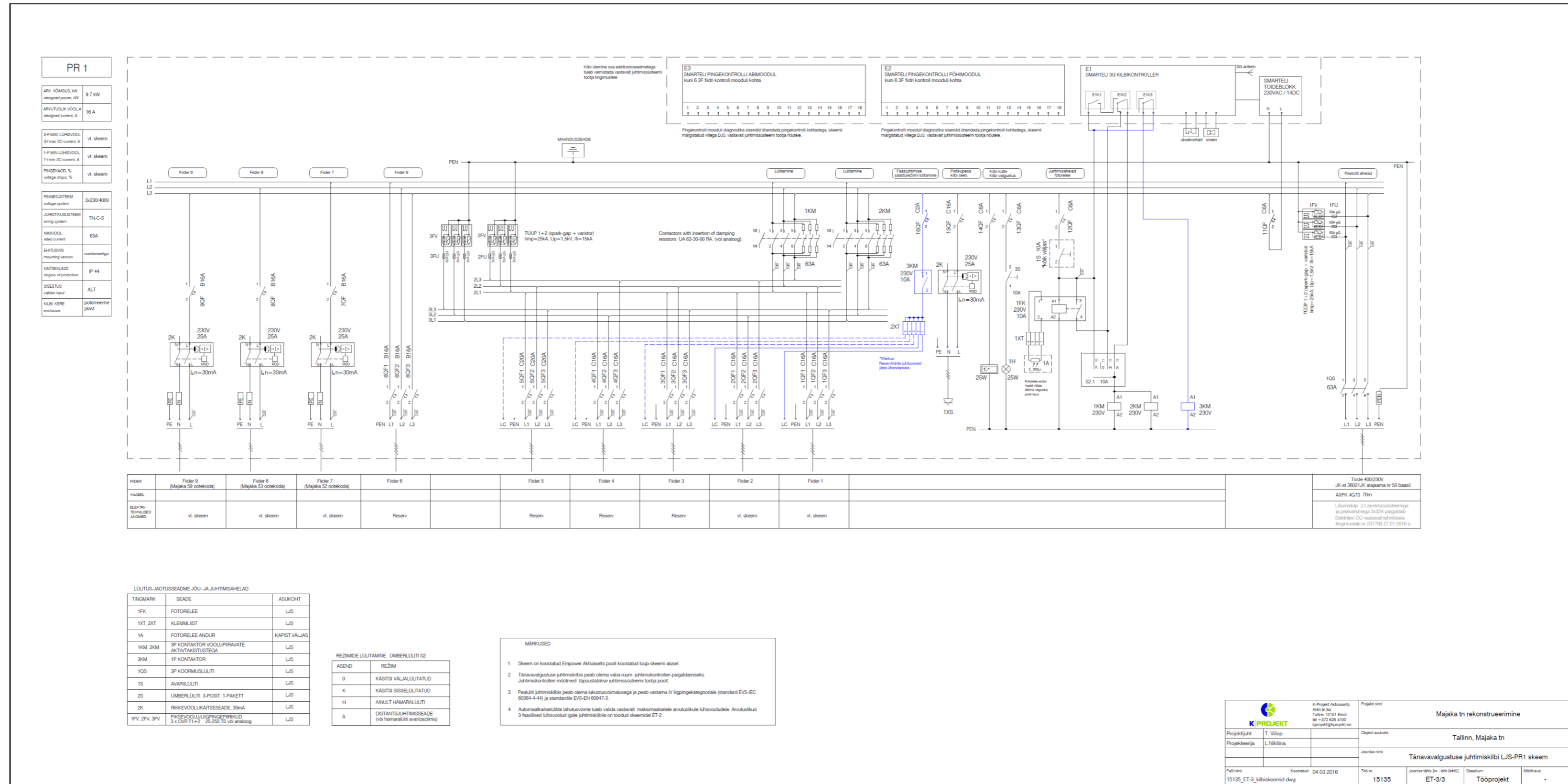
Tänavavalgustuse skeem PR1 piirkond



Tänavavalgustuse juhtimiskilbi LJS-214 skeem



Tänavavalgustuse juhtimiskilbi PR1 skeem



Mõõteprotokoll

1. OBJEKTIKOHASED NORMDOKUMENDID

Alljärgnevalt lühiloetelu olulisematest normdokumentidest.

EVS-EN 891:2008. Töökohtade tehisvalgustuse mõõtmine ja hindamine

EVS-EN 12665:2011 Valgus ja valgustus. Põhioskussõnad ja valgustusnõuete valiku alused

EVS-EN 13032-1:2004+A1:2012 Valgus ja valgustus. Lampide ja valgustite fotomeetriliste andmete mõõtmine ja esitamine. Osa 1: Mõõtmine ja failiformaat

EVS-EN 13032-2:2005 Valgus ja valgustus. Lampide ja valgustite fotomeetriliste suuruste mõõtmine ja esitamine. Osa 2: Andmete esitamine sise- ja välistingimustes paiknevate töökohtade korral

EVS-EN 12464-2:2014. Töökohavalgustus. osa 2: Välistöökohad.

CEN/TR 13201-1:2014. Teevalgustus. Osa 1: Valgustusklasside valiku juhised

EVS-EN 13201-2:2015. Teevalgustus. Osa 2: Toimivusnõuded

EVS-EN 13201-3:2015. Teevalgustus. Osa 3: Toimivuse arvutamine

EVS-EN 13201-4:2015. Teevalgustus. Osa 4: Valgusliku toimivuse mõõtemetodid

EVS-EN 13201-5:2015. Teevalgustus. Osa 5: Energiatõhususnäitajad

EVS 843:2016 Linnatänavad

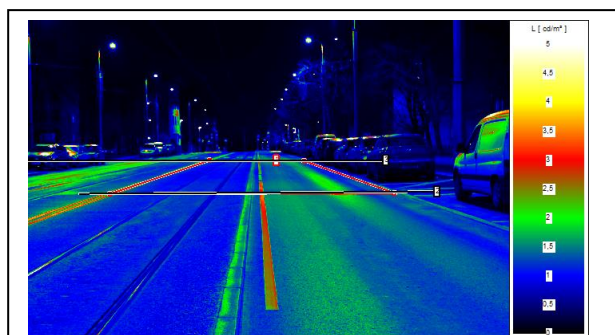
2. MÕÕTEVAHENDID

Mõõtevahendina on kasutatud firma TechnoTeam GmbH digitaalset heleduse mõõtekaamerat LMK Mobil ning sama firma poolt väljatöötatud tarkvaraprogrammi LMK LabSoft. Kontrolliks ja valgustuse valgustehniliste karakteristikute salvestamiseks teostati mõõtmisi paraleelselt ka kõigil mõõdetavatel objektidel käsiheledusmõõtjaga Konica Minolta LS-100 ja spektripõhise luksmeetriga Gigahertz-Optik BTS 256EF. Mõõtepunktideks valiti mõõterastri lähimad mõõtepunktid ehk samadest kohtadest, kus toimusid ka osad mõõtmised heleduspilti salvestava kaameraga LKM Mobile. Valgustustiheduse mõõtmised on sooritatud luksmeetriga: LMT POCKET-LUX 2.

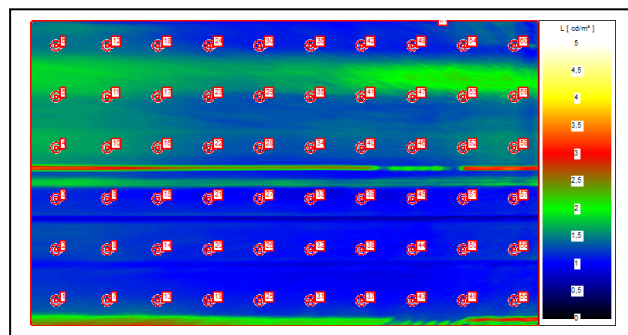
3. SÕIDUTEE PINNA HELEDUSE MÕÖTMISED

3.1. Majaka tänav tee osa 1 sõidutee vaade 1

Perspektiivvaade:



Mõõtepunktid:



Tulemused mõõtepunktid:

1,48	1,44	1,35	1,23	1,13	1,15	1,15	1,12	1,23	1,27
1,66	1,63	1,52	1,42	1,36	1,42	1,47	1,49	1,56	1,65
1,67	1,62	1,51	1,39	1,35	1,36	1,37	1,38	1,48	1,53
1,16	1,12	1,05	1,01	1,01	0,93	1,00	1,00	1,03	1,09
1,28	1,27	1,19	1,15	1,11	1,04	1,00	1,03	1,14	1,20
1,30	1,28	1,23	1,16	1,12	1,10	1,07	1,06	1,14	1,20

Lisateave:

Möödistus kalibreeritud mõõteseadmega LMK Mobile; Mõõdetud ImageSeries meetodil; Kuiva teekattega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.

Mõõtmiste aeg:
05.04.2017; kell 23:42 IMG9306-9308

Väärtused

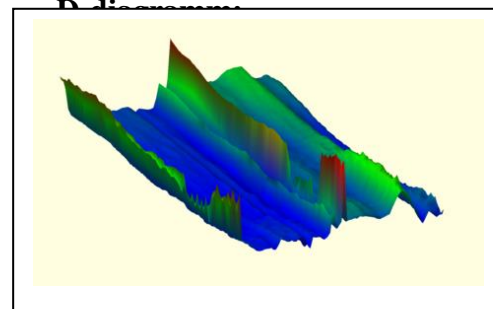
in	max	U ₁
1,36	1,66	0,82
1,00	1,28	0,78
Üldine	Min	0,93
	Keskmine	1,26
	U ₀	0,74

Pilt mõõtekohalt:



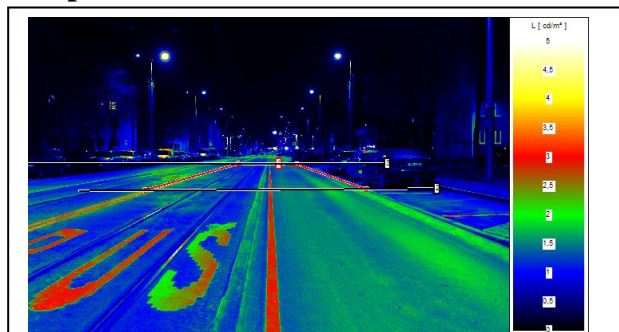
3

D. Diagramm

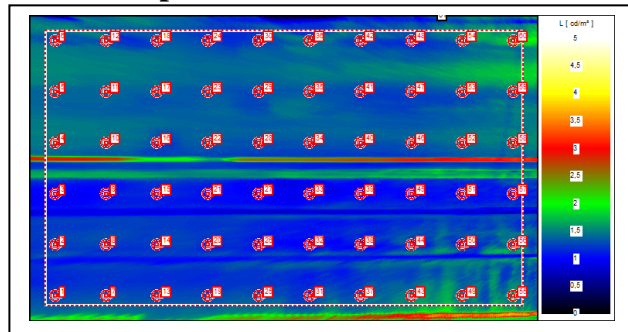


3.2. Majaka tänav tee osa 1 sõidutee vaade 2

Perspektiivvaade:



Mõõtepunktid



Tulemused mõõtepunktides:

1,35	1,41	1,35	1,27	1,27	1,46	1,33	1,24	1,49	1,73
1,43	1,42	1,41	1,37	1,34	1,37	1,29	1,31	1,40	1,45
1,49	1,46	1,29	1,38	1,35	1,35	1,34	1,38	1,47	1,53
1,00	1,07	1,16	1,08	0,98	0,97	1,02	1,06	1,09	1,12
1,26	1,27	1,25	1,17	1,10	0,99	1,10	1,23	1,24	1,48
1,29	1,32	1,30	1,28	1,34	1,26	1,33	1,49	1,48	1,60

Lisateave:

Möödistus kalibreeritud mõõteseadmega LMK Mobile; Mõõdetud ImageSeries meetodil; Kuiva teekattega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.

Mõõtmiste aeg:

05.04.2017; kell 23:45 IMG9309-9311

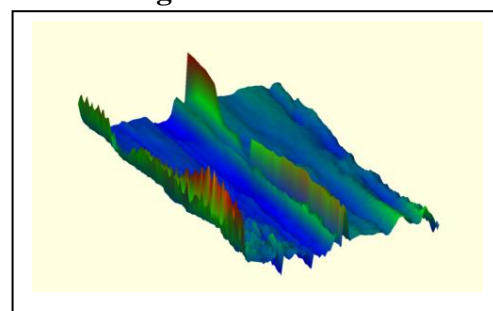
Väärtused

min	max	U _I
1,29	1,45	0,89
0,99	1,48	0,67
Üldine	Min	0,97
	Keskmine	1,30
	U _o	0,75

Pilt mõõtekohalt:



3D-diagramm:

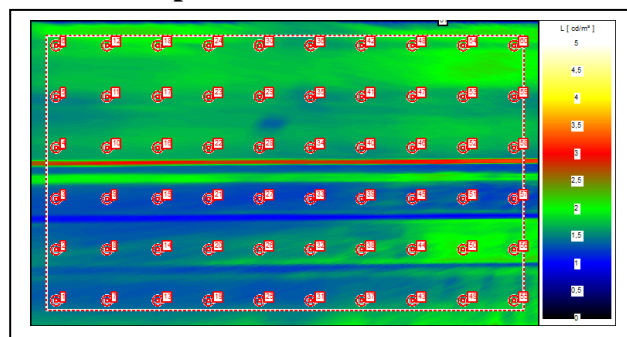


3.3. Majaka tänav tee osa 2 sõidutee vaade 1

Perspektiivvaade:



Mõõtepunktid



Tulemused mõõtepunktides:

1,77	1,87	1,94	1,82	1,75	1,65	1,72	1,79	1,87	1,88
1,56	1,64	1,70	1,71	1,70	1,53	1,63	1,68	1,66	1,60
1,65	1,68	1,72	1,68	1,63	1,61	1,60	1,67	1,71	1,65
1,34	1,34	1,31	1,31	1,27	1,29	1,37	1,38	1,42	1,31
1,49	1,49	1,46	1,50	1,55	1,58	1,70	1,66	2,05	1,79
1,40	1,38	1,39	1,41	1,40	1,42	1,55	1,55	1,63	1,75

Lisateave:

Mõõdistus kalibreeritud mõõteseadmega LMK Mobile; Mõõdetud ImageSeries meetodil; Kuiva teekatttega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.

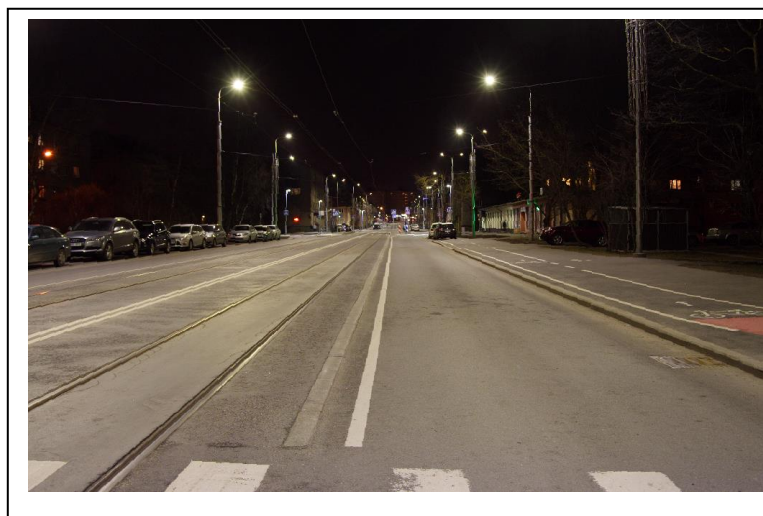
Mõõtmiste aeg:

05.04.2017; kell 23:49 IMG9312-9314

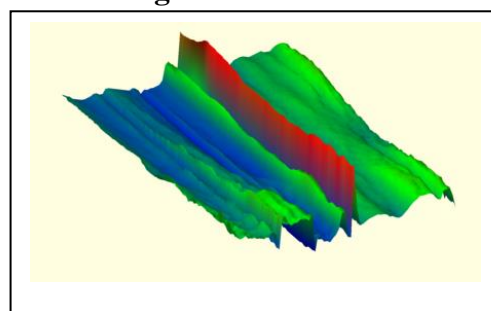
Väärtused

min	max	U _i
1,53	1,71	0,90
1,46	2,05	0,71
Üldine	Min	1,27
	Keskmine	1,59
	U _o	0,80

Pilt mõõtekohalt:

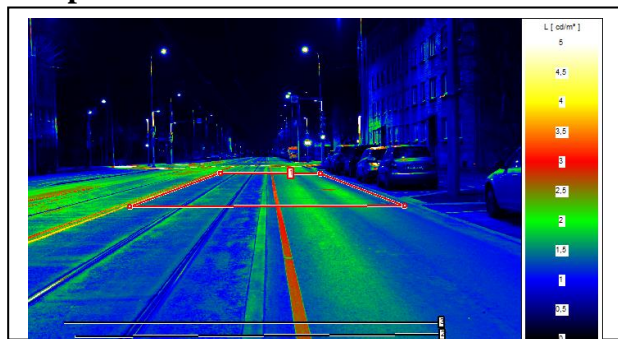


3D-diagramm:

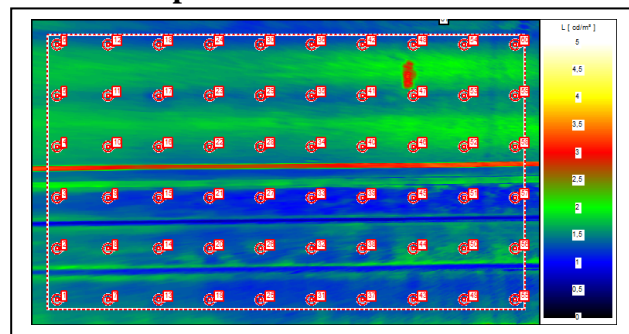


3.4. Majaka tänav tee osa 2 sõidutee vaade 2

Perspektiivvaade:



Mõõtepunktid



Tulemused mõõtepunktides:

1,55	1,46	1,40	1,37	1,38	1,41	1,45	1,46	1,50	1,46
1,59	1,52	1,39	1,45	1,48	1,42	1,49	1,57	1,53	1,54
1,69	1,66	1,56	1,58	1,57	1,59	1,63	1,71	1,75	1,72
1,41	1,30	1,26	1,22	1,16	1,10	1,14	1,22	1,22	1,19
1,51	1,54	1,42	1,35	1,53	1,43	1,36	1,50	1,54	1,61
1,48	1,44	1,38	1,30	1,27	1,31	1,30	1,30	1,32	1,35

Lisateave:

Möödistus kalibreeritud mõõteseadmega LMK Mobile; Mõõdetud ImageSeries meetodil; Kuiva teekattega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.

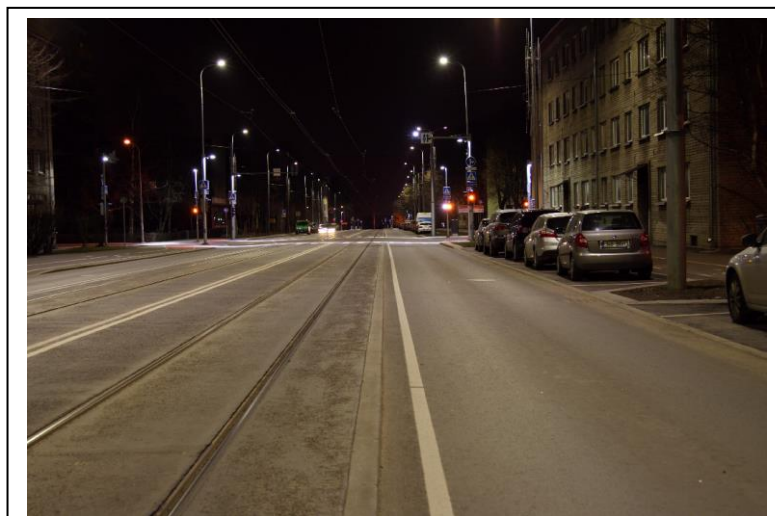
Mõõtmiste aeg:

05.04.2017; kell 23:52 IMG9315-9317

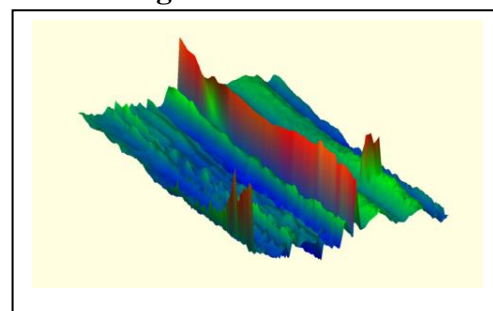
Väärtused

min	max	U_i
1,39	1,59	0,87
1,35	1,60	0,84
Üldine	Min	1,10
	Keskmine	1,44
	U_o	0,77

Pilt mõõtekohalt:

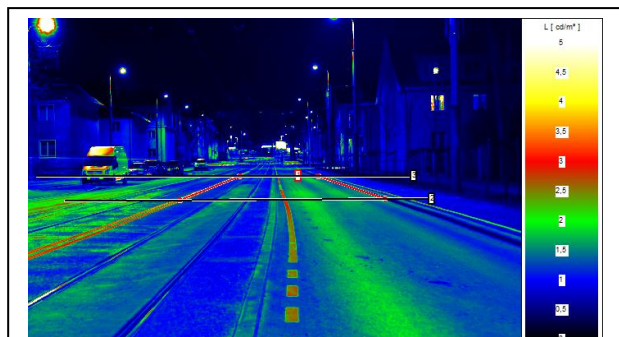


3D-diagramm:

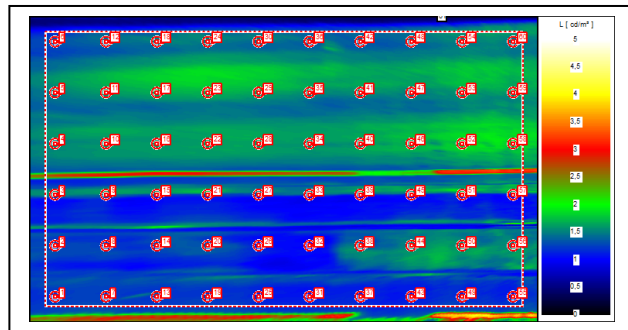


3.5. Majaka tänav tee osa 3 sõidutee vaade 1

Perspektiivvaade:



Mõõtepunktid



Tulemused mõõtepunktides:

1,33	1,44	1,50	1,50	1,46	1,40	1,39	1,43	1,52	1,48
1,51	1,63	1,70	1,72	1,67	1,59	1,58	1,53	1,63	1,63
1,55	1,59	1,61	1,64	1,64	1,61	1,62	1,68	1,81	1,81
1,49	1,49	1,38	1,42	1,31	1,32	1,32	1,31	1,40	1,30
1,29	1,25	1,29	1,35	1,13	1,01	1,41	1,53	1,57	1,55
1,23	1,26	1,26	1,24	1,16	1,12	1,15	1,13	1,18	1,18

Lisateave:

Möödistus kalibreeritud mõõteseadmega LMK Mobile; Mõõdetud ImageSeries meetodil; Kuiva teekatttega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.

Mõõtmiste aeg:

05.04.2017; kell 23:55 IMG9318-9320

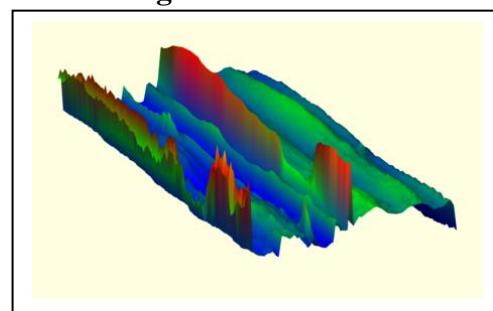
Väärtused

min	max	U_i
1,51	1,72	0,88
1,01	1,57	0,64
Üldine	Min	1,01
	Keskmine	1,44
	U_o	0,70

Pilt mõõtekohalt:



3D-diagramm:

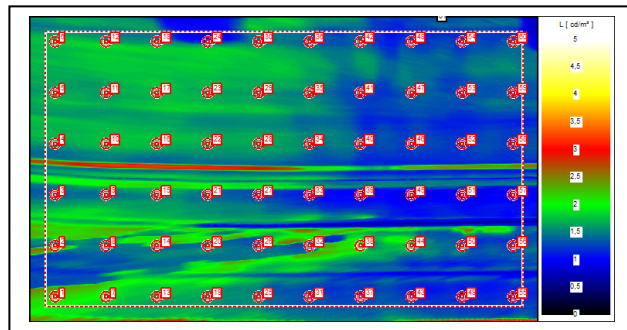


3.6. Majaka tänav tee osa 3 sõidutee vaade 2

Perspektiivvaade:



Mõõtepunktid



Tulemused mõõtepunktides:

1,77	1,71	1,58	1,22	1,50	1,42	1,40	1,24	1,25	1,38
1,67	1,65	1,75	1,68	1,64	1,53	1,30	1,38	1,31	1,35
1,63	1,76	1,74	1,70	1,67	1,51	1,35	1,30	1,23	1,24
1,42	1,48	1,60	1,47	1,32	1,16	1,04	0,95	0,96	1,00
1,88	1,52	1,86	1,54	1,38	1,55	2,01	1,77	1,39	1,30
2,21	1,96	1,74	1,66	1,54	1,32	1,28	1,22	1,16	1,20

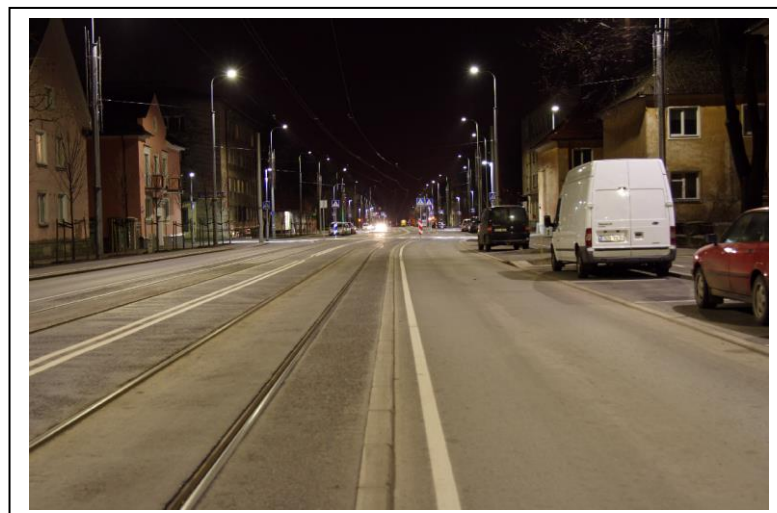
Lisateave:

Möödistus kalibreeritud mõõteseadmega LMK Mobile; Mõõdetud ImageSeries meetodil; Kuiva teekattega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.
Mõõtmiste aeg:
05.04.2017; kell 23:57 IMG9321-9323

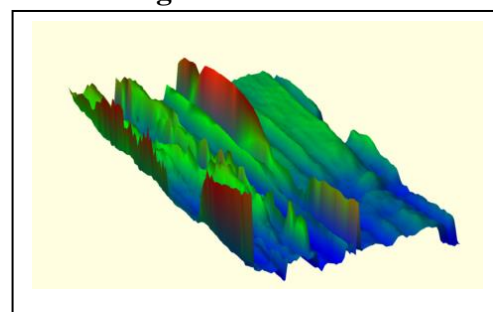
Väärtused

min	max	U _i
1,30	1,75	0,75
1,30	2,01	0,65
Üldine	Min	0,95
	Keskmine	1,48
	U _o	0,64

Pilt mõõtekohalt:



3D-diagramm:



4. VALGUSTUSTIHEDUSE MÕÕTMISED

4.1. Majaka tänav tee osa 1 sõidutee

Tulemused mõõtepunktides:

23,4	21,1	19,8	17,3	16,7	17	18,4	20,9	22,9	24,9
26,7	26,1	23,2	22,6	20,5	20,9	22	24,1	26,1	27,3
27,6	27,6	25,6	24,4	22,7	22,9	24,1	25,6	27,2	27,6
28	24	26,7	25,2	24,2	23,9	25,4	27,1	28	28,4
29	29	27,7	25,9	24,7	24,6	25	27	28,1	28,7
25	28	26	24,1	22,9	22,9	23,7	24,4	26,5	27,1

Lisateave:

Mõõdistus mõõteseadmega LMT POCKET-LUX 2, Kuiva teekattega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.

Mõõtmiste aeg:
09.05.2017

Väärtused

min	max	\bar{E}
16,7	29	24,64

4.2. Majaka tänav tee osa 1 kõnnitee 1

Tulemused mõõtepunktides:

11,6	9,5	8,6	6,9	7,3	8,4	9,7	10,2	12,3	14
10,3	8,4	6,3	6,3	7,1	9,6	9,4	11,2	13,1	15,7
12,9	13,2	5,5	6,1	9	9	10,1	12,4	14,6	17,1

Lisateave:

Mõõdistus mõõteseadmega LMT POCKET-LUX 2, Kuiva teekattega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.

Mõõtmiste aeg:
09.05.2017

Väärtused

min	max	\bar{E}
5,5	17,1	10,19

4.3. Majaka tänav tee osa 1 kõnnitee 2

Tulemused mõõtepunktides:

10,4	13,7	12,5	12,1	11,2	10,2	9,5	9	12,4	12,8
7,3	11,7	11,6	11,4	10,5	10	9	9,6	10,3	10,8

Lisateave:

Mõõdistus mõõteseadmega LMT POCKET-LUX 2, Kuiva teekattega;
Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.
Mõõtmiste aeg:
09.05.2017

Väärtused

min	max	\bar{E}
7,3	13,7	10,8

4.4. Majaka tänav tee osa 1 kõnnitee 3

Tulemused mõõtepunktides:

21,2	21,1	19	17,6	17,2	16	15,1	15,9	19,7	19,7
20,5	19,6	17,6	16,3	15,4	14,8	14,7	16	18,5	19,8

Lisateave:

Mõõdistus mõõteseadmega LMT POCKET-LUX 2, Kuiva teekattega;
Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.
Mõõtmiste aeg:
09.05.2017

Väärtused

min	max	\bar{E}
14,7	21,2	17,8

4.5. Majaka tänav tee osa 2 sõidutee

Tulemused mõõtepunktides:

22,4	20	17,3	14,9	13,9	13,5	14,1	16,5	18,7	21,6
25,8	23,9	21,5	18,6	17,6	17,4	18,1	20,1	22,6	25,1
28,6	27,7	25	23,3	21,4	21,2	21,9	24	27,1	28,8
29,4	29	27,8	25,9	24,9	24,8	25,8	27,5	29,3	30,4
28,1	28,6	26,8	23,1	24	23,3	25	27,2	29	30,1
25,1	25,6	22,8	20,1	20,3	20,3	21,3	23,5	25,7	27,8

Lisateave:

Möödistus mõõteseadmega LMT POCKET-LUX 2, Kuiva teekattega;
Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.
Mõõtmiste aeg:
09.05.2017

Väärtused

min	max	\bar{E}
13,5	30,4	23,41

4.6. Majaka tänav tee osa 2 kõnnitee 1

Tulemused mõõtepunktides:

9,2	10,8	8,6	8	6,6	5,3	6,4	5,9	6,2	8,7
12,1	11,8	10,6	9,5	7,6	7,1	7,2	7,8	8,8	11
15,3	14	11,3	10,1	7,8	7,4	7,2	8,2	9,8	13,4

Lisateave:

Möödistus mõõteseadmega LMT POCKET-LUX 2, Kuiva teekattega;
Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.
Mõõtmiste aeg:
09.05.2017

Väärtused

min	max	\bar{E}
5,3	15,3	9,12

4.7. Majaka tänav tee osa 2 kõnnitee 3

Tulemused mõõtepunktides:

23,7	22,5	20,7	18,3	18,2	17,4	18,6	20,1	22,7	25,6
20,4	19,1	16,5	15,2	14,6	13,1	15,8	17	20,2	23
18,7	17	14,7	11,6	10,3	11,1	12,7	14,5	17,1	20,3

Lisateave:

Mõõdistus mõõteseadmega LMT POCKET-LUX 2, Kuiva teekattega;
Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.
Mõõtmiste aeg:
09.05.2017

Väärtused

min	max	\bar{E}
10,3	25,6	17,69

4.8. Majaka tänav tee osa 3 sõidutee

Tulemused mõõtepunktides:

22,9	25,6	24,1	22,7	21,9	22,2	23,2	25,3	25,7	22,6
25,4	25,7	24,6	23,1	22,2	22,3	23,4	24,1	25,8	25,3
25,7	25,6	24,1	22,6	21,5	21,7	22,8	24,1	24,5	24,5
25,3	24,6	22,8	20,8	19,9	20	20,8	23	23,7	23,6
23,3	18,9	20,1	17,6	16,4	16,1	17,1	19,5	21,3	21,7
20,5	18,8	16,5	14,1	12,7	12,5	13,8	16	18,5	19,4

Lisateave:

Mõõdistus mõõteseadmega LMT POCKET-LUX 2, Kuiva teekattega;
Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.
Mõõtmiste aeg:
09.05.2017

Väärtused

min	max	\bar{E}
12,5	25,8	21,58

4.9. Majaka tänav tee osa 3 kõnnitee 1

Tulemused mõõtepunktides:

20,1	18,7	16,4	14,1	12,5	12,6	13,4	13,3	17,5	19,2
21,3	20,6	18,5	16,9	15,3	15,1	16	17,5	19,7	20,2
20,5	23,4	21,2	18,7	16,8	16,7	17,6	19,7	20,6	21,9

Lisateave:

Mõõdistus mõõteseadmega LMT POCKET-LUX 2, Kuiva teekattega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.

Mõõtmiste aeg:
09.05.2017

Väärtused

min	max	\bar{E}
12,5	23,4	17,87

4.10. Majaka tänav tee osa 2 kõnnitee 2

Tulemused mõõtepunktides:

7,9	9,2	7,3	6,5	6,1	6,2	7,2	8,4	10,3	8,5
8,4	7,6	6,5	5,7	5,2	5,3	5,3	6,3	7,6	6,4

Lisateave:

Mõõdistus mõõteseadmega LMT POCKET-LUX 2, Kuiva teekattega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.

Mõõtmiste aeg:
09.05.2017

Väärtused

min	max	\bar{E}
5,2	10,3	7,09

4.11. Majaka tänav tee osa 1 kõnnitee 3

Tulemused mõõtepunktides:

19,4	17,6	14,8	12,5	11,2	11,2	10,4	13,4	16,5	18,3
17,2	14,9	13,1	11	9,7	9,6	10,5	13,8	16,4	18,2

Lisateave:

Mõõdistus mõõteseadmega LMT POCKET-LUX 2, Kuiva teekattega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 2 °C; Nähtavus hea.
Mõõtmise aeg:
09.05.2017

Väärtused

min	max	\bar{E}
9,6	19,4	13,96

:

5. MÕÕTMISTULEMUSTE KOONDTABEL

5.1. Sõidutee pinna heleduse mõõtmised

Tabel 5.1.

Teelõik	Valgustus klass	Standard EVS-EN-13201			Mõõtmised			Värvus-temperatuur	Värviesitusindeks	Märkused
		\bar{E} cd·m ⁻² vähim.	U_0 vähim.	U_1	\bar{E} cd·m ⁻² vähim.	U_0 vähim.	U_1			
								K	CRI	Üldühtluse ja pikiühtluse oluline mõju
Tee osa 1 vaade 1	M3	1,00	0,50	0,60	1,26	0,74	0,82	4061	66,43	Normide piires
Tee osa 1 vaade 2	M3	1,00	0,50	0,60	1,30	0,75	0,89	4061	66,43	Normide piires
Tee osa 2 vaade 1	M3	1,00	0,50	0,60	1,59	0,80	0,90	4061	66,43	Normide piires
Tee osa 2 vaade 2	M3	1,00	0,50	0,60	1,44	0,77	0,87	4061	66,43	Normide piires
Tee osa 3 vaade 1	M3	1,00	0,50	0,60	1,44	0,70	0,88	4061	66,43	Normide piires
Tee osa 3 vaade 2	M3	1,00	0,50	0,60	1,48	0,64	0,75	4061	66,43	Normide piires

5.2. Valgustustiheduse mõõtmised

Tabel 5.2.

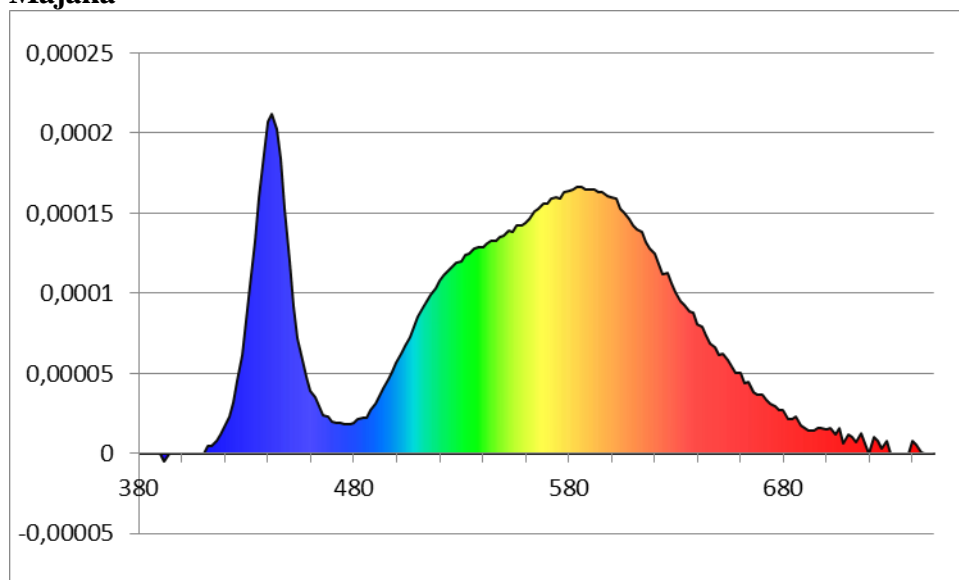
Teelõik	Valgustus klass	Standard EVS-EN-13201		Mõõtmised		Värvus-temperatuur	Värviesitusindeks	Märkused
		\bar{E}_{lx} vähim	$E_{min lx}$	\bar{E}_{lx}	$E_{min lx}$			
						K	CRI	Valgustustiheduse mõju
Tee osa 1 ST	M3	-	-	24,64	16,70	4061	66,43	-
Tee osa 1 KT 1	P3	7,50	1,50	10,19	5,50	4061	66,43	Normide piires
Tee osa 1 KT 2	P4	5,00	1,00	10,80	7,30	4061	66,43	\bar{E} üle 1,5 korra suurem
Tee osa 1 KT 3	P3	7,50	1,50	17,80	14,70	4061	66,43	\bar{E} üle 1,5 korra suurem
Tee osa 2 ST	M3	-	-	23,41	13,50	4061	66,43	-
Tee osa 2 KT 1	P3	7,50	1,50	9,12	5,30	4061	66,43	Normide piires
Tee osa 2 KT 3	P3	7,50	1,50	17,69	10,30	4061	66,43	\bar{E} üle 1,5 korra suurem
Tee osa 3 ST	M3	-	-	21,58	12,50	4061	66,43	-
Tee osa 3 KT 1	P3	7,50	1,50	17,87	12,50	4061	66,43	\bar{E} üle 1,5 korra suurem
Tee osa 3 KT 2	P4	5,00	1,00	7,09	5,20	4061	66,43	Normide piires
Tee osa 3 KT 3	P3	7,50	1,50	13,93	9,60	4061	66,43	\bar{E} üle 1,5 korra suurem

6. VÄLISVALGUSTUSE ANALÜÜS

6.1. Valgusallikate valguse tehnilised näitajad

- Värvustemperatuur keskm.* 4061 K;
- Valguse värviesitusindeks keskm.* CRI 66,43 ;

Majaka



Joonis 6.1 Lambi kiirguse spektraaljaotus

Mõõtmised teostatud **Gigahertz-Optik BTS 256EF**