



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

JALAKÄIJATE ÜLEKÄIGURADADE ANALÜÜS JA VALGUSTAMISE JUHENDMATERJALI KOOSTAMINE

ANALYSIS OF PEDESTRIAN CROSSINGS AND CREATION OF LIGHTING GUIDANCE MATERIAL

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Aleks Lõbu

Üliõpilaskood: 205851EAAB

Juhendaja: Toivo Varjas, PhD
valgustehnika ekspert

Tallinn 2023

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.

"18" mai 2023

Autor: Aleks Lõbu

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"18" mai 2023

Juhendaja: Toivo Varjas

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20..... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Aleks Lõbu,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Jalakäijate ülekäiguradade analüüs ja valgustamise juhendmaterjali koostamine”,

mille juhendaja on Toivo Varjas,

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

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

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

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

_____ (kuupäev)

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

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Aleks Lõbu

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Jalakäijate ülekäiguradade analüüs ja valgustamise juhendmaterjali koostamine

Kuupäev:
18.05.2023

68 lk (*lõputöö lehekülgede arv koos lisadega*)

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Toivo Varjas, PhD

Töö konsultant: puudub

Sisu kirjeldus:

Lõputöö keskendub jalakäijate ülekäiguradade valgustamise parendamisele, rõhutades valgustuse olulisust jalakäijate ohutuse suurendamisel ja esitades praktilisi juhiseid ning soovitusi turvalisemate ja paremini valgustatud ülekäigukohtade loomiseks. Töös on läbitud valguse olemus ja analüüsitud erinevad valguskvaliteedi näitajad, mis on olulised ülekäiguradade valgustuslahenduste väljatöötamisel. Lisaks on analüüsitud Eestis kehtivaid standardeid EVS 935:1-2017, EVS 935:2-2017 ja EVS 13201, samuti Transpordiameti suuniseid ja Tallinna linna määrusi. Praktiliste mõõtmiste tulemusi on kasutatud ülekäiguradade vastavuse hindamiseks kehtivatele nõuetele.

Töö tulemusena on koostatud põhjalik valgustamisjuhend, mis esitab olulised punktid, mida tuleb järgida ülekäigukohtade valgustuslahenduste kujundamisel. Juhend sisaldab nimekirja kriteeriumitest, mida tuleb silmas pidada olemasoleva ülekäiguraja mõõtmisel või uue ülekäiguraja projekteerimisel.

Märksõnad: jalakäija ülekäigurada, ohutusmeetmed, valgustuslahendus, vertikaalne valgustustihedus

ABSTRACT

Author: Aleks Lõbu

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Analysis of pedestrian crossings and creation of lightning guidance material

Date: 18.05.2023

68 pages (the number of thesis pages

including appendices)

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Toivo Varjas, PhD

Consultant(s): none

Abstract:

The thesis focuses on improving the lighting of pedestrian crossings, emphasizing the importance of lighting in enhancing pedestrian safety and providing practical guidelines and recommendations for creating safer and better-lit crosswalks. The work covers the nature of light and analyses various light quality indicators that are important in the development of lighting solutions for pedestrian crossings. In addition, it analyses the standards EVS 935:1-2017, EVS 935:2-2017, and EVS 13201 valid in Estonia, as well as the guidelines of the Transport Administration and the regulations of the city of Tallinn. The results of practical measurements have been used to assess the compliance of pedestrian crossings with the applicable requirements.

As a result of the work, a comprehensive lighting guide has been compiled, which presents the key points that must be followed when designing lighting solutions for pedestrian crossings. The guide includes a list of criteria to be considered when measuring an existing crosswalk or designing a new crosswalk.

Keywords: pedestrian crossing, safety measures, lighting solution, vertical illuminance

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: **Jalakäijate ülekäiguradade analüüs ja valgustamise juhendmaterjali koostamine**

Lõputöö teema inglise keeles: **Analysis of pedestrian crossings and creation of lightning guidance material**

Üliõpilane: **Aleks Lõbu, 205851 EAAB**

Eriala: **Mehhatroonika ja elektroenergeetika**

Lõputöö liik: **bakalaureusetöö**

Lõputöö juhendaja: **Toivo Varjas**

Lõputöö ülesande
kehtivusaeg: **Kevad 2023**

Lõputöö esitamise tähtaeg: **18.05.2023**

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Teema on oluline, sest Eesti teedel saab igal aastal jätkuvalt vigastada umbes 300 jalakäijat, kellest ~10 saab surma. Jalakäijate ülekäiguradadel toimuvate liiklusõnnetuste arv on langustrendis, kuid kindlasti on veel arenguruumi.

Enamik jalakäijatega juhtuvatest õnnetustest toimub kas öösel, valgustamata või valesti valgustatud ülekäiguradadel. Jalakäijate ohutus sõltub suurel määral ülekäigukoha valgustuse parameetritest. Ebapiisav vertikaalne valgustustihedus või heleduse kontrastsuhe võib muuta jalakäija nägemise sõidukijuhi jaoks oluliselt raskemaks või halvimal juhul võib jalakäija jääda märkamatuks. Et jalakäija nähtavus juhi jaoks paraneks, on vaja tagada piisav valgustus juba ootealal, et juhi silmad suudaksid varem kohaneda ja märgata ülekäigurada ületavat jalakäijat.

Olemasolevad ülekäiguradade valgustuse projekteerimise juhendid ja suunised on liiga lihtsustatud. Standart EVS 935-1:2017 ja Standart EVS 935-2:2017 ei hõlma kõiki erandjuhtumeid, mistõttu iga projekteerija võib standardit erinevalt tõlgendada.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on teostada jalakäijate ülekäiguradade valgustuse projekteerimise suuniste ja standardite uurimine, nende tõhususe analüüsimine jalakäijate nähtavuse ja ohutuse tagamisel ning valgustamise juhendmaterjali koostamine.

Töö hõlmab teoreetiliste andmete analüüsi ja mõõtmiste ning Dialux Evo simulatsioonitarkvaras saadud tulemuste võrdlust. Üldlevinud ülekäiguradade tüüpe kasutatakse referentsina, et tuvastada levinumaid vigu valgustuse projekteerimisel. Töö käigus esitatakse lahendused praktiliste mõõtmiste käigus avastatud ebasobivatele valgustuslahendustele. Väljapakutud lahendused peavad olema nii lühi- kui ka pikaajaliselt võimalikult ökonoomsed, tagades samal ajal ühtlase ja korrapärase valgustuse taseme nii ülekäigurajal kui ka ootealal.

Töö on mõeldud selgitavaks juhiseks projekteerijatele ja mõõtjatele, selgitades, kuidas standardit õigesti tõlgendada, kuidas läbi viia ülekäiguradade valgustuse arvutusi jne.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Kuidas näevad välja õiged Dialux Evo-s ülekäiguradade arvutused? Kuidas käib erinevate ülekäiguradade näidislahenduste koostamine Dialux Evo-s?

Kuidas mõjutab valgustite värvustemperatuur vertikaalset valgustustihedust?

Kas positiivse kontrastsusega on liikleja paremini märgatav autojuhtidele kui negatiivse kontrastiga ?

Kas ja kuidas on võimalik ära kasutada olemasolevat tänavavalgustust?

Ülekäiguradade ootealade piisav välja valgustamine; kas standardid, juhised tagavad selle?

Kuidas on võimalik vähendada ülekäiguradade hoolduskulusid?

4. Lähteandmed

Lähteandmed saadakse:

- kehtivatest standarditest,
- raamatutest,
- eesti ning võõrkeelsetest (eelkõige inglise) teadusartiklitest,
- Taltechi digikogust,
- Transpordiametist.

5. Uurimismeetodid

Kirjanduse analüüs, modelleerimine, mõõtmised ja andmete analüüs.

6. Graafiline osa

Selgitatavad joonised, illustatsioonid, valgusarvutused Dialux Evo-st, tabelid.

7. Töö struktuur

Sissejuhatus

1 Jalakäijate ülekäiguradade tüübid ja liiklusohutuse meetmed

2 Ülekäigurada iseloomustavad valgustehnilised kvaliteedinäitajad

3 Lisavalgustusega ülekäiguraja projekteerimisele ja mõõtmisele esitatud nõuded

4 Ülekäigurajade energiatõhusad valgustuslahendused

5 Mõõtmiste metoodika

6 Mõõtmistulemuste analüüs

Kasutatud kirjanduse loetelu

Lisad

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Raamatud ja raamatupeatükid

Teaduslikud ajakirjad

Tehnilised ettekirjutused ja juhendid - Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus

Valitsuste ja institutsioonide aruanded – Transpordiamet, Tallinna Keskkonna- ja Kommunaalamet

Lõputööd – TalTechi Digikogu

Veebipõhised andmebaasid ja veebilehed

9. Lõputöö konsultandid

Puuduvad.

10. Töö etapid ja ajakava

1. Ülevaate saamine olemasolevast kirjandusest 01.2023
2. Algandmete kogumine 03.2023
3. Ülekäiguradade mudelite loomine ja valgusarvutused Dialux tarkvaras 03.2023
4. Teoreetilise osa kirjutamine 04.2023
5. Praktiliste mõõtmiste tegemine ülekäiguradadel 04.2023
6. Järelduste ja soovitude kirjutamine 04.2023
7. Kokkuvõtte kirjutamine 04.2023
8. Lõputöö lõplik vormistamine 05.2023

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT.....	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	13
Lühendite ja tähiste loetelu.....	14
SISSEJUHATUS	16
1 JALAKÄIJATE ÜLEKÄIGURADADE TÜÜBID JA LIIKLUSOHUTUSE MEETMED.....	18
1.1 Ülekäigurajade tüübid	18
1.1.1 Reguleeritud ja reguleerimata ülekäigurajad	18
1.1.2 Sama -ja eritasandilised ülekäigurajad	19
1.1.3 Ohutussaarega ja ohutusaareta ülekäigurajad	19
1.1.4 Valgustatud ja valgustamata ülekäigurajad	20
1.2 Liiklusohutuse meetmed maailmas	20
1.2.1 Tehnilised lahendused ülekäiguradadel	21
1.2.2 Ülekäiguradasid ümbritseva tänavavalgustuse kasutamine	23
1.3 Eestis kehtivate ülekäiguradade valgustamise eeskirjade puudused	25
1.4 Maanteeameti juhend ülekäikude tähistamise kohta tugimaanteedel	27
2 ÜLEKÄIGURADA ISELOOMUSTAVAD VALGUSTEHNILISED KVALITEEDINÄITAJAD...	29
2.1 Ülekäiguraja valgustus	29
2.2 Ülekäigurajal hinnatav valgustustihedus.....	30
2.2.1 Vertikaalne ja horisontaalne valgustustihendus.....	30
2.3 Ülekäiguraja positiivne ja negatiivne kontrastsus.....	32
2.4 Ülekäiguraja valguse värvsustemperatuur	33
2.5 Ülekäiguraja valgustuse räägus	34
2.6 Ülekäiguraja valgustite valgusviljakus.....	34
3 LISAVALGUSTUSEGA ÜLEKÄIGURAJA PROJEKTEERIMISELE JA MÕÕTMISELE	
ESITATUD NÕUDED	35
3.1 Ülekäiguraja mõõtepunktide valik	36
3.1.1 Ülekäiguraja ootealad	37
3.1.2 Sobivate valgustite valik	37
3.2 Sobivate hindamisvälja mõõtepunktide valik.....	38
3.3 Valgusarvutused Dialux Evo ´s standardile tuginedes.....	38
3.4 Projekteerimisel tehtavad vead	39
4 ÜLEKÄIGURAJADE ENERGIATÕHUSAD VALGUSTUSLAHENDUSED.....	40
4.1 Ülekäiguraja valgustid	42

4.2 Valgustuse juhtimise strateegiad.....	43
5 MÕÕTMISTE METOODIKA.....	45
5.1 Mõõtmiste asukohtade valik	45
5.2 Sooritatud mõõtmiste metoodika	45
6 MÕÕTMISTULEMUSTE ANALÜÜS	47
6.1 Mektory ülekäiguraja mõõtmiste analüüs	47
6.2 Akadeemia tee - Vinkli tn ülekäiguraja mõõtmiste analüüs.....	48
6.3 Rannamõisa ülekäiguraja mõõtmiste tulemus	50
6.4 Dialux Evo mudelite analüüs.....	51
6.5 Juhised ning ettepanekud ülekäiguraja projekteerimiseks ning mõõtmisteks... 54	
6.5.1 Projekteerimise ja mõõtmiste juhised.....	54
6.5.2 Projekteerimisega ja mõõtmisega seotud ettepanekud.....	55
KOKKUVÕTE	56
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	57
LISAD	60
LISA 1 - Mõõteprotokoll 1.....	60
LISA 2 - Mõõteprotokoll 2.....	65
LISA 3 - Dialux Evo Mektory simulatsioonide tulemused.....	68

EESSÕNA

Bakalaureusetöö pealkiri on "Jalakäijate ülekäiguradade analüüs ja valgustuse juhendi koostamine".

Lõputöö eesmärk on uurida olemasolevaid jalakäijate ülekäiguradade valgustuse projekteerimise suuniseid, standardeid ja tuvastada tüüpilisi ohutuslaseid vigu jalakäijate ülekäiguradade projekteerimisel. Võrrelda välimõõtmiste tulemusi Dialux Evo simulatsioonimudelitega ja hinnata ülekäiguradade vastavust kehtivatele standarditele EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017. Puuduste tuvastamise korral antakse lõputöös soovitusi jalakäijate ülekäiguradade projekteerimise parandamiseks ja vajadusel ettepanekuid standardite täiendamiseks. Analüüsi käigus selgitatakse välja, kuidas jalakäijate ülekäigurajad peaksid olema nõuetekohaselt valgustatud, ülesehitatud ja kas selleks piisab olemasolevast standardist ja Maanteeameti suunistest. Töös selgitatakse välja tüüpilised vead standardi tõlgendamisel ja valgustuse projekteerimisel ning pakutakse võimalikke lahendusi nende kõrvaldamiseks. Töös selgitatakse üksikasjalikult, kuidas üks või teine valgustehniline kvaliteedinäitaja mõjutab jalakäija ohutust ülekäigurajal. Uuritakse võimalusi, kuidas vähendada hoolduskulusid, tagades samal ajal optimaalne valgustamine ja ohutus jalakäijatele. Töö eesmärk on olla selgitavaks juhiseks projekteerijatele ja mõõtjatele.

Käesoleva lõputöö uurimisprobleemiks on jalakäijate ülekäiguradade valgustuslahenduste võimalik pealiskaudne projekteerimine, kus ebapiisav vertikaalne valgustatus või kontrastsuhe võib oluliselt halvendada jalakäijate nähtavust sõidukijuhtide jaoks. Eesmärgi saavutamiseks analüüsis autor Transpordiameti, Tallinna Kommunaalameti statistilist andmebaasi ning Eesti Standardi- ja Akrediteerimiskeskuse tänavavalgustuse standardeid EVS 935 ja EVS 13201.

Lühendite ja tähiste loetelu

Foor on teedel kasutatav elektriline seade liikluse reguleerimiseks valgussignaalide abil [1].

Halb nähtavus on ilmast või muudest nähtustest (udu, vihm, lumesadu, tuisk, hämarus, suits, tolm, vee- ja poripritsmed, vastupäike) tingitud ajutine olukord, kui teel vaadeldavat objekti ei ole võimalik taustast eristada kaugemalt kui 300 meetrit [1].

Piiratud nähtavus on olukord, kui tee kurvid, tõusuharjad, teeäärsed rajatised, haljastus või teel olevad takistused vähendavad nähtavust teel niivõrd, et sellel teelõigul lubatud suurima kiirusega sõitmine võib muutuda ohtlikuks [1].

Jalakäija on jalgsi või ratastoolis liikleja. Jalakäijaks loetakse ka rula, rulluiske või -suuski, tõukeratast või -kelku või muid sellesarnaseid abivahendeid kasutav liikleja [1].

Liikleja on isik, kes osaleb liikluses jalakäija või juhina [1].

Liiklus on jalakäija(te) või sõiduki(te) liikumine ja paiknemine teel. Liikluseks loetakse ka kariloomade ajamist ja ratsutamist [1].

Liiklusmärk on märk, millega kehtestatakse teatav liikluskord, teavitatakse liiklejat liiklusohust või aidatakse liikluses orienteeruda [1].

Ohutussaar on jalakäijate ohutust sõidutee ületamisel suurendav teerajatis [1].

Sõidutee on tee osa, mida normaalolukorras kasutatakse sõidukite liikluseks [2].

Sõidurada on sõidutee riba, mis on ette nähtud ühes reas liikuvatele sõidukitele [2].

Reguleerija on oma pädevuse piires liiklejaid suunav või peatav isik [1].

Pimeda aeg on ajavahemik ehist koiduni, kui loodusliku valguse vähesuse tõttu on nähtavus alla 300 meetri [1].

k.a kaasa arvatud [3].

Valgusti on seade, mis jaotab, filtreerib või muundavad ühe või mitme lambi valgust ja mis sisaldab peale lampide kõiki osi, mis on ajalikud lampide kinnitamiseks ja kaitseks ning, kui vaja, vooluahelaid ja seadiseid ühendamiseks toitevõrguga [2].

Lamp on optilise, enamasti nähtava kiirguse tekitamiseks valmistatud kiirgusallikas [2].

Liiteseadis toiteallika ja ühe või mitme lahenduslambi vahele lülitatav seadis, mis peaausjalikult on ette nähtud lambi (või lampide) voolu piiramiseks vajaliku väärtuseni [2].

LED - leed ehk valgusdiod (inglise k. light emitting diode) on tahke pooljuhtkomponent, mis konverteerib elektrienergia otse valguseks [4].

Ooteala 1 meetri laiused ootepinnad, mis kuuluvad valgustehniliselt ülekäiguraja piirnevate kõnniteede ja ohutusaare juurde [5].

Dialux Evo on rahvusvaheline valgustuse projekteerimise tarkvara [6].

Valgustustiheduse hooldeväärtus on väärtus, millest allapoole sätestatud piirkonna valgustustihedus ei tohi langeda (ühik: luks, lx) [2].

Hooldetegur valgustuspaigaldises pärast teatavat ajavahemikku toodetava valgustustiheduse ja uues paigaldises toodetava valgustiheduse jagatis [2].

Paigalduskalle nurk valgusti tingliku telje ja rõhttasandi vahel pärast valgusti paigaldamist oma kohale [2].

Projektkiirus tee projekteerimisel sätestatud otstarbe järgi ettenähtud kiirus (ühik: kilomeeter tunnis, km/h) [2].

Kiirusepiirang on suurim seaduslikult lubatud kiirus (ühik: kilomeeter tunnis, km/h) [2].

SISSEJUHATUS

Jalakäijate ülekäigurajad on ühed kõige ohtlikumad kohad liikluses, kus igal aastal hukub suur arv inimesi. Eestis on jalakäijate ohutus endiselt kriitilise tähtsusega teema, mida kajastab ka riigi liiklusõnnetuste statistika. Eesti Transpordiameti andmetel toimus 2022. aastal 1699 liiklusõnnetust, milles sai vigastada 1919 inimest ja hukkus 50 inimest [7]. Võrreldes eelmise aastaga kasvas vähemalt ühe inimkannatanuga õnnetuste arv 128 võrra ja vigastuste arv 147 võrra [7]. Neist õnnetustest 289 olid seotud jalakäijatega, mis põhjustasid 294 vigastust [7]. Jalakäijatega toimunud õnnetuste koguarv jäi aga praktiliselt samaks 2021. aasta näitajatega. Nende liiklusõnnetuste peamised ohvrid olid lapsed (29%) ja üle 65-aastased isikud (20%) [7]. Kõikidest surmaga lõppenud õnnetustest 21% (ehk 10 juhtumit) olid seotud jalakäijatega, hukkus 11 jalakäijat [7]. Mis tähendab, et 2022. aastal moodustasid jalakäijad iga viienda liiklusõnnetusega seostatud surmajuhtumi Eestis. Neli neist surmaga lõppenud õnnetustest juhtus pimedal ajal, mis nõudis viie jalakäija elu [7]. Kahes neist juhtumitest ei kasutanud jalakäijad helkurit või oli puudu sobiv valgusallikas [7]. Vähemalt neli õnnetust oleks võinud ära hoida nõuetekohase valgustusega. Nõuetele vastav valgustus on kaitsemeede raskete õnnetuste vastu, eriti hämarates või öistes tingimustes, arvestades, et Euroopa Liidu keskmine jalakäijate surmajuhtumite arv on kõige suurem hommiku- ja õhtutundidel [8]. Lisaks hukub talvekuudel keskmiselt kuni kaks korda rohkem jalakäijaid kui vahemikus märtsist juunini [8].

Viimase mõne aasta jooksul on Eesti keskmine hukkunute arv vähenenud, kuid 2022. aastal jäi see näitaja muutumatuks [9]. See viitab asjaolule, et hukkunute arvu vähenemise tempo on aeglustumas ja langustrend ei ole enam kooskõlas riikliku liiklusohutusprogrammi eesmärkidega [7]. Eesti jaoks on äärmiselt oluline antud probleemiga, rakendades meetmeid jalakäijate ohutuse suurendamiseks, näiteks parandades teede ja valgustite taristut, tõhustades liikluspiirangute järgimist, helkurite kasutamist ja tagades nõuetekohase valgustuse jalakäijate ülekäiguradadel.

Ülekäigurajad on ohtlikud kõigile liiklejatele, nii autojuhtidele kui ka jalakäijatele, eriti öösel ja ennekoike siis, kui ülekäigurajad on halvasti valgustatud. Jalakäijate kui liikluses kõige vähem kaitstud liiklejate ohutust mõjutab kõige rohkem ülekäiguradade valgustuse kvaliteet, mistõttu ülekäigurajade projekteerimisel tuleb erilist tähelepanu pöörata valgustuslahendust iseloomustavatele parameetritele. Ülekäigurajade eesmärk on võimaldada jalakäijatel ohutult ületada sõiduteed, tekitamata liiklejatele ohtlikke olukordi, tagades piisava kontrasti jalakäija ja tausta vahel ning valgustades ülekäigurajal olevat isikut nii, et vältida sõidukijuhtide pimestamist.

Tallinnas liikudes võib märgata kohti, kus valgustuslahendus ei pruugi olla optimaalne. Autor on tähele pannud, et näiteks Mektory ümbruses asuvad ülekäigurajad erinevad märgatavalt teistest ülekäiguradadest Tallinnas. Mektory ees olev ülekäigurada ei tundu autori hinnangul olevat piisavalt hästi valgustatud. Autor plaanib osaleda välimõõtmistel ja võrrelda tulemusi arvutuste simulatsioonides ja mõõtmistel. Ülekäiguradade nõuetele mittevastavuse põhjuseid võib olla mitmeid, alates standardis sätestatud nõuete mittetundmisest, vertikaalse valgustustiheduse arutamise tähelepanuta jätmise, kuni valesti paigutatud mõõtepunktide kasutamiseni kavandamise järgus. On tõenäoline, et osa rajatud jalakäijate ülekäiguradadest ei järgi täielikult kehtivaid määrusi või standardites esitatud nõudeid. Võib juhtuda, et projektides keskendutakse peamiselt horisontaalse valgustustiheduse hindamisele, samas kui vertikaalne valgustustihedus jääb ebapiisavaks. Adekvaatne vertikaalne valgustustihedus aitab sõidukijuhil jalakäijat märgata enne, kui jalakäija ülekäigurajale astub. Õigete projekteerimisvõtete kasutamine ja teooria tundmine on oluline, et luua ohutu ja jätkusuutlik keskkond kõigile liiklejatele.

Mõnikord võib ülekäiguradade valgustus olla ka üleprojekteeritud, kasutades ülemäära palju valgusteid, mis viib pikaajalised hoolduskulud üles ja raskendab kulude edasist kärpimist. Nõuetekohaste valgustuse loomiseks tuleb teada valgustuslahenduste projekteerimise ja toimivuse aluseks olevaid põhimõtteid ning suuniseid. Valgustuslahendus peab olema nõuetekohane ja võimalikult tõhus ning samas võimalikult kuluefektiivne, seda eriti praeguse energiakriisi ajal.

1 JALAKÄIJATE ÜLEKÄIGURADADE TÜÜBID JA LIIKLUSOHUTUSE MEETMED

Käesolevas jaotises käsitletakse eri tüüpi jalakäijate ülekäigurasid, võttes arvesse nende eriomadusi, eeliseid ja puudusi ning viidates asjakohastele eeskirjadele. Loetletakse hetkel kasutuses olevad liiklusohutuse meetmed ning nende tüüpe. Analüüsitakse kehtivaid standardeid ja eeskirju ning nende puudused.

1.1 Ülekäigurajade tüübid

Eesti Liiklusseaduse kohaselt on ülekäigurada määratletud kui teelõik, mis on eraldatud teistest osadest või tähistatud erimärgistusega ning mille ületamine on ette nähtud jalakäijatele [1]. Liiklusseaduse kohaselt jagunevad ülekäigurajad kahte tüüpi: reguleerimata ja reguleeritud ülekäigurajadeks [1]. Tegelikult saab ülekäigurasid eristada nii ohutusaare olemasolu kui tasandilikusse, kuid ka valgustuslahenduse olemasolu järgi [10]. Antud töös käsitletakse peamiselt samatasandilisi ülekäiguradade tüüpe, kuna nemad moodustavad suurema osa Eesti ülekäiguradadest [10].

1.1.1 Reguleeritud ja reguleerimata ülekäigurajad

Reguleerimata jalakäijate ülekäigurajad paiknevad eelkõige asulate liikluskorraldusega teedel, kus liiklust ei reguleerita valgusfooride, muude seadmete või liikluskorraldajate abil [11]. Selle tulemusel võivad jalakäijad ekslikult eeldada, et sõidukid annavad neile alati teed, mis suurendab õnnetuste riski [12]. Autojuhid ei pruugi omakorda alati olla valmis või võimelised teeandmise kohustust täitma [12]. Lisaks ekslikule turvatundele võib piiratud nähtavus reguleerimata ülekäigurajal suurendada õnnetuste ohtu. Piiratud nähtavus, mis võib olla tingitud valesti pargitud sõidukitest, kurvidest, ebasoodsatest ilmastikutingimustest, võsastunud haljastusest või ebapiisavast öisest valgustusest, võib suurendada õnnetusohu riski [1]. Kuna reguleerimata ülekäigurajad ei ole varustatud liiklussignaalide, andurite või kontrolleritega, otsustavad jalakäijad ise, millal on ohutu tee ületada. Reguleerimata ülekäigurajade ehitamine ja hooldamine on kuluefektiivsem kui reguleeritud ülekäigurajadel.

Reguleeritud ülekäigurada on varustatud reguleerimiseseadmega, nagu näiteks valgusfoorid, mis juhivad jalakäijate liikumist ja näitavad, millal on ohutu teed ületada. Täpsete juhiste järgimine vähendab segadust ja tagab sujuvama liikluse nii jalakäijatele kui ka sõidukitele. Näiteks peavad autojuhid peatuma, kui valgusfoor on punane, ning jalakäijad peavad ootama rohelist signaali, enne kui nad teed ületavad. Üldiselt on reguleeritud ülekäiguradade ehitamine kallim [13].

Nii reguleeritava kui ka reguleerimata ülekäiguraja laius on piiratud vastava teekattemärgisega. Sellise märgistuse puudumisel piiratakse sõidurajad kujuteldavate sirgjoontega, mis lähtuvad vastavalt valgusfooride või liiklusmärkide asukohtadest ning on risti sõiduteega. [1]

1.1.2 Sama -ja eritasandilised ülekäigurajad

Peamine erinevus eritasandiliste ja samatasandiliste ülekäigurajade vahel seisneb nende asukohas teelõigul ja selles, millisel tasandil jalakäijad ja sõidukid ülekäiguradasid ületavad.

Eritasandilised ülekäigukohad on kavandatud nii, et jalakäijad ja sõidukid ületavad teed erinevatel tasanditel, kas üle silla või maa alumise ülekäigukoha kaudu. Seda tüüpi ülekäigukohti rakendatakse tavaliselt kiirteedel, suure liiklustihedusega teedel ja ristmikel, kus on märkimisväärne oht jalakäijate ja sõidukite otseseks kokkupõrkeks. Eesti õigusaktide kohaselt, kui autoliikluse projektkiirus on ≥ 100 km/h, tuleb jalgteel ja maantee ristumine projekteerida eritasandilise ülekäigukohana [14].

Seevastu samatasandilised ülekäigukohad on ülekäigukohad, mis ei ole teistest teelõikudest füüsiliselt eraldatud ja kus nii jalakäijad kui ka sõidukid liiguvad samal tasandil. Selline korraldus paneb jalakäijad ületama teed otse sõidukite ees, mis peavad neile teed andma. Samatasandilisi ülekäiguradasid leidub eelkõige linnades ja asulates, kus liiklusvoog on vähem intensiivne ja kiirus piiratud.

1.1.3 Ohutussaarega ja ohutusaareta ülekäigurajad

Ohutussaarega ülekäigurada on teeületuskoht, mille keskel asub teeületust mitmeks osaks jagav kõrgendatud osa, mille kaudu saab tagada jalakäijatele parema ülevaate ja ohutuse [1]. Ohutussaared on tõstetud osad teel, mis eraldavad jalakäijaid sõidukitest ja aitavad neil turvaliselt ülekäigurada ületada [15]. Ohutussaarega ülekäiguraja eelis seisneb selles, et see aitab vähendada liikluse kiirust, sundides sõidukijuhte enne saart aeglustama ja seejärel taas kiirust tõstma. Kui ülekäigurada on mõeldud nii jalgratturitele kui ka jalakäijatele, peab ohutussaare laius olema vähemalt 2,5 meetrit [14]. Ainult jalakäijatele mõeldud ülekäiguradade puhul piisab 2 meetri laiusest ohutussaarest [14].

Ohutusaareta ülekäigurada on lihtsalt osa sõiduteest, mida jalakäijad kasutavad sõidutee ületamiseks. Sel juhul peab jalakäija ületama kõik sõidurajad korraga ning liikluse ohutus sõltub ainult sõidukijuhtide tähelepanelikkusest ja valmisolekust peatuda. Seetõttu võib ohutusaareta ülekäigurada olla ohtlikum kui ohutussaarega ülekäigurada [16]. Ohutussaartel on siiski ka mõningaid puudusi; põhiliselt ehitamine

ja hooldamine võib nõuda lisaruumi ja -ressursse, mis võib suurendada projekti üldkulusid.

1.1.4 Valgustatud ja valgustamata ülekäigurajad

Valgustatud jalakäijate ülekäigurada on ülekäigurada, mis on varustatud lisavalgustusega, et tagada parem nähtavus ülekäigurajal, suurendades seeläbi liiklejate ohutust nii päeval kui ka öösel. Valgustatud ülekäigurajad on eriti olulised suure liiklusega piirkondades, näiteks linnatänavatel, kus on palju jalakäijaid ja sõidukeid, samuti riigimaanteedel. Nõuetekohane valgustus aitab vältida õnnetusi, sest jalakäijad on autojuhtidele paremini nähtavad, mis võimaldab juhtidel õigeaegselt reageerida.

Valgustamata ülekäiguradadel puudub tänavavalgustus ning liiklejad peavad ise tagama oma nähtavuse ja ohutuse, võttes arvesse ümbritsevat keskkonda ja lähedalasuvaid sõidukeid. Maapiirkondades ei pruugi enamikul jalakäijate ülekäiguradadel olla täiendavaid valgustuslahendusi vähese liiklustiheduse tõttu [11]. Lisaks ei hõlma praegune standard EVS 935 maanteed ja asulaid läbivaid maanteed valgustust. Valgustamata ülekäigurajad võivad olla ohtlikud, eriti kui jalakäijad ei ole sõidukijuhtidele piisavalt nähtavad. Halvasti valgustatud kohtades võib tänavavalgustuse alternatiivina kasutada mitmesuguseid lisamärgistusi ja teavitavaid liiklusmärke.

1.2 Liiklusohutuse meetmed maailmas

Maailmas on juba pikemat aega kasutusel erinevad liiklusohutuse meetmed, mis aitavad tõhustada ülekäiguradade ohutust. Need meetmed võib laias laastus jagada ehituslikeks ja tehnilisteks meetmeteks [17]. Mõlema meetodi eesmärgiks on liiklusõnnetuste vältimine ja liiklusohutuse tagamine ning mõlemad põhineval samasugusel alustõel. Federal Highway Administration (FHWA) analüüsis rõhutatakse järgmisele seaduspärasusele - mida väiksem on liiklusvoog ning mida madalam on sõidukite sõidukiirus, seda väiksem on tõenäosus liiklusõnnetuse toimumiseks [16]. Seetõttu on soovitatav piirata sõidukite kiirust ja liiklusvoogu, et tagada jalakäijatele ohutum liikluskeskkond [16]. Ehitusmeetmed hõlmavad jalakäijatele ohutute ja mugavate liikumisalade kavandamist ning ülekäiguradade projekteerimist vastavalt nõutavatele standarditele. Siiski ei pruugi üksnes ehitusmeetmetele tuginemine olla piisav, sest jalakäijate ohutu liikumine tuleb tagada ööpäevaringselt. Tehnilised meetmed sisaldavad tehnilisi lahendusi ja seadmeid (k.a valgusteid), mis aitavad tagada

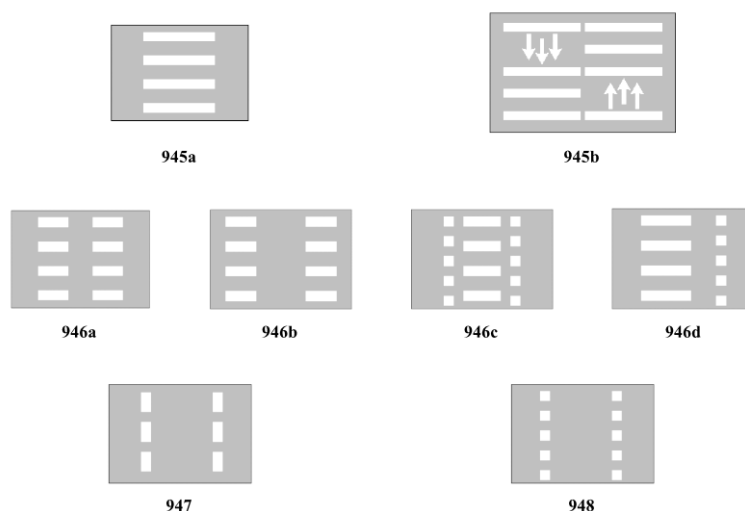
liiklejate ohutuse ka hämarates või pimedates olukordades. Antud töös käsitletakse üksnes tehnilisi meetmeid.

1.2.1 Tehnilised lahendused ülekäiguradadel

Liiklusmärgid ja teekattemärgised on levinumad liiklusohutusmeetmed. Näiteks märgid „543” ja „544” osutavad reguleerimata ülekäigurajale, ning teekattemärgised „946a”, „946b” ja „946c” tähistavad jalgratta- ja jalgtee lõikumiskohta sõiduteega [18].



Joonis 1.1 Liiklusmärgid „543” ja „544” [19]



Joonis 1.2 Jalakäijatele mõeldud teekattemärgised [19]

Õhtul ja öösel langeb ohutuskoormus liiklusohutusmeetmena valgustuslahendustele. Pimedal ajal väheneb erinevate liiklusmärkide ja teekattemärgistuse tõhusus, kui need ei saa piisavalt valgustust, mistõttu otsitakse tänapäeval pidevalt võimalusi nende nähtavamaks muutmiseks. Erinevate märgiste kasutamine nõuab ka erinevaid teekattemärgiseid, kuna iga ülekäik on eri laiusega (vt Joonis 1.2).

Ülekäigu valgustamine lisavalgustitega on üks kergesti rakendatavaid ja olulisemaid tehnilisi meetmeid, mis aitavad parandada jalakäijate ohutust pimedas. Korrektselt paigaldatud valgustus parandab nähtavust ja võimaldab sõidukijuhtidel jalakäijaid

paremini märgata. Lisavalgustite paigaldamine ülekäiguradadele on laialt levinud kogu maailmas, eriti linnades ja suure liiklusega piirkondades. Valgustuslahenduste kasutusala on ulatuslik, hõlmates erinevat tüüpi teid ning jalakäijatele mõeldud alasid.

Ühe keerukama ja kulukama ohutusmeetme, mis hõlmab valgussignaali või tulede paigaldamist teekattesse, on välja töötanud Eesti idufirma e-Pavement [20]. Koostöös Tallinna Tehnikaülikooli ja Maanteeametiga on nad välja töötanud teekatte, mis võimaldab kasutada erinevaid valgussignaale liiklejatega suhtlemiseks [20]. Kuigi sarnaseid lahendusi on rakendatud Prantsusmaal, USA-s ja Hollandis, sobib e-Pavementi teekatte hästi ka Põhjamaade kliimasse [20]. Integreeritud teekatte valgustid tõstavad tähelepanu ka siis, kui inimesed on telefonidesse süvenenud, mis on levinud juhtum laste ning mõningate autojuhtide seas [20] [21]. Teekatetes vilkuvad leedvalgustid on hea viis andmaks jalakäijatele märku, et nad on lähenemas jalakäijate ülekäigurajale. Kuna tegemist on uue tehnoloogiaga, siis ei ole tehtud palju uuringuid selle kohta, kuidas teekattes asuvad valgustid mõjutavad vertikaalset valgustustihedust, mistõttu on keeruline arvestada nende mõju. Samuti enamik valgussimulatsiooni programme on loodud traditsiooniliste valgustuslahenduste ehk mastidele käivate valgustite jaoks. Teekatetesse paigaldatud leedvalgustid esindavad uuemat valgustite tehnoloogiat, mida tavalised valgussimulatsiooni programmid ei pruugi toetada. Seetõttu on hetkel parim viis teekattes asuvate leedvalgustite kohta tagasisidet saada just mõõtmiste sooritamine.



Joonis 1.3 Haabneeme kooli ees loodud e-teekatendi valgustuslahendus [20]

Nutikas liiklusmärkide kasutuselevõtt on teine viis, kuidas võib äratada jalakäijate ning autojuhtide tähelepanu. Näiteks võib olla vaja täiendavat hoiatusmärki koos heli- või visuaalsete hoiatustega kohtades, kus sõidukijuhid suurema tõenäosusega eiravad jalakäijatele teandmise kohustust [13].



Joonis 1.4 Tartus SmartEnCity raames paigaldatud nutikad liiklusmärgid [22]

Ometi ei vähenda jalakäija tuvastussüsteemi paigaldamine reguleerimata ülekäigurajale sõidukite liikumiskiirust, mistõttu on vaja kasutada tuvastussüsteeme koos teiste ehituslike liiklusohutuse meetmetega [13]. Heaks näiteks on ohutussaare rajamine koos asulavärvaga, nagu on rajatud asulavärvad Kaareperes ja Väike-Maarjas, et sundida sõidukijuhte järgima vähendatud kiirusepiirangut.

1.2.2 Ülekäigurasid ümbritseva tänavavalgustuse kasutamine

Mõnel juhul on võimalik tugineda ainult olemasolevale tänavavalgustusele jalakäijate ülekäigurasidade valgustamiseks. See on võimalik, kui läheduses on piisavalt sobivaid tänavavalgusteid, mille puhul oleks täidetud vastav valgustusklass.

Valgustusklassid jaotatakse nelja põhikategooriasse: M-valgustusklassid, C-valgustusklassid, P-valgustusklassid ja HS-valgustusklassid [23]. Valgustusklasside jagunemine on seotud liikluse tüübi ja tiheduse, jalakäijate arvu ja muude teguritega. Valgustusklassid aitavad projekteerijatel valida sobivaima valgustustaseme, et tagada ohutus ja mugavus vastavas piirkonnas. M-valgustusklassid on ettenähtud mootorsõidukijuhtidele liiklusteedel ning C-valgustusklassid on ette nähtud konfliktipiirkondades, kus liikleavad mootorsõidukijuhid, jalakäijad ning muud teekasutajad [23]. Sobiliku valgustusklassi valikuks tuleb läbi viia valgustusolukorra valikuprotseduurid, mis on täpsemalt sätestatud standardis EVS-EN 13201-2:2015.

Tabel 1.1 M-valgustusklasside tabel [23]

Klass	Sõidutee pinna heledus teepinna kuivas või märjas olekus			Pimestus-räigus	Ümbruse valgustus	
	Kuiv olek		Märg olek	Kuiv olek	Kuiv olek	
	\bar{L} [vähim hooldeväärtus] $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	U_0 [vähemalt]	U_{1^a} [vähemalt]	U_{ow^b} [vähemalt]	f_{T1^c} [enimalt] %	R_{EI^d} [vähemalt]
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

Tabel 1.2 C-valgustusklasside tabel [23]

Klass	Rõhttasandiline valgustustihedus	
	\bar{E} [vähim hooldeväärtus] lx	U_0 [vähemalt]
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20,0	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40
C5	7,50	0,40

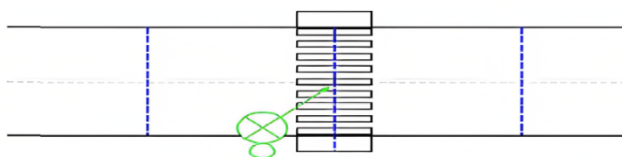
Eelmainitud standardi alusel kuulub üldjuhul linnades asetsevad ülekäigurajad konfliktipiirkondade alla, mis tähendab, et konfliktipiirkond on ala, kus erinevad liiklejate voolud ristuvad või kattuvad [23]. Vastavalt kehtib järgmine: kui ülekäigukoha alal on piisavalt tänavavalgustust ja ümbritsev tänavavalgustus annab kogu ülekäigukoha ulatuses vähemalt 20 luksit (on täidetud C2 valgustusklassi vähim hooldeväärtuse nõue) (vt Tabel 1.2), siis ei ole tegelikult vaja jalakäijate ülekäigurada eraldi valgustada lisavalgustitega [23]. Kui 20 luksit nõuet pole täidetud, tuleb kogu ülekäiguraja keskosa ulatuses tagada keskmine vertikaalne valgustustihedus 30 luksit, kusjuures üheski arvutuspunktis ei tohi vertikaalne valgustustihedus olla alla 4 luksit.

1.3 Eestis kehtivate ülekäiguradade valgustamise eeskirjade puudused

Tallinna Linnavalitsus on kehtestanud määruse pealkirjaga "Jalakäijate ülekäiguradade valgustuse tüüplahendused", milles kirjeldatakse jalakäijate ülekäiguradade valgustusseadmete paigutust ülekäiguradade suhtes Tallinna linnas [24]. Määruses toodud näited on aga üldistatud ega sisalda üksikasjalikku kirjeldust selle kohta, kuhu täpselt tuleks valgustid või valgustusmastid paigaldada. Määruses on esitatud pigem suunised selle kohta, mis suunas peaks valgustus olema suunatud ülekäiguraja suhtes. Määruses pole mainitud optimaalseid asukohti valgustusmastide valikul. Kehtiv määrus toob välja 4 tüüpi valgustuslahendust.

Variant A: Kuna tegemist on ühesuunalise teega (vt Joonis 1.5), paigutatakse valgustid jalakäijate ülekäiguraja ühelt poolt. Tüüp A sobib kitsastel (ühe või kaherealistel) linnatänavatel, kus ruumi valgustite paigaldamiseks mõlemal pool ülekäigurada ei pruugi olla või see ei ole rahaliselt otstarbekas.

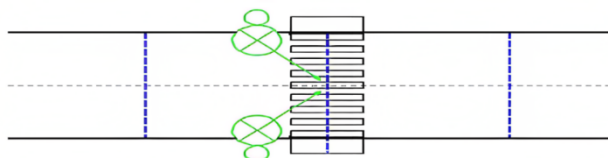
Variant A : Ühesuunaline tee vasakult paremale



Joonis 1.5 Ühesuunaline sõidutee, sõidusuunaga vasakult paremale [24]

Variant B: Tegemist on ühesuunalise teega (vt Joonis 1.6). Kuna tänav on laiem kui Tüüp A puhul, tuleb paigaldada mõlemal pool ülekäigurada, tagamaks jalakäijate eristumist.

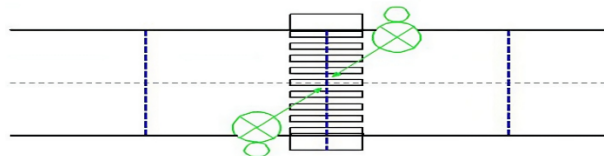
Variant B : Ühesuunaline tee vasakult paremale



Joonis 1.6 Ühesuunaline sõidutee, sõidusuunaga vasakult paremale [24]

Variant C: Kahesuunalisel teel (vt Joonis 1.7) valgustid paigutatakse nii, et mõlema teesuund on välja valgustatud. Valgus suunatakse diagonaalselt ülekäigurajale.

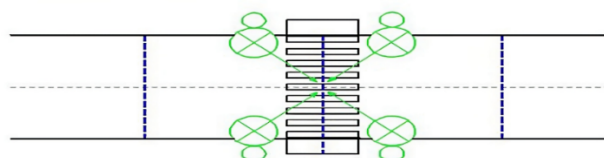
Variand C : Kahesuunaline tee



Joonis 1.7 Kahesuunaline sõidutee [24]

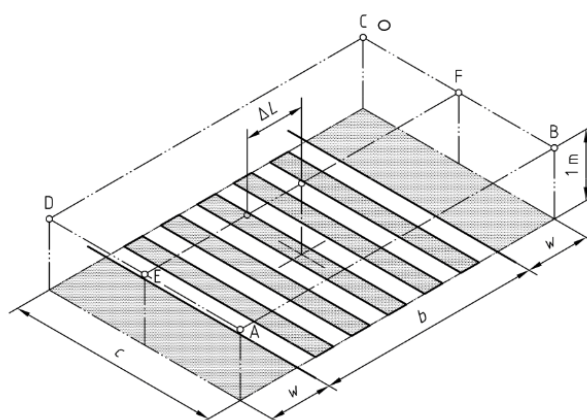
Variand D: Kahesuunalisel teel (vt Joonis 1.8) valgustid paigutatakse jalakäijate ülekäiguraja igale küljele, sobib hästi keerukamate ristmike jaoks, kus ülekäigurajad asuvad mitmes suunas.

Variand D: Kahesuunaline tee



Joonis 1.8 Kahesuunaline sõidutee [24]

Viimast määrust täiendavad standardid EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017, mis sätestavad üksikasjalikumad nõuded, mida tuleb järgida jalakäijate ülekäiguradade planeerimisel ja kontrollmõõtmiste teostamisel [5] [25]. Sarnaselt Tallinna Linnavalitsuse määrusele on kehtivad EVS 935 standardid suhteliselt napisõnalised lisavalgustite ning vastavate valgusmastide paigutuse kohta ning hindamisvälja mõõtepunktide valiku osas (vt Joonis 1.8), mistõttu esineb vajadus täiendavate juhiste ja selgituste järele, kuna kehtivaid standardeid võidakse tõlgendada valesti.



Joonis. 1.8 Hindamisvälja mõõtepunktide valik vastavalt standardile EVS 935-2:2017 [25]

Standardis kujutatud joonist täiendab vastav selgitus: „Arvesse võetakse jalakäijate ülekäiguraja kesktelje E-F punktid. Punktide vahekaugus $\Delta L = 1\text{m}$, kusjuures punktid kantakse sõidutee keskelt mõlemas sõidutee ääreni [25]“. Antud definitsiooni korral jääb segaseks, kas ootealadele jäävad punktid kuuluvad E-F telje mõõtepunktide alla või mitte. Selleks, et paremini mõista tekkinud probleemi, tuleb teha täiendusi sõnastuses ning mõista ülekäigurada iseloomustavaid valgustehnilisi kvaliteedinäitajaid.

Standardite EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017 kitsaskohaks on nende keskendumine ainult traditsioonilistele valgustuslahendustele. Need standardid ei hõlma vähemlevinud valgusallikaid ega nende paigaldamise meetodeid ning pole seega ajakohased. Näiteks ei anna standardid juhiseid teekattesse integreeritud valgusallikate kohta, mis on paigaldatud mujale kui tavalistele valgustusmastidele. Seega on olemas vajadus täiendavate juhiste ja standardite järele, mis käsitleksid alternatiivseid valgustuslahendusi ning erinevaid paigaldusviise.

1.4 Maanteeameti juhend ülekäikude tähistamise kohta tugimaanteedel

Transpordiamet soovis teada saada uuringus „Tugimaanteed ülekäikude tähistamise analüüs“ ülekäiguradade ja ülekäigukohtade vastavust ohutusnõuetele ja standarditele riigimaanteedel. Tegemist on Transpordiameti taristu arendamise ja kvaliteedinõuete osakonna poolt tellitud uuringuga, mis on suunatud tugimaanteed ületavate ülekäigukohtade ja ülekäiguradade teekeskonna ning tähistuse kaardistamisele, grupeerimisele ja analüüsimisele ning selle põhjal rakendustettepanekute väljatöötamisele riigimaanteedee teeületuste ühtseks tähistamiseks. Töö täiendab varasemat 2020. aastal Maanteeameti tellimusel läbi viidud uuringut "Põhimaanteedee ülekäikude tähistamise analüüs". [11]

Uuringu käigus on tuvastatud mitmed ülekäiguradadega seotud juhtumid, kus ei ole tagatud piisav ohutus jalakäijatele. Ohtlikkuse põhjuseks on kas vastuolus või reguleerimatuks jäävad määrused ning juhised, millega ei saa üht või teist erijuhtumit riigimaanteedel lahendada. Suuremale osale juhtumistest on pakutud ka lahendusi. Enamikel juhtudel soovitatakse vähendada kiirusepiirangut piirkiiruseni 50 km/h ning rajada ohutussaar kohtadesse, kuhu seda pole veel ehitatud. Suurema liiklustihedusega probleemsetel teelõikudel soovitatakse rajada foore. Analüüs pühendub suuresti ehituslikele probleemidele, mis mõjutavad liiklejate ohutust ülekäigukohal või ülekäigurajal. [11]

Töö eesmärk ei hõlma otseselt eraldiseisvate valgustuslahenduste mõõtmist ega valgusarvutuslikku kontrolli. Samas kaasnevate soovitustega ülekäiguraja laiuse muutmisel, ohutussaarte rajamisel või fooride paigaldamisel on võimalik samaaegselt paigaldada või uuendada olemasolevaid valgustuslahendusi. Transpordiamet ei viita uuringus vastavatele standarditele EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017, mis kehtestavad valgustuslahenduste rajamise nõuded [5] [25]. Sellele vaatamata on töös mainitud, et tehtud töö käigus hinnati ülekäigu sobivust, arvestades liikluskeskkonda, kus ühe hinnatava komponendina oli ka valgustus [11]. Maanteeamet ei pea vajalikuks ega otstarbekaks EVS 935 rakendamist Eesti tugimaanteedel. Autori arvates ja hilisema uuringu valguses vajab otsus üle vaatamist ning seejärel kasutuselevõttu.

Maanteeamet on avaldanud 2014. aasta juhise, mis kuulub riigiteede juhendite sarja, ning mis selgitab riigimaanteedel valgustamise põhimõtteid. Sealne ülekäiguraja valgustamine peab olulisemaks valgustada jalakäijaid, kes lähenevad ülekäigurajale väljaspoolt sõiduteed, mitte neid kes ületavad ülekäigurada sõiduteel. Riigimaantee valgustuse vajaduse hindamisel on lähtepunktiks, et riigimaantee valgustamine ei ole üldjuhul kohustuslik vastavalt Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumi (MKM) määrusele number 55 "Tee projekteerimise normid". Selle asemel on riigimaantee valgustamine üldjuhul tee omaniku kaalutletud otsus, tulenevalt tema kohustusest luua teel tingimused ohutuks liiklemiseks. [26]

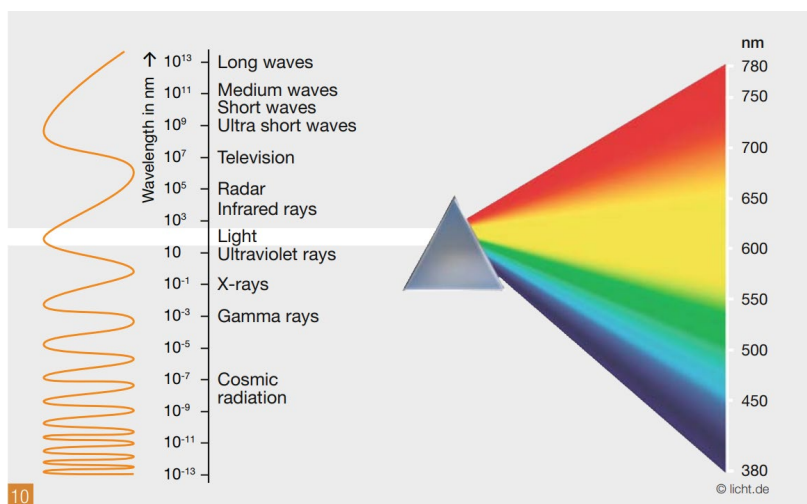
Käesoleva uurimustöö raames leiab autor, et Transpordiametil oleks kasulik teostada kontrollmõõtmisi, et hinnata jalakäijate ülekäiguradade ja -kohtade valgustuse vastavust standardite EVS 935-1:2017 ja 935-2:2017 nõuetele ning avastada võimalikke seni avastamata valgustuslahendustega seotud puudusi. Praeguse seisuga ei kuulu tugi- ja riigimaanteed ning asulaid läbivad maanteed EVS 935-1:2017 ja 935-2:2017 standardite pädevusse, mistõttu sealsed ülekäigurajad võivad ohutuse poolest märkimisväärselt erineda linnades asuvatest ülekäikudest. Kehtivad valgustuse reeglid asulates ja suurlinnades peaksid kehtima ka tugi- ja riigimaanteedel, et tagada ühtlane liiklusohutuse tase kõigil teedel.

2 ÜLEKÄIGURADA ISELOOMUSTAVAD VALGUSTEHNILISED KVALITEEDINÄITAJAD

Ülekäiguradade valgustehnilised kvaliteedinäitajad iseloomustavad nende valgustuslahenduste tõhusust ja ohutust. Antud töö lõikes käsitletakse järgmisi kriteeriume: vertikaalne valgustihedus, kontrastsus, värvsüsteemtemperatuur, rägus ja valgusviljakus, mis mõjutavad valgustuse käitumist. Nende näitajate nõuetekohane täitmine aitab tagada jalakäijate parema nähtavuse, vähendades seeläbi liiklusõnnetuste riski ja parandades liiklusohutust.

2.1 Ülekäiguraja valgustus

Jalakäijate ja sõidukijuhtide ohutuse ja nähtavuse tagamisel ülekäiguradadel on oluline roll nähtaval valgustusel. Füüsilises optikas on nähtav valgus elektromagnetiline kiirgus, mida inimsilm suudab tajuda [4]. Nähtav valgus on tavaliselt määratletud kui valgus, mille lainepikkus jääb vahemikku 400-700 nanomeetrit [27]. Valgusallikad ehk valgustid kasutatakse laialdaselt piisava valgustuse tagamiseks pimedal ajal. Valgustid koosnevad tavaliselt valgusallikast, lambist, liiteseadmetest, toiteahelatest ja soklist.



Joonis 2.1 Silmaga tajutav valgusspekter [28].

Valguse lainepikkus λ leitakse, kui jagada laine leviku kiirus c laine sagedusega ν (võrrand 2.1) [4].

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.1)$$

Valgustid on seadmed, mis jaotavad, filtreerivad või muundavad ühe või mitme lambi valgust ja mis sisaldavad kõiki vajalikke osi lampide paigaldamiseks ja kaitsmiseks ning vajaduse korral vooluahelate ja seadmete ühendamiseks vooluvõrku. [4]

Lamp on optilise, enamasti nähtava kiirguse tekitamiseks valmistatud kiirgusallikas. Valgustusala inimesed mõistavad lambi all tehisvalgusallikat, mis koosneb valgust tootvast elemendist, seda ümbritsevast klaaskolbist ning metallsoklist, mis tagab elektrilise kontakti ja kaitseb lambipesas asuvat lampi ennast. [4]

Kindla sagedusega valgust nimetatakse monokromaatiliseks komponendiks. Silmaga tajutavate valguse monokromaatiliste komponentide summa ehk valgusspekter (vt Joonis 2.1) jaguneb kokkuleppeliselt seitsmeks kitsamaks piirkonnaks [4]. Nähtava valguse kogu spektri mõistmine ja kasutamine ülekäiguradade valgustuse kujundamisel ei paranda mitte ainult nähtavust, vaid parandab ka üldist kogemust nii jalakäijate kui ka sõidukijuhtide jaoks. Spektri erinevaid värve saab kasutada teatud alade või ülekäigurajal asuvate elementide rõhutamiseks ning loomaks ohutuma ja tõhusama keskkonna kõigile liiklejatele [28].

2.2 Ülekäigurajal hinnatav valgustustihedus

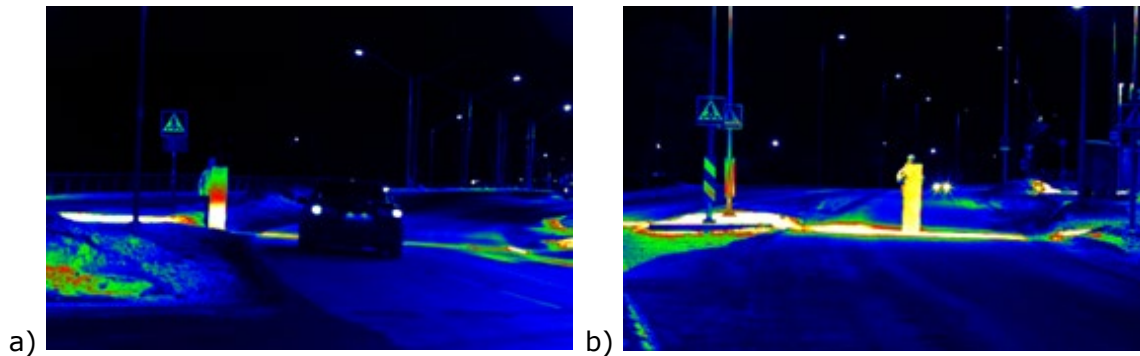
Valgustustihedus, mis on valgustuse projekteerimise oluline aspekt, viitab valguse hulgale, mis langeb pinnale, mõõdetuna luksides (luumenid ruutmeetri kohta) [4]. Fotomeetrias määratletakse valgustustihedust kui teatud punkti suhtes pinnaelemendile langeva valgusvoo $d\Phi$ ja selle elemendipindala da jagatis ehk valgustatavale pinnaelemendile langev valgusvoog pinnaühiku kohta (vt võrrand 2.2) [2].

$$E = \frac{d\Phi}{da} \quad (2.2)$$

Valgustustihedus sõltub valgusallika ja valgustatud pinna vahelise kauguse ruudust pöördvõrdeliselt. Kui valgusallikas asub kolm korda kõrgemal, valgustab ta pinda üheksa korda nõrgemini. Valgustustiheduse ühik SI-süsteemis on luks (lx). [4]

2.2.1 Vertikaalne ja horisontaalne valgustustihendus

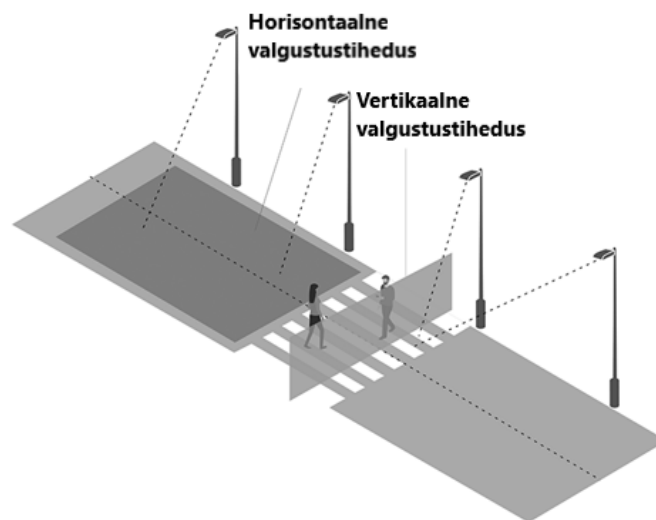
Valgustuslahenduse kavandamisel on oluline eristada nii vertikaalset kui ka horisontaalset valgustustihedust. Vertikaalne valgustustihedus on oluline kujundamise ja valgustamise komponent, millel on valgustuslahendustes väga oluline roll ohutu ning tervisliku keskkonna loomisel [29]. Vertikaalne valgustustihedus on vajalik selleks, et inimesed eristuksid taustast eredalt [30] [31]. Lisaks ka vertikaalse valgustustiheduse ühtlus on oluline.



Joonised 2.2a ja 2.2b. Erineva valgusjaotusega valgustid (autori arhiiv)

Jalakäijate ülekäiguradade juures tagavad seda asümmeetrilised valgustid, mis on paigutatud nii, et ülekäigurada kui ka ooteala on valgustatud nähtavast liikumissuunast. Veelgi parema nähtavuse tagab ülejäänud tänavavalgustusega kontrastne valgusvärv. [30] Joonisel 2.2b jalakäija eristub täies pikkuses. Omakorda Joonisel 2.2a nähtava valgusallika valgusti väärvalgusjaotuse tõttu on eristuvad üksnes jalakäija jalad.

Ülekäiguraja valgustus võib tagada horisontaalset valgustustiheduse nõuet, kuid ei pruugi täita vertikaalse valgustustiheduse nõudeid (vt Joonis 2.2a) [32]. Kui ülekäigurajale sisenev objekt või isik ei jää taustal eredalt välja paistma, jääb ta juhi vaatevinklist varju.



Joonis 2.3 Horisontaalne ja vertikaalne valgustustihedus (joonis kohandatud autori poolt) [31]

Horisontaalne valgustustihedus on tee punkti suhtes horisontaalsele pinnaelemendile langev valgusvoog pinnaühiku kohta. [4]

Vertikaalne valgustustihedus on tee suhtes vertikaalsele pinnaelemendile langev valgusvoog pinnaühiku kohta. [4]

Soovitused valgustustiheduse standardnõuete kohta on esitatud standardis EVS-EN 13201-2:2015, EVS 935-1:2017 ning EVS 935-2:2017.

2.3 Ülekäiguraja positiivne ja negatiivne kontrastsus

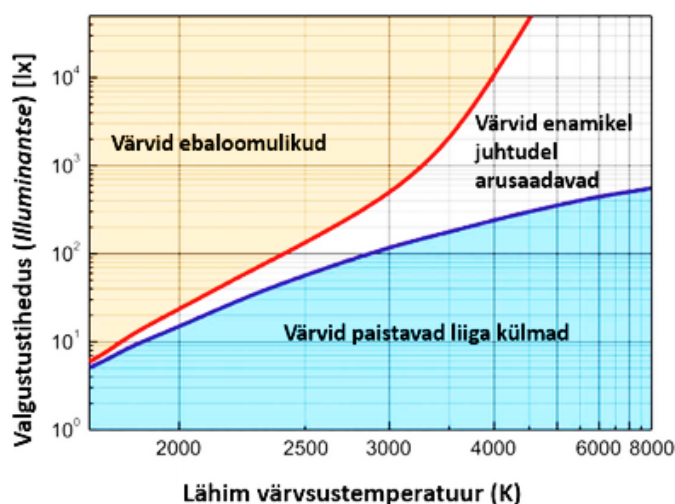
Jalakäijate nähtavamaks muutmiseks on kaks võimalust: negatiivse kontrasti ja positiivse kontrasti tagamine.

Negatiivse kontrasti puhul on jalakäija juhile nähtav kui tume kuju heledal taustal. Negatiivse kontrasti saavutamiseks tuleb ülekäigurada jätta valgustamata, mis tähendab, et ülekäigurajale sisenev inimene ei ole eraldi valgustatud, kuid piisavalt kaugemale paigutatud valgustite taustal paistab jalakäija tumeda silueta heledal taustal. Selle meetodi kasutamine eeldab, et peab olema tagatud tänavate kõrgendatud valgustustiheduse tase, kui määrused seda ette näevad [30]. Kõrgendatud tänavavalgustuse tase võib suurendada valgusreostuse probleemi [30]. Üks võimalus valgusreostuse vähendamiseks on kasutada valgustid, mis suunavad valguse ainult valgustatavatele aladele. Optimaalse valgusjaotuse saavutamiseks sobivad eriti hästi asümmeetrilise optikaga leedvalgustid [34].

Positiivse kontrasti korral paistavad jalakäijad heledate kujunditena tumedamal taustal. Standard EVS 935 soovitab kasutada positiivset kontrasti ülekäikude projekteerimisel [25]. Positiivse kontrasti korras on ülekäigurajale või ootealale suunduvad inimesed valgustatud valgustitega külje pealt. Positiivse kontrasti saavutamiseks on vaja paigutada valgustus, mis paikneks lähenevate sõidukite vaateväljast eespool [30]. Jalakäijate ülekäiguradade valgustamiseks tuleb kasutada asümmeetrilise spetsialiseeritud optikaga valgustid, mis oluliselt parandavad nähtavust ja ohutust [31]. Kuigi valgusmastide optimaalne asukoht on tavaliselt 1 kuni 2 meetri kaugusel ülekäigurajast, ei pruugi see kaugus alati olla sobiv. Iga valgustuse kavandit ja ülekäigurada tuleb hinnata eraldi, et määrata kindlaks valgustite kõige sobivam paigutus, mis saavutatakse põhjalike valgusarvutuste abil.

2.4 Ülekäiguraja valguse värvsustemperatuur

Värvsustemperatuur, mida mõõdetakse kelvinites (K), võimaldab hinnata valgusallikate värvi, võrreldes neid ideaalse musta keha (mustkiirguri) kiirgusega teatud temperatuuril [2]. Mustkiirgur neelab kogu temale langeva kiirguse, sõltumata laine pikkusest, langemissuunast või polariseeritusest [4]. Näiteks mustkiirguri kuumutamisel temperatuurini umbes 3000 K, kiirgab mustkiirgur energiat nähtavas spektripiirkonnas, mis on sarnane hõõglambi sooja valgusega, st mida kõrgem on absoluutse musta keha temperatuur, seda valgem on värvus ja vastupidi [4]. Värvsustemperatuur on mustkiirguri temperatuur, mille juures musta keha kiirgus ja vaadeldava valgusallika valguskiirgus langevad kokku [4]. Valgustid on liigitatud nende värvsustemperatuuri alusel soojaks, neutraalseks ja jahedaks. Soojad värvitemperatuurid (kuni 3300 K) tunduvad üldiselt soojadena, temperatuurid vahemikus 3300 kuni 5300 K tunduvad neutraalsetena ja üle 5300 K tunduvad jahedad [35].



Joonis 2.4 Kruithofi kõver (joonis kohandatud) [36]

Kuigi värvsustemperatuur ei muuda otseselt vertikaalse valgustiheduse suurust, võib värvsustemperatuur mõjutada seda, kui hästi valgustihedust tajutakse. Inimese silmad tajuvad jahedat värvsustemperatuuri (kõrgemad kelvinite väärtused) heledamana kui sooja värvsustemperatuuri (madalamad kelvinite väärtused) isegi siis, kui tegelik valgustihedus on sama [30]. Kõrgema värvsustemperatuuri valimine kindlale piirkonnale, näiteks jalakäijate ülekäigukohale, võrreldes üldise tänavavalgustusega võib aidata parandada nähtavust ja muuta jalakäijad või objektid taustast eristuvaks, tagades seega turvalisema keskkonna [30] [31]. Värvsustemperatuuri järjepidevuse tagamine või järkjärguline üleminek keskkonnas võib aidata säilitada visuaalset mugavust ja toetada vertikaalse valgustuse paremat tajumist ning vähendada rägust [30].

Tallinna Kommunaalamet on kehtestanud nõude, mis on esitatud dokumendis „Tallinna tänavavalgustuse tehnilised tingimused tööprojekti koostamiseks“, et ülekäigud peavad olema vähemalt 1000K - 1500K kõrgema värvsüsteemtemperatuuriga, et ülekäigud oleksid eristatavad. Olemasolevad suunised soovivad samuti kasutada valgusteid, mille värvsüsteemtemperatuur on vahemikus 4500K kuni 6000K, kuna see tagab piisava värvitunnetuse ja kontrastsuse [30]. Seega jalakäijate ülekäigurada eristamiseks ülejäänud teepinnast või suurendamiseks selle nähtavust, võib kasutada valgustid, mille värvitemperatuur on 1000K kuni 1500K kõrgem kui üldine tänavavalgustus. Veelgi kõrgema värvsüsteemtemperatuuriga valgustite kasutamine võib põhjustada ka halvema värvitaju ja ebamugavustunnet silmadele, eriti pikemaajalisel vaatamisel. Reeglina saab meeles pidada, et mida tugevam on valgustite valgusvoog, seda kõrgem võib olla silmale mugavana tunduv värvsüsteemtemperatuur (vt Joonis 2.4).

2.5 Ülekäiguraja valgustuse rägus

Rägus on nägemisolukord, mis tagajärjel on detailide või esemete nähtavus halvendatud [2]. Rägus on põhjustatud heleduse sobimatu jagunemisest vaateväljas, liigest heledusest või liigtugevast kontrastist [2]. Räguse tekke peamiseks põhjuseks on tavaliselt sobimatult võimsate valgustite valik või valgustite vale paigaldus [30]. Lampide filtrite ehk hajutite kasutamine valguse pehmendamiseks võib aidata vähendada pimestamist [30]. Tähelepanu peab pöörama, et ülekäigu vahetusse ümbrusesse ei oleks paigaldatud rägust tekitavaid või tähelepanu kõrvale juhtivaid valgusallikaid, mis omakorda tekitavad lisa rägust.

2.6 Ülekäiguraja valgustite valgusviljakus

Valgusviljakus on valgusallika efektiivsuse mõõtmise näitaja, mis kirjeldab, kui efektiivselt suudab valgusallikas elektrilist energiat valguseks muundada. Valgusviljakust mõõdetakse luumenites vati kohta (lm/W) [4]. Valgusviljakus on oluline näitaja, kui soovitakse hinnata valgusallika energiatõhusust ja valida sobiv valgustuslahendus. Tuleb meeles pidada, et valgusti valgusviljakus on madalam kui selles paikneva lambi või lampide omad, kuna esineb optilisi kadusid ja liitseedise võimsustarbimist [26]. Energiatõhusa välisvalgustuse esirinnas on praegu leedvalgustite tehnoloogia [30]. Selle tohtu potentsiaal võimaldab suurt valgustugevust väga madala energiatarbimise juures [30]. Üleminek tavapäraselt valgusallikatelt uuenduslikele leedvalgustitele koos automaatse juhtimisega võib näiteks vähendada energiatarbimist 80 protsenti või rohkem [30]. Ülekäikudel kasutatavad valgustid peavad välja valgustama suunatud ala.

3 LISAVALGUSTUSEGA ÜLEKÄIGURAJA PROJEKTEERIMISELE JA MÕÕTMISELE ESITATUD NÕUDED

Iga jalakäijate ülekäigukoha puhul võivad erineda selle mõõtmed, projekti kavand või lisavalgustite valik, kuid lõppkokkuvõttes peab loodav valgustuslahendus vastama Eesti Standardiseerimis- ja Akrediteerimiskeskuse kehtestatud nõuetele. Ülekäiguradade paigaldamise ja tehnilise kujundamise eeltingimusi reguleerib ehitusseadustik ja selle alamaktid ning liiklusseadus koos selle juurde kuuluvate määrustega [10]. Eestis reguleerivad jalakäijate ülekäiguradade mõõtmisi standardid EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017.

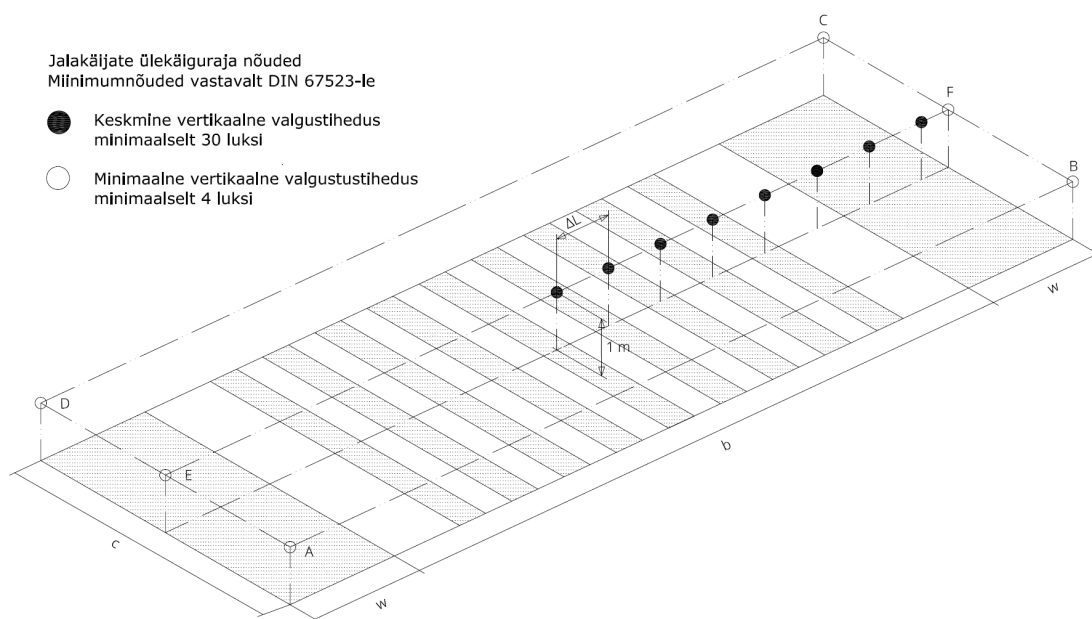
Jalakäijate ülekäiguradade valgustuse arvutamisel ja mõõtmisel on oluline arvestada ainult lisavalgustuse poolt tekitatud valgustust [25]. Kuigi see nõue ei ole simulatsioonide ja valgustuse arvutuste puhul probleemiks, võivad tegelike mõõtmiste ajal standardite täitmist takistada muude valgusallikate väljalülitamisega seotud ohutus- või majanduspiirangud. Enamik Eestis tehtud valgusmõõtmisi on tehtud tingimustes, kus ümbritsevad valgusallikad on sisse lülitatud, kuna tavaliselt ei valgusta ülekäiku üksnes lisavalgustus, vaid ka lähedalasuvad tänavavalgustid või muud kõrvalasuvad valgusallikad. Ideaaljuhul tuleks ümbritsevad valgusallikad, mis ei ole ette nähtud jalakäijate ülekäigukoha valgustamiseks, katsete ajal välja lülitada, et vältida mõõtmistulemusi moonutavaid kõrvalmõjusid. Vertikaalset valgustustihedust, mis on oluline kvaliteedikriteerium inimeste nähtavuse seisukohast, võivad ümbritsevad valgusallikad negatiivselt mõjutada [25].

Mõõtmistel peavad lahenduslambid olema vanandatud kestusega vähemalt 100 tundi ning enne mõõtmiste alustamist peavad valguspaigaldised olema saavutanud väljakujunenud seisundi, mis tähendab, et tekitatava valgusvoo tase on maksimaalne. Praktilised mõõtmised tuleb teostada klassifitseeritud mõõteriistade abil. Standard sätestab, et kasutada tuleb vähemalt DIN 5032-7 standardi järgselt klassi B kuuluvaid tööriistu. Katsete käigus kasutatavad valgusmõõdikud tuleb kinnitada püsivale alusele. Parema ülevaate saavutamiseks võib kasutada spektroradiomeetrit, millega saab määrata samaaegselt värviedastusindeksit, spektrit ja valgustustihedust. [25]

3.1 Ülekäiguraja mõõtepunktide valik

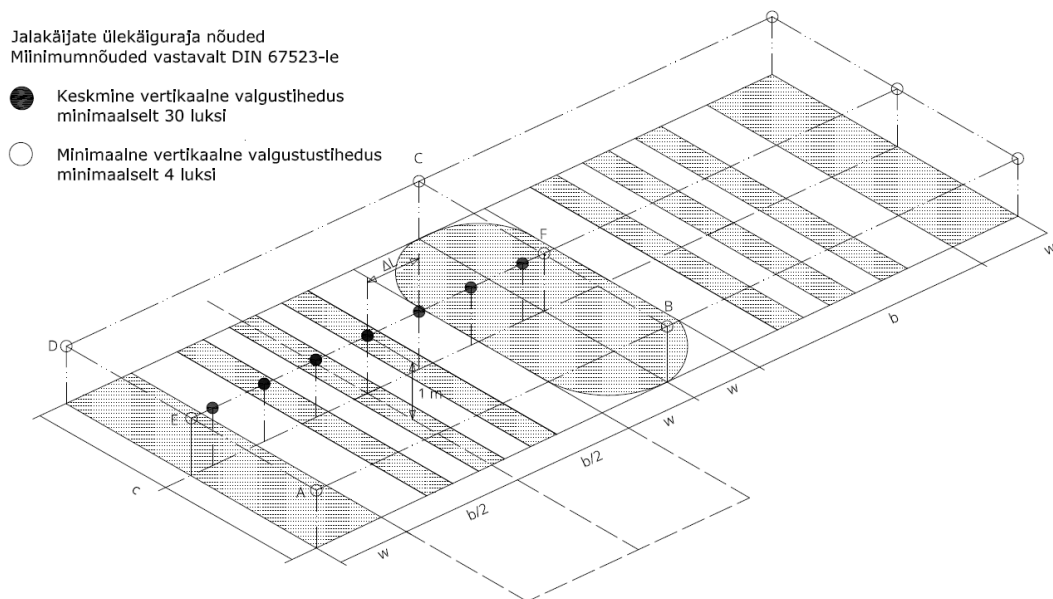
Jalakäijate ülekäiguradade lisavalgustuse tõhususe hindamiseks kasutatakse ristkülikukujulist hindamisvälja. Antud väli on horisontaalselt paigutatud 1 meetri kõrgusele teepinnast. Standardi kohaselt lepitakse kokku ülekäiguradade valgustuse ühtses hindamises, kasutades ristkülikukujulist hindamisvälja, mis on määratletud järgmiste parameetritega: c tähistab ülekäiguradade laiust, b tähistab sõidutee laiust ja w tähistab ootepiirkonna laiust. [25]

Valgusarvutuste hindamisel võetakse arvesse jalakäijate ülekäigukoha kesktelje punktid E-F. Punktide vaheline kaugus $\Delta L = 1\text{m}$ tuleb arvestada kogu E-F telje teelõiguulatuses, kus juures punkte E ja F ennast ei tule mõõdistada. Keskmine valgustustiheduse väärtus 1 meetri kõrgusel kogu kesktelje E-F ulatuses peab olema vähemalt 30 luksit. Lisaks sellele ei tohi valgustustihedus 1 meetri kõrgusel jalakäijate ülekäiguala mis tahes arvutuspunktis olla väiksem kui 4 luksit. [25]



Joonis. 3.1 Ülekäigurajal valitavate mõõtepunktide arvestamine (autori loodud)

Kui on tegemist ohutussaarega ülekäigurajaga, mille laius on enam kui 2 meetrit, tuleb arvutada mõlemad hindamisväljad eraldi [25].



Joonis. 3.2 Ohutusaarega ülekäigurajal valitavate mõõtepunktide arvestamine (autori loodud)

3.1.1 Ülekäiguraja ootealad

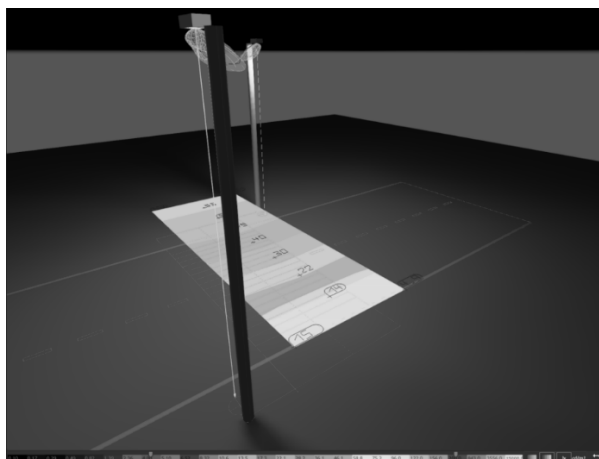
Valgustehniliselt kuuluvad jalakäijate ülekäiguraja juurde vähemalt 1 meetri laiused ootepinnad ehk teisisõnu ootealad [5]. Ootealade hulka ei loeta sõiduteega rööbitisi jalgrattateid ega parkimisalasid [5]. Jalakäijate ülekäiguraja valgustuslahendus peab valgustama ka vastavaid ootealasid. Ootealade nõuetekohasel valgustamisel on oluline roll ohutuse tagamisel, kuna see võimaldab autojuhtidel jalakäijate lähenemist varem märgata. Mida varem juht jalakäijat ülekäigurajale lähenemas märkab, seda varem saab ta hakata kiirust vähendama.

3.1.2 Sobivate valgustite valik

Jalakäijate ülekäiguradadele sobivate valgustite valikut mõjutavad suuresti konkreetsed projektinõuded ja valgustuse jaoks eraldatud eelarve. Tänapäeval kasutatakse tavaliselt asümmeetrilise optikaga leedvalgusteid nende energiatõhususe ja parema töövõime tõttu [28]. Oluline on valida jalakäijate ülekäiguradade jaoks valgustid, mille värvsüsteemtemperatuur on kõrgem (vahemikus 1000K kuni 1500K) kui üldises tänavavalgustuses kasutatavad valgustid. Kõrgem värvsüsteemtemperatuur parandab nähtavust ja aitab jalakäijaid taustast eristada [30].

3.2 Sobivate hindamisvälja mõõtepunktide valik

Valgusarvutuste täpsus sõltub simulatsioonis valitud mõõtepunktide arvust ja nende paiknemisest. Dialux Evo võimaldab kasutajatel määrata mõõtepunkte ja seadistusi teatud määral lähtuvalt konkreetsetest soovidest. Vastavalt Eesti standardile EVS 935-2:2017 tuleb mõõtmised teostada 1 meetri kõrgusel [25]. Sellest tulenevalt peavad ka simulatsioonis kasutatavad mõõtepunktid olema paigutatud vastavale kõrgusele.



Joonis 3.3 Välimõõtmiste tulemuste kinnitamine Dialux Evo´ s Mektory näitel (autori loodud)

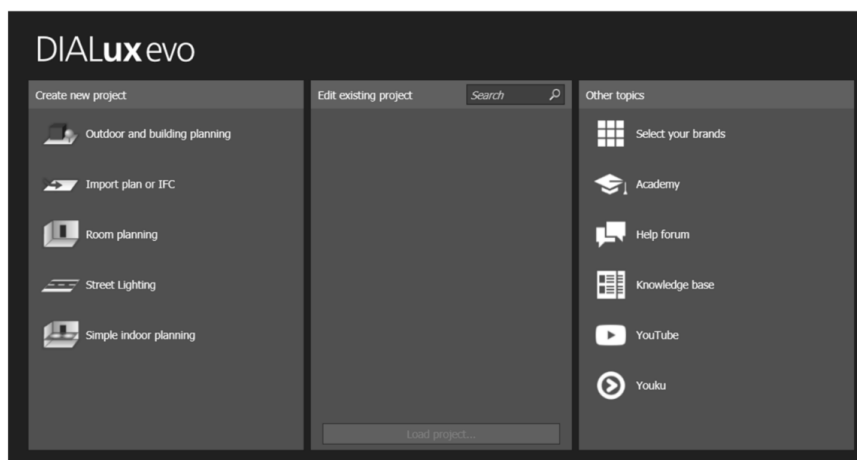
Mõõtepunktid tuleb paigutada vastavalt antud joonisele (vt Joonis 3.1), mis määratleb, et keskteljel E-F asuvate punktide vaheline kaugus ja kõrgus teepinnast peab olema 1 meetr ning hindamisvälja nurgapunktid A, B, C ja D peavad asuma 1 meetri kõrgusel teepinnast ning olema 1 meetri kaugusel sõidutee servast.

3.3 Valgusarvutused Dialux Evo´ s standardile tuginedes

Valgusarvutuste tegemisel tarkvara Dialux Evo abil on oluline tagada mudelite vastavus asjakohastele standarditele ja eeskirjadele. Valgusarvutuste tegemine Dialux Evo programmis algab sobiva projektitüübi valimisega. Kuna Dialux Evo ei toeta otseselt jalakäijate ülekäiguradade või ülekäiguradade arvutusi (puudub vastav keskkond), on sobivaks valikuks keskkond "Outdoor and building planning".

Seejärel tuleks luua ülekäiguraja mudel, mis ühtiks täpselt tegeliku ülekäigurada reaalsete mõõtmetega. Mudeli ehitamisel tuleb arvesse võtta ülekäiguraja tegelikku pikkust ja laiust, mis on kindlaks määratud projektijooniste või kohapealsete mõõtmisnäitude alusel. Arvesse tuleb võtta ka ootepiirkonna alla kuuluvaid alasid.

Lisaks sellele peaks mudel sisaldama valgustusmastide tegelikku kõrgust, mis sõltuvalt projektist on tavaliselt 6 meetrit, ning vastavaid valgusallikad. Valgusmastide optimaalseim asukoht selgub valgusarvutuste käigus.



Joonis 3.4 Dialux Evo stardimenüü

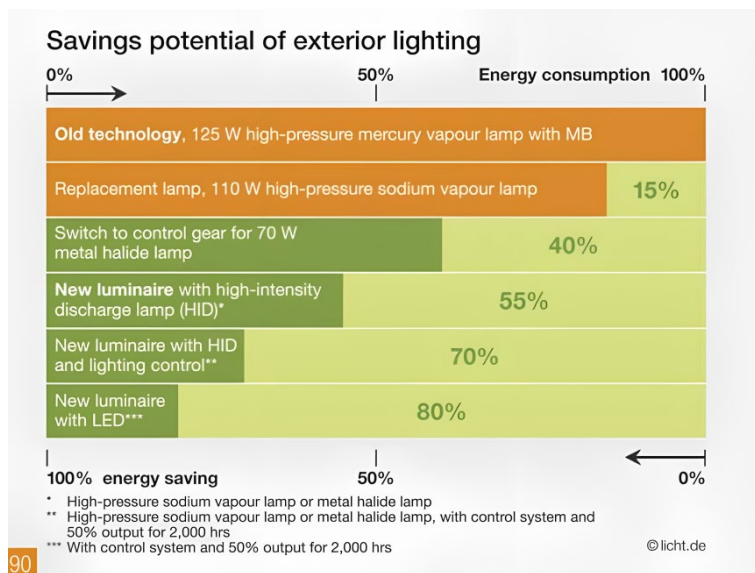
3.4 Projekteerimisel tehtavad vead

Jalakäijate ülekäiguradade valgustuslahenduse loomisel võib esineda mitmeid tüüpilisi vigu. Ebatäpsed simulatsioonimudelid ülekäiguala, valgustite asukoha või kõrguse kohta võivad põhjustada ebaõigete hindamisväljade valikut ning arvutusi, millest tulenevalt valitakse ebasobilikke valgusteid. Ülekäiguraja valgustuselahenduse ebapiisav arvestamine võib viia vajaliku lisavalgustuse üle- või alahindamiseni, põhjustades liigset pimestamist või halba nähtavust. Mõõtmispunktide ebaõige paigutamine simulatsioonides, mis ei vasta standardites EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017 sätestatud meetoditele, võib anda ebausaldusväärseid tulemusi, mis raskendab hilisemat valgustusprojekti tõhususe hindamist ja valgusmõõtmiste teostamist [25]. Hilisemad mõõtmised tuleb läbi viia projekteerimisel eeldatud punktides, mis peavad vastama standardites kirjeldatule ja metoodikale. Sobimatute tehnilised näitajad, näiteks liiga kõrge värvsüsteematuuri või võimsusega valgustite valimine võib samuti negatiivselt mõjutada nähtavust ja jalakäijate ohutust. Kui valida väär valgusjaotusega valgusti, võib valgusallika valgusvihk langeda otse jalakäijate ülekäigukohta keskjoonele või valgustada ala väljaspool jalakäijate ülekäigukohta. Lisaks sellele võib ehitaja paigalduse käigus seada valgustile mitte-projektijärgsed paigalduskalded, mis vähendavad olulisel määral lisavalgustuse tõhusust. Samuti võib valgustuslahenduse ebapiisav hooldus ning järelevalve aja jooksul vähendada valgustite tõhusust [35].

4 ÜLEKÄIGURAJADE ENERGIATÕHUSAD VALGUSTUSLAHENDUSED

Jalakäijate ülekäiguradade valgustuslahenduste hoolduskulude efektiivne ja säästlik haldamine on oluline tegur, mis mõjutab valgustuse pikaajalist toimivust ja kulude juhtimist. Tänapäeval on valgustussüsteemi madal energiatarbimine tähtis kvaliteediomadus [28]. Valgustuslahenduse kulutõhusamaks muutmisel võib kaaluda mitmeid võimalusi:

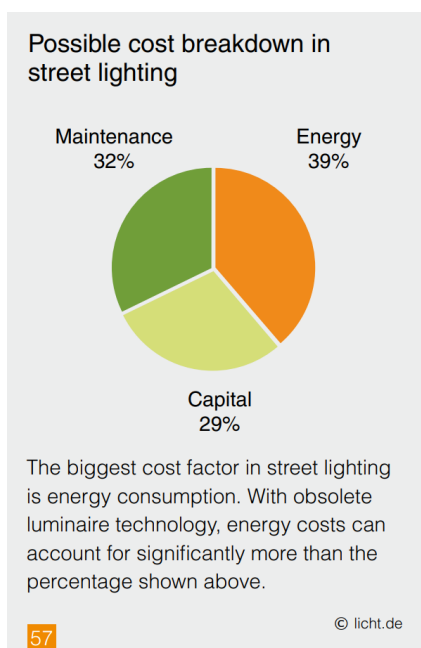
- dünaamilised valgustusjuhtimissüsteemid, mis kasutavad päevavalguse- ja kohalolekuandureid [28];
- mitme valgustite lülitusgrupi kasutamine, mis võimaldab igat gruppi eraldi ja üksteisest sõltumatult juhtida ning hämardada [28];
- kaasaegsete ja efektiivsete elektrooniliste toiteplokkide ja liiteseadiste kasutamine [28];
- efektiivsete valgustite kasutamine; kõrge kasuteguri suhtega, mis on varustatud reflektoritega [28].



Joonis 4.1 Välisvalgustuselt võimalik kokkuhoid [28]

Kõige tõhusam viis hoolduskulude vähendamiseks ilma majandusliku mõjuta on kasutada võimalikult vähe valgusteid jalakäijate ülekäiguradade valgustamiseks, kuid just nii palju, et tagada vertikaalse valgustustiheduse kriteeriumite täitmine, võttes arvesse valgustite valgusvoo vähenemist aja jooksul. Kuna energiatarbimine moodustab

suure osa valgustuslahenduse kuludest pikas perspektiivis (vt Joonis 4.2 ja Joonis 4.1), võib uue põlvkonna valgusallikate, ehk näiteks leedvalgustite kasutuselevõtt märgatavalt vähendada pikaajalisi kulusid. Valgussüsteemi juhtimine võib olla kulukas ning oluliselt suurendada alginvesteeringu osakaalu, kuid juhtimissüsteemi rakendamine võib energiatarbimist vähendada kuni 80 protsenti võrreldes tavapärase valgustuslahendusega [28]. Arvestades, et uute valgustuslahenduste ehitamist võib pidada pikaajaliseks investeeringuks, kuna paigaldiste üldjuhul kavandatav eluiga on umbes 25 aastat, on suurem algne investeering õigustatud [30]. Enne lõpliku projekti elluviimist on oluline põhjalikult analüüsida kõiki võimalikke kulusid, et saada ülevaade valgustuslahenduse tekkivatest kokkuhoiuvõimalustest. Analüüs aitab enne ehituse algust kulusid optimeerida, arvestada erinevate säästukohtadega ning valida sobilikke seadmeid. Algkapitali kulud omavad teistjärgulist tähtsust, kui võtta arvesse kogu valgustuslahenduse elutsükli kulusid [28]. Valgustuslahenduse kogukulud koosnevad mitte ainult tarbitava elektri hulgast, vaid hõlmavad ka kapitali- ja hoolduskulusid.

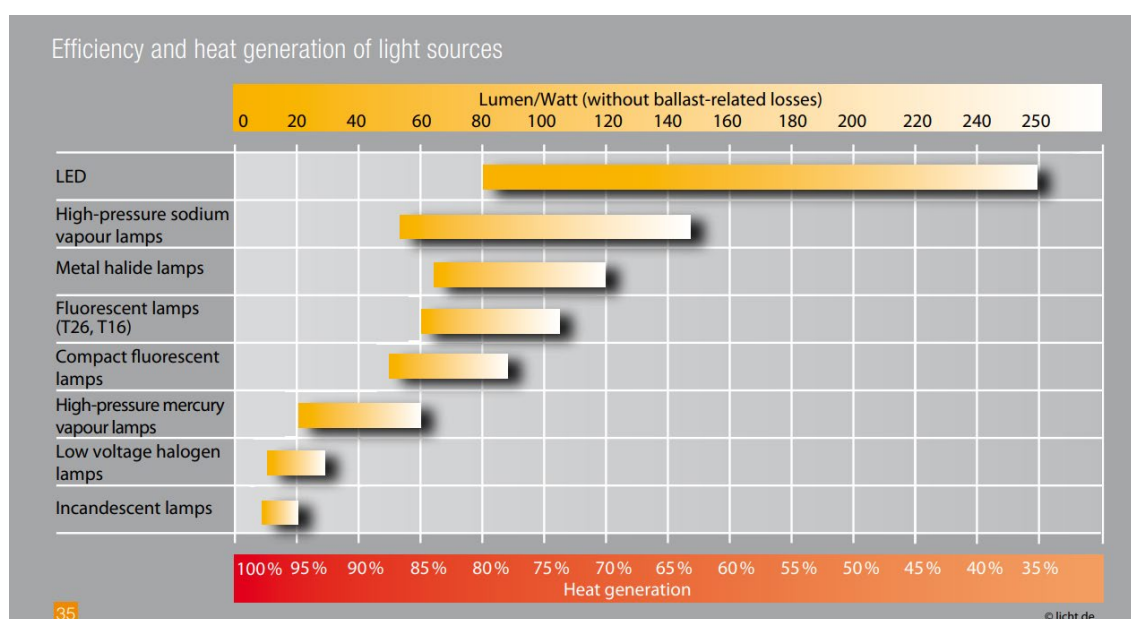


Joonis 4.2 Tänavavalgustuse kulude jaotus [30]

Kapitalikulud hõlmavad kõiki valgustuslahenduse kavandamisega, ehitamisega ja võrku ühendamisega seotud kulusid, sealhulgas valgustite ja mastide maksumust ning tööjõu töötasusid. Hoolduskulud hõlmavad kõikvõimalikke valgustuslahenduse hoolduseid ja erinevad asenduskulud elutsükli jooksul.

4.1 Ülekäiguraja valgustid

Viimastel aastatel on leedvalgustid teinud valgustustööstuses revolutsiooni, pakkudes arvukaid eeliseid eelkäijate ees ja suuremat paindlikkust kui kunagi varem [35]. Leedtehnoloogia on nüüdseks sobiv asendaja kõikidele varem kasutusel olnud lambitehnoloogiatele, kuna selle kõrge tõhusus ja madal energiatarbimine muudavad selle energiasäästlikuks lahenduseks võrreldes traditsiooniliste valgusallikatega, nagu halogeen-, luminofoor- või kõrgsurvenaatriumlambid [35]. Leedvalgustid toodavad võrreldes teiste valgusallikatega vähem soojuskadusid ja rohkem kasulikku lumenit, kuna enamik eralduvast kiirgusest on nähtava valguse spektris [35] [37] [4].



Joonis 4.3 Valgusallikate tõhusus ja soojusenergia teke liigiti [35]

Leedvalgustid muutuvad tänapäeval üha populaarsemaks, sest neil on palju muid eeliseid. *LED* tagab hea värviedastuse ja kergesti reguleeritava valguse, mis tähendab paremat nähtavust ja nägemismugavust [38] [28]. Nad töötavad hästi külmades tingimustes, mistõttu sobivad nad eriti hästi Põhja-Euroopa riikidesse, sealhulgas Eesti kliimatingimustesse [32]. Leedvalgustid ei eralda kahjulikke gaase ega sisalda mürgiseid kemikaale [40]. Leedi eluiga on 20 000 kuni 50 000 tundi või rohkem, mis on oluliselt pikem kui hõõg- või luminofoorlampidel [35]. Eesti laiuskraadidel töötavad välivalgustid ligikaudu 3000 tundi aastas, mis annab leedvalgustitele (valgusti elueaks võetud 50 000 tundi) keskestlābi 17-aastase tööea. Korrapärane ja õigeaegne valgustite hooldus ja töötemperatuur võib seda perioodi veelgi pikendada. Leedvalgusteid saab juhtida ja hämardada [35]. Leedvalgustid käivituvad sisselülitamisel kohe ja saavutavad kohe täis valgusvoo, sest sisse- ja väljalülitamine võtab vaid murdosa sekundist [40]. Samuti on hoolduskulud leedvalgustite puhul märksa väiksemad kui

vanemate valgustite, nagu metallhaliidi- ja kõrgrõhuvalgustite puhul (vt Joonis 4.3). Siiski võib leedvalgustite puhul vaja olla draiverite ning muude liiteseadmete vahetamist, mitte ainult LED moodulite endi vahetamist.

4.2 Valgustuse juhtimise strateegiad

Valgustuse juhtimine pakub suurt säästupotentsiaali ning võib põhineda erinevatel meetoditel, mis võimaldavad valgustust juhtida ja optimeerida vastavalt liikumisvoogudele ja keskkonnatingimustele. Enimlevinud valgustuse juhtimise viis on valgustite hämardamine, kuid selle efektiivsust saab veelgi täiendada erinevate anduritega. Kohalolekuandurid tagavad, et valgustid lülitatakse või hämardatakse automaatselt välja, kui läheduses pole jalakäijaid.

	KELLAAEG, ALGAV TUND																		
	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00
Valgustusklass M	Hämardamisel alles jääv keskmine valgusvoog protsentides																		
M1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	75	100	100	100	100
M2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	50	50	50	50	75	100	100	100	100
M3	100	100	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100
M4	100	100	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100
M5	100	100	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100
M6	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100
Valgustusklass P	Hämardamisel alles jääv keskmine valgustugevus protsentides																		
P1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100
P2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100
P3	100	100	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100
P4	100	100	100	100	100	100	100	75	75	50	50	50	50	50	75	100	100	100	100
P5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	75	75	75	75	75	100	100	100	100	100
P6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Joonis 4.2 Näide projektis kasutatavast valgustite hämardamisest [41]

Üks levinumaid valgustuse juhtimise viise, mida kasutatakse ka Eestis, on ajaline juhtimine, mille puhul valgustus lülitatakse sisse ja välja eelnevalt kindlaksmääratud ajakava alusel. Juhtimine põhineb astronoomilisel taimeril, mis on kaugelt lihtsaim ja odavaim lahendus, kuna ei nõua täiendavaid juhtimis- ja võrgusüsteeme [34]. Taimeri alusel eelprogrammeeritud ajakava ei ole võimeline arvesse võtma muutlike ilmastikutingimusi, mis võivad olla põhjustatud ilmastikumuutustest, näiteks tormidest, mil valgustuse tase vajadus võib olla kõrgem [34]. Astronoomilistel andmetel põhinev valgustuslahendus ei võta arvesse ümbritsevaid maastiku elemente nagu mäed või lohud ning inimehitisi, mis võivad takistada päikest õhtuti või hommikuti [34]. Seetõttu on kasulik kaaluda teisi lahendusi, mis võimaldavad valgussüsteemil olla iseseisvam ning reageerida muutuvatele tingimustele reaalajas andurite abil.

Teine levinud viis on fotoandurite kasutamine juhtimissüsteemi juhtimiseks. Antud süsteemi võib pidada suhteliselt lihtsaks ja odavaks, kui valgusteid ei jagata ülemäära

paljudeks eraldiseisvateks gruppideks. Fotoanduri kasutamine võimaldab siiski mõningast paindlikkust valgustuse kohandamiseks muutuvate ilmastikuolude korral. Näiteks võib keskne valgusandur määrata, millal kõikide antud grupi valgustite sisselülitamine toimub, mis erinevalt astronoomilise taimeri kasutamisest võimaldab kohandada valgustust kohalike ilmastikuoludega.[34] Fotoandurite kasutamine võib olla eriti kasulik suvekuudel, kui päevad on Eestis eriti pikad ning ööd valged, ning öösel ei ole otstarbekas hoida jalakäijate ülekäigutulesid kogu aeg sisse lülitatuna, vaid panna valgustid tööle ainult siis, kui keegi on ülekäigurada kasutamas. Lisaks võib liikumisandurite kasutuselevõtt pikendada valgustite kasutusiga, kuna need ei ole pidevalt täisvõimsusel sisse lülitatud. Fotoandurite kasutuselevõttuga tuleb arvestada hoolduskulude tõusuga, kuna andurite korrektseks tööks on vaja neid regulaarselt puhastada.

Kolmas viis on liikumise tuvastamine. Kuna ööpäevaringselt ei ole liiklusvoog ja liiklustihedus ülekäigu kohas pidev, võib paigaldada liiklusandureid, mis tuvastaksid liikumist ülekäigurajal ning sätiksid hämardamise tasemed vastavalt vajadusele. Liikluse tuvastamiseks võib kasutada infrapunaandureid, ultraheliandureid, mikrolaineandureid või videokaameraid. Andurite kaasavõttuga kaasnevad omakorda lisakulud, kas elektritarbimise suurenemine videotöötlusega seotud algoritmide puhul või andurite regulaarse hooldusega kaasnevad kulud. Tuleb arvestada ka andurite vale-positiivse tulemusega, mis võivad tekitada ohtlikke olukordasid.[34] Näiteks ülekäigu lisavalgustuse süsteem võib olla täiendatud ultraheli liikumisanduriga, mis tuvastab liikumist jalakäijate ülekäigu või ootepiirkonna lähedal ja lülitab tuled täisvõimsusele ainult siis, kui jalakäija läheneb ootealale. Tugevalt tuulise ilma korral võib ultraheli andur anda väärasid tulemusi [34]. Liikumisanurite kasutamine võib olla tõhus lahendus madala sõidukite liiklusvooga tänavate jaoks.

5 MÕÕTMISTE METOODIKA

Käesoleva bakalaureusetöö üks eesmärkidest on põhjalikult uurida, kas praegu rakendatavad valgustuslahendused vastavad asjakohastes standardites sätestatud nõuetele [5] [25]. Tulemuste põhjal on võimalik tuvastada projekteerimisvigu valgustuslahendustes. Üldjuhul on edasiste mõõtmiste aluseks valgustuse arvutused ehk simulatsioon. Mõõtmised tuleb läbi viia samades punktides, kus on tehtud arvutused.

5.1 Mõõtmiste asukohtade valik

Jalakäijate ülekäiguradade erinevate valgustuslahenduste tõhususe hindamiseks valiti TalTechi lähedal kaks uurimiseks sobilikku kohta. Kohad valiti nende erinevate valgustustingimuste ja ainulaadsete omaduste tõttu, mis võimaldab võrrelda, kuidas need tegurid mõjutavad vertikaalset valgustust.

Esimene asukoht asub Mektory peahalli sissepääsu ees, kus on jalakäijate ristmikule paigaldatud täiendavad e-Pavementi leedvalgustid. Ristmik valiti selleks, et uurida, kui palju aitavad e-teekatendi leedvalgustid kaasa üldisele vertikaalsele valgustustihedusele ja jalakäijate nähtavusele ning kas antud valgustuslahendus vastab kehtivatele nõuetele, mis on esitatud standardis EVS 935. Analüüsid selle valgustuskonfiguratsiooni toimivust, püüab autor paremini mõista teekatendisse valgustuse lisamise võimalikke eeliseid jalakäijate ülekäigukohtade projekteerimisel.

Teine asukoht on Akadeemia tee ääres, kus on ohutussaar keset teed, mida valgustatakse kasutamata tüüplahendust. Ülekäigurada valiti selleks, et uurida, kuidas erinev valgustuslahendus mõjutab ohutussaare valgustustingimusi ja üldist jalakäijate ohutust. Mõlema asukoha tulemuste võrdlemine võimaldab autoril hinnata erinevate valgustuslahenduste tõhusust ja anda ülevaate jalakäijate ülekäiguradade projekteerimise optimeerimisest ohutuse ja nähtavuse parandamiseks.

Kolmas võrdlusalus asub Mõisaranna teel 1A. Kuna tegemist on värske paigaldisega, mida pole parasjagu veel kasutusele võetud, tekkis autoril võimalus kontrollida selle vastavust kehtivatele nõuetele.

5.2 Sooritatud mõõtmiste metoodika

Käesolev uuring põhineb jalakäijate ülekäiguradadel mõõdetud andmetel. Valgustite uuring põhineb EVS 935-1:2017, EVS 935-1:2017, EVS-EN 12464-2 ja EVS-EN 13201

seeria standarditel. Mõõtmiste käigus on autor kasutanud tulemuste kirjapanekuks mõõteprotokolli (vt Lisa 1 ja Lisa 2), kus on kirjas kõik vajalik kordusmõõtmise sooritamiseks. Sinna kuulub tee seisundi hindamine, ülekäiku valgustavate valgustite, kõrvalise ja häiriva valgustuse olemasolu ülekäigu läheduses ning mõõtmiste vastavust simulatsiooni tulemustele. Mõõtepunktide valik on visualiseeritud vastavatel joonistel (vt Lisa 1 ja Lisa 2). Mõõtmised tuleb sooritada järgides üksikasjalist talitusprotseduuri, mis peab arvestama standardi nõudeid või projekteerimisel tehtud eeldusi ning kirjeldama mõõtemääramatuse hindamist [42].

Mõõtmiste käigus tuleb arvestada teevalgustuspaigaldise kõiki talitlusolusid (valgustusklasse). Kui mõõtmise eesmärk on paigas, tuleb määratleda mõõtmiste laiendatud määramatuse suurim vastuvõetav väärtus, arvestades rahvuslikke või pakkumisel esitatavaid nõudeid ja hinnates selle määramatuse mõju otsustustele teevalgustuspaigaldiste mõõtetulemuste või energiatarbimise kohta. Kasutatavate mõõteriistade metrooloogilised omadused peavad vastama mõõtmiste eesmärkidele. Valgustustihedust tuleb mõõta valgustustihedusmõõturiga, mille toimivus sobib mõõtmiste eesmärgiga. Vajaduse korral tuleb kasutatavad andurid kalibreerida ja fotomeetrilised omadused korrigeerida, arvestades ümbruse temperatuuri- ja niiskusolusid mõõtmiste ajal. Kui mõõtmistulemusi on tarvis võrrelda, tuleb mõõtmised sooritada samades mõõtepunktides ja, kui nõutakse, vaatleja sama asukoha juures. [42]

Arvutustulemused tuleb esitada vähemalt detsimaalmurru kohtade arvuga, mis on vastavalt välja toodud standardi EVS-EN 13201-3:2015 tabelis 2 [43].

6 MÕÖTMISTULEMUSTE ANALÜÜS

Käesoleva alampeatüki eesmärk on analüüsida mõõtmistulemusi, mis saadi kolme erineva jalakäijate ülekäiguraja valgustuse mõõtmisest: kaks TalTechi lähedal ning üks Rannamõisa teel 1 A.

6.1 Mektory ülekäiguraja mõõtmiste analüüs

Esimene jalakäijate ülekäigukoht asus Mektory hoone sissepääsu ees, kus peale tavalisi lisavalgusteid valgustavad ülekäiku täiendavalt e-teekatendi leedvalgustid.

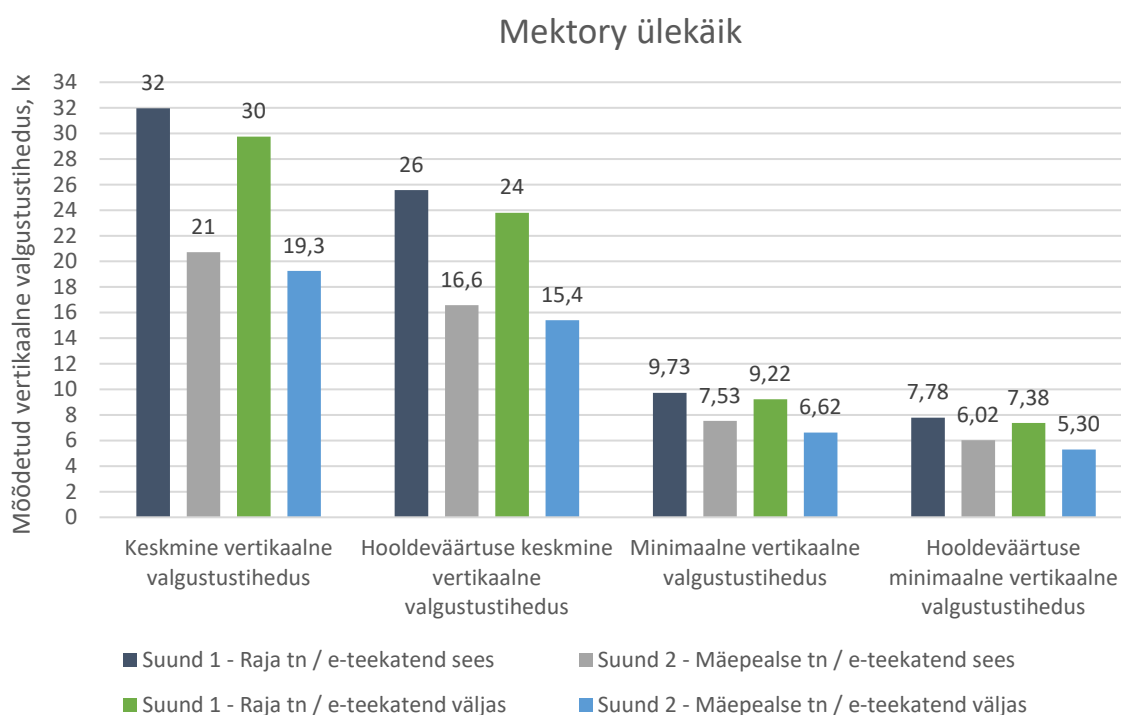


Diagramm 6.1 Mektory ülekäigu mõõtetulemused

Keskmine vertikaalne valgustustihedus sisselülitatud e-teekatendi leedvalgustusega oli suund 1 puhul 32 lx ja suund 2 puhul 21 lx. Erinevus tuleneb sellest, et Raja tänava suunas asuvad sõidutee tänavavalgustid (suund 1), mis annavad juurde nii heledust kui ka vertikaalset valgustustihedust. Mäepealse tänava poolt (suund 2) valgustab ülekäiku üksnes lisavalgusti. Väljalülitatud e-teekatendi leedvalgustusega oli keskmine valgustustihedus vastavalt 30 lx ja 19,3 lx. Minimaalne valgustustihedus sisselülitatud pinnasisese leedvalgustusega oli suund 1 puhul 9,73 lx ja suund 2 puhul 7,53 lx, samas kui väljalülitatud pinnasisese leedvalgustusega olid minimaalsed valgustustihedused vastavalt 9,22 lx ja 6,62 lx.



Joonis 6.1 E-teekatendi leedvalgustid Mektory ees (pilt autori pildiarhiivist)

Tulemuste analüüs näitab, et esiteks ei vasta antud ülekäik kehtivatele nõuetele, mis on esitatud vastavates standardites EVS 935:1-2017 ja EVS 935:2-2017, kuna ülekäigu valgustamise nõuded peavad olema täidetud ilma tänavavalgustuseta [5] [25]. Teiseks võib järeldada, et ooteala maapinnas asuv e-teekatend aitas kaasa keskmisele vertikaalsele valgustustiheduse tagamisele ja parandas jalakäijate nähtavust uuritava ülekäigurajal teatud määral, kuid lõplik mõju vertikaalsele valgustustihedusele on minimaalne. Vertikaalne valgustustihedus suurenes keskel läbi 7% võrra (vt Diagramm 6.1). Lisaks on Mektory ülekäigukoha valgustusmastide paigutus liiga lähedal ülekäigule, praktiliselt ühel joonel ülekäiguga, mis võib olla üks peamisi põhjuseid, miks antud ülekäigurada ei vasta kehtivatele nõuetele.

6.2 Akadeemia tee - Vinkli tn ülekäiguraja mõõtmiste analüüs

Teine ülekäik asus Akadeemia tee ja Vinkli tänava ristumiskoha ääres. Tegemist on ülekäigurajaga koos ohutussaarega. Ülekäik on valgustatud kasutamata tüüplahendust, mis on kehtestatud Tallinna Linnavalitsuse poolt.

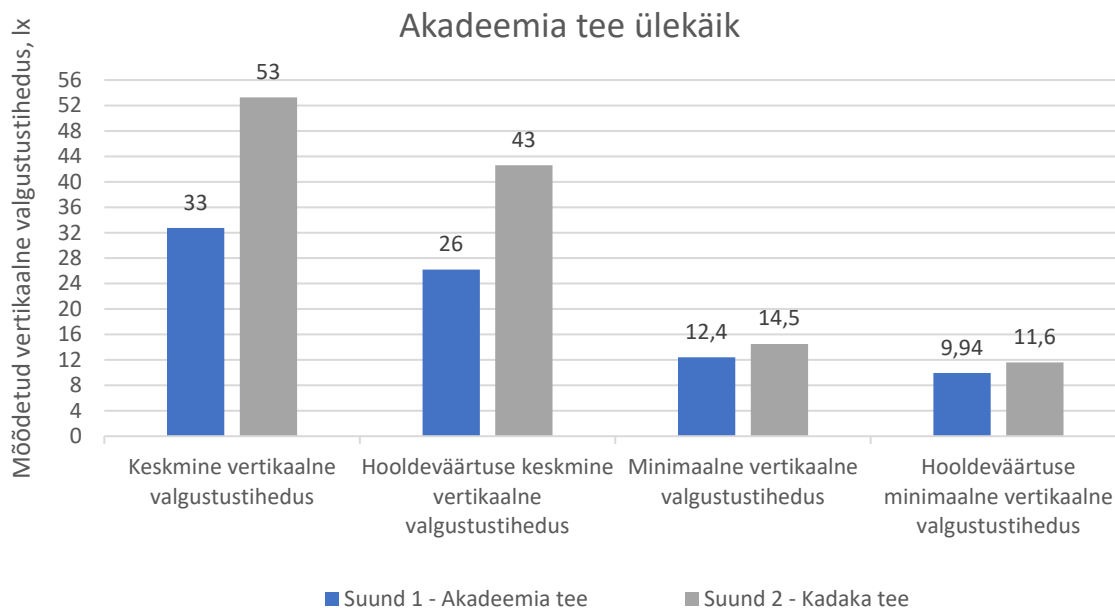
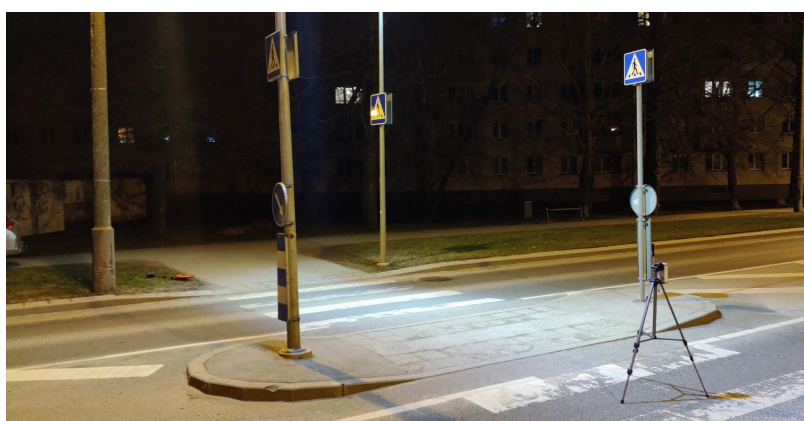


Diagramm 6.2 Akadeemia tee ülekäigu mõõtetulemused

Mõõtmistulemused näitavad, et keskmine vertikaalne valgustustihedus oli suund 1 puhul 33 lx ja suund 2 puhul 53 lx (Vt Diagramm 6.2). Minimaalne valgustustihedus oli suund 1 puhul 12,4 lx ja suund 2 puhul 14,5 lx. Võrreldes mõõtetulemusi standardis nõutud minimaalse keskmise valgustustihedusega keskteljel 30 luksit, vastavad mõlemad suunad esitatud nõudele, kuid küsimuseks jääb, millal jõuavad valgustid hooldeväärtuseni. Tagamaks valgustite nõuetele vastavust tuleks sooritada teatud aja tagant pistelisi mõõtmisi, kuna kogutud andmete alusel saaks hinnata valgustite võimalikku hooldusaega.



Joonis 6.2 Koht 2 lisavalgustite asend (pilt autori pildiarhiivist)

Analüüsid teise asukoha tulemusi, võib järeldada, et antud valgustuslahendus tagab nõutud minimaalse keskmise vertikaalse valgustustiheduse keskteljel ja pakub piisavat jalakäijate nähtavust. Tuleb meeles pidada, et kui hooldust ei korraldata õigeaegselt,

võivad ohutusnõuded antud ülekäigurajal jääda täitmata. Ohutussaare olemasolu keset teed aitab samuti kaasa jalakäijate ohutusele, kuna see pakub jalakäijatele turvalist kohta, kus peatuda ja hinnata teise sõiduteeosa ületamise ohutust. Luksmeetriga mõõdetud ülekäigu värvsustemperatuuriks on 4277K, mis on ligikaudselt 1200K kõrgem kui ümbritsev tänavavalgustus (3000K). Lisavalgustite ja tänavavalgustite värvsustemperatuuride vahe on silmaga märgatav (vt Joonis 6.2).

6.3 Rannamõisa ülekäiguraja mõõtmiste tulemus

Tegemist on uusarenduse käigus ehitatud ülekäiguga, mistõttu autor eeldas, et antud ülekäigu valgustuslahendus on kavandatud nõuetekohaselt.

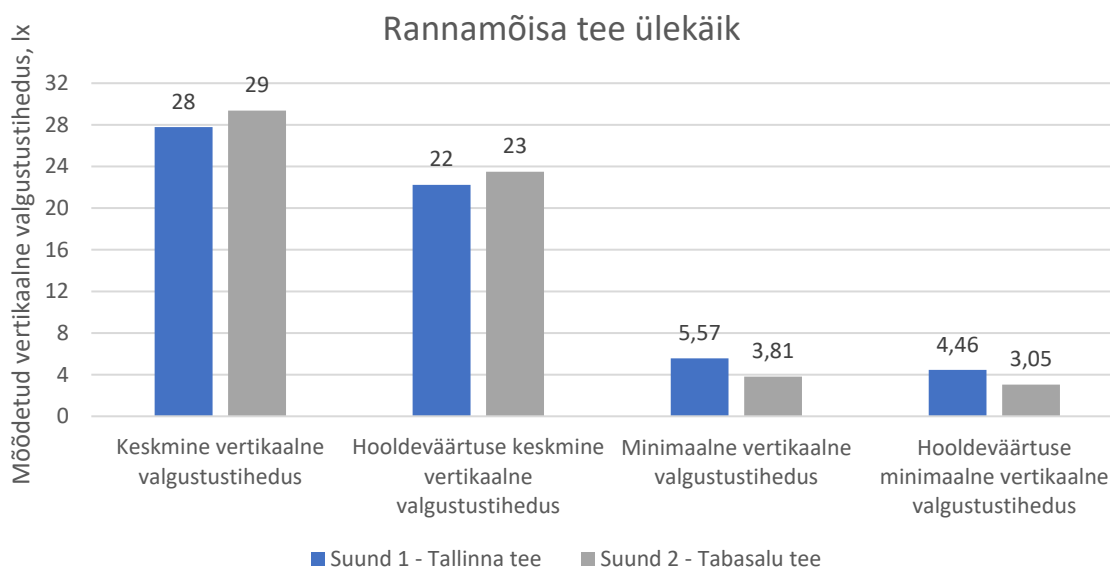


Diagramm 6.3 Rannamõisa tee 1A ülekäigu mõõtetulemused

Mõõtmiste käigus aga leiti, et keskmine vertikaalne valgustustihedus oli suund 1 puhul 28 lx ja suund 2 puhul 29 lx (vt Diagramm 6.3). Minimaalne valgustustihedus oli suund 1 puhul 5,57 lx ja suund 2 puhul 3,81 lx. Mõlema suuna nii vertikaalne valgustustihedus kui ka minimaalne lubatud valgustustiheduse väärtus jääb alla standardis EVS 935 nõutud väärtuste.



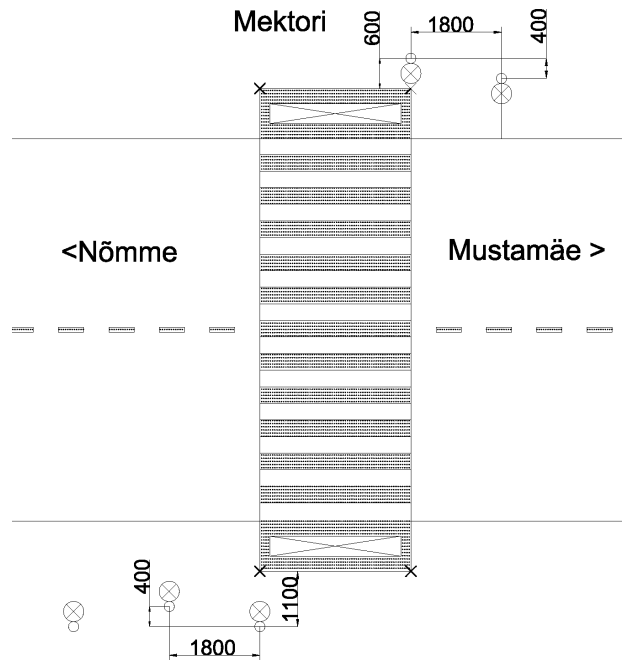
Joonis 6.3 Pilt mõõtmistest Rannamõisas (pilt autori pildiarhiivist)

Valgustusmastide asetus on antud ülekäigul paremini valitud kui Mektory ees oleval lahendusel, kuid mastide asukoht võiks olla valitud veelgi kaugemale ülekäigust, mis kindlasti aitaks nõuete täitmisele kaasa. Installeeritud valgustite vanus ei oma antud juhul tähtsust, kuna tegemist on hiljuti valminud paigaldisega.

6.4 Dialux Evo mudelite analüüs

Tarkvaraga Dialux Evo loodi simulatsioon Mektory ülekäigu jaoks, mis märgatavalt ei vasta EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017 nõuetele, et analüüsida, mida saab teha jalakäijate nähtavuse ning eristumise parandamiseks. Kuna mõõtmistulemused näitasid, et Mektory ees asuv ülekäigurada ei ole nõuetekohane, loodi kokku 3 mudelit:

- referentsmudeli simulatsioon kontrollväärtuste saamiseks. Eesmärk kõrvaldada ümbritsevate valgustite mõju ülekäigurajal, kuna sõidutee valgustite väljalülitamine mõõtmiste ajal ei olnud võimalik;
- simulatsioon hetkel ülekäigul paigaldatud valgustitega, kuid muudetud valgustusmasti paigutusega (vt Joonis 6.4);
- simulatsioon asendusvalgustitega ja muudetud valgustusmasti paigutusega (vt Joonis 6.4).



Joonis 6.4 Valgusmastide uus asend vana asendi suhtes (autori koostatud)

Asendusvalgustiks valiti Philips BGP281 T25 1 xLED70-4S 757, millel on parempoolne optika. Valik langes eelmainitud mudelile peamiselt värvsustemperaatori tõttu, mis on samaväärne Mektory ülekäigu valgustitega. Antud BGP281 T25 seeria valgusti on enim sarnane Mektory ülekäigul paigaldatud valgustiga. Vahepealse xLED64 mudeli valgusti ei olnud sobiv valik, kuna sellel puudus suunatud optikaga valik. Antud juhul oli BGP281 T25 1 xLED70-4S 757 parim valik, et tagada ühtlane ja sobiv valgustus Mektory ülekäigu piirkonnas. Tuleb märkida, et Dialux Evo tulemused ei võta arvesse tänavavalgustuse ega e-teekatendi leedvalgustite mõju. Seetõttu võib eeldada, et nende lahenduste mõju tõttu oleksid mõõdetavad tulemused kõrgemad kui tegelikud simulatsioonidest saadud tulemused (vt Diagramm 6.2). Simulatsioonide abil püütakse välja selgitada vead, mis olid tekkinud valgustuslahenduse kavandamisel. Simulatsiooni abiga tuuakse välja kõige tõhusamad muudatused, mida saaks teha olemasoleva valgustuslahendustega, et saavutada parem jalakäijate eristatavus ja lõppkokkuvõttes parandada jalakäijate ohutust ülekäigurajal.

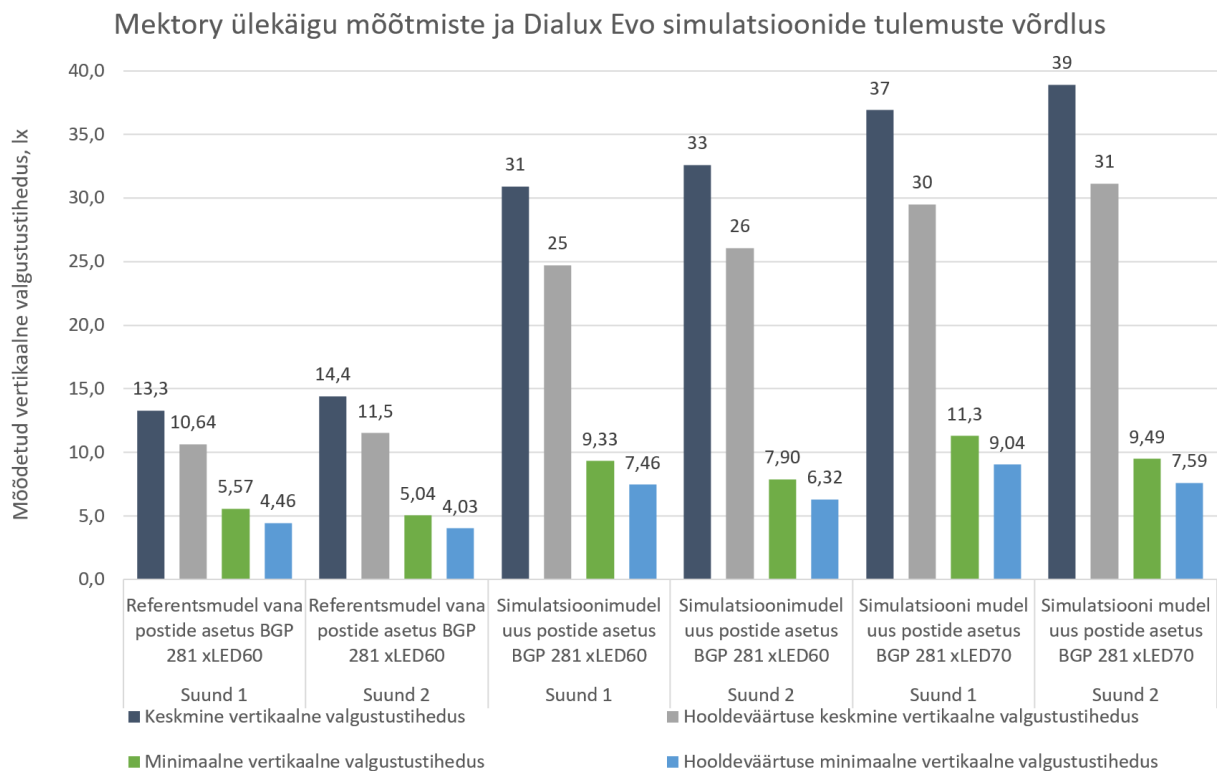


Diagramm 6.4 Mektory ülekäigu mõõtmiste ja Dialux Evo simulatsioonide tulemuste võrdlus

Referentsmudeli tulemuste analüüs (vt Diagramm 6.4) näitas, et lisavalgustite mastid on paigutatud liiga lähedale ülekäigurajale. Seda kinnitab simulatsiooni tulemus valgusmastide asenduse muutmisega, milles keskmine vertikaalne valgustustihedus suund 1 puhul oli 31 lx ja suund 2 puhul 33 lx vastavalt. Simulatsioonimudeli rakendamisel jõudis autor järeldusele, et uute valgusmastide optimaalne asukoht saavutatakse, kui mastid nihutatakse 1800 millimeetrit ülekäigurajast ning tuuakse 400 millimeetrit lähemale sõiduteele (vt Joonis 6.4). Valgustite asukoha muutmise tõsi kaasa peaaegu kahekordse vertikaalse valgustustiheduse suurenemise. Erinevus tuleneb sellest, et lisavalgustite valgusvihk ei ole suunatud õigele alale. Võimsama valgusvooga lisavalgustite kasutamine valgusmastide asukoha muutmiseta ei paranda tulemust, kuna kogu valgusti valgusvoog ei ole suunatud jalakäija valgustamisele, vaid sõidutee mittevajaliku lõigu valgustamisele. Võimsamate lisavalgustite kasutamine koos valgustusmastide ümbertõstmisega annaks 19% paremaid tulemusi (vt Diagramm 6.4). Uute valgustite kasutuselevõtt viiks aastase elektritarve ligikaudu 13% suuremaks, kuna xLED70 mudeli võimsus on 44,5 vatti ning xLED60 võimsus on 38 vatti.

6.5 Juhised ning ettepanekud ülekäiguraja projekteerimiseks ning mõõtmisteks

Antud peatükis käsitletakse soovitusi jalakäijate ülekäiguradade projekteerimiseks ja mõõtmiseks, et tagada optimaalsed valgustustingimused ja parandada jalakäijate nähtavust ning ohutust.

6.5.1 Projekteerimise ja mõõtmiste juhised

Jalakäijate ülekäigurajade projekteerimisel ja mõõtmisel tuleb arvestada ümbritsevat keskkonda ning võimalikke muutusi antud linnaosas või tee liikluskoosseisus. Samuti tuleb järgida järgnevaid standardeid, määrusi, juhendeid ja põhimõtteid:

- standardid EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017, mis käsitlevad ülekäigurajade nii juhisiväärtusi, üldnäitajaid kui ka arvutamise ning mõõtmise meetodeid (vt Peatükk 3);
- EVS 13201-x seeria standardid. Sari hõlmab enda alla nii valgustusklasside valiku juhiseid ning valgustusolukorra valikuprotseduure, toimivusnõudeid, energiatõhususnäitajaid kui ka valgusliku toimivuse mõõtemetodeid;
- valgustatud ülekäik ei tohi kindlasti jääda standardis EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017 toodud nõuetest madalamaks;
- enne valgustite paigaldamist tuleb läbi viia valgusarvutused vastavalt standardites EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017 kirjeldatud meetodikale. Saadud tulemuste põhjal saab teha otsuseid valgustite ja paigalduskonstruktsioonide valiku osas;
- valgusarvutused peavad arvesse võtma üksnes lisavalgustuse mõju;
- Tallinna Linnavalitsuse määrust „Jalakäijate ülekäiguradade valgustuse tüüplahendused“, mis kirjeldab linna poolt heakskiidetud tüüplahendused. Tüüplahenduse täpne valik sõltub konkreetsest lahendusest ning selle asukohast. Vastavate valgusmastide asetus tuleb seada paika valgusarvutuste käigus. Mastid tuleb paigutada võimalikult kaugele ülekäigust, üldiselt on mastid ülekäigu suhtes liiga lähedal (vt Peatükk 6);
- eelistada tuleb asümmeetrilise optikaga leedvalgusteid (vt Peatükk 2);
- lisavalgustuse värvustemperatuur ülekäigul võiks jääda 1000K – 1500K kõrgemaks ümbritsevast valgustusest;

- hoolduskulude vähendamiseks tuleb juhtida ülekäiguraja valgustuslahenduste elektritarbimist, milleks on mitmeid mooduseid (vt Peatükk 4);
- riigi ja tugimaanteedel tugineda Maanteeameti poolt väljastatud juhendiga „Riigimaanteede valgustamise juhis“, mis võib viimase töö valguses muutuda;
- mõõtmistel tuleb kasutada sobilikke mõõtevahendeid (vt Peatükk 3)(vt Peatükk 5);
- mõõtmised tuleb läbi viia projekteerimisel eeldatud punktides, mis peavad vastama standardites EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017 kirjeldatule ja metoodikale (vt Peatükk 3).

6.5.2 Projekteerimisega ja mõõtmisega seotud ettepanekud.

Standardi EVS 935-2:2017 hindamisvälja kirjelduses peaks olema sõnastus, mis oleks üheti mõistetav nii projekteerijatele kui ka mõõtjatele. Autori ettepanek on kasutada töö käigus koostatud joonist (vt Joonis 3.1) koos järgneva kirjeldusega: „Arvesse võetakse jalakäijate ülekäiguraja keskel E-F asuvaid punkte, vahekaugusega $\Delta L = 1\text{m}$ (1 meeter), kusjuures punktid kantakse sõidutee keskelt mõlemas suunas kuni ootepindade välisäärteni.“ Antud kirjeldust täiendaks vastav ülekäiguraja joonis (vt Joonis 3.1), mis kirjeldab punktide valikut. Kuna hetkel puudub standardis EVS 935-2:2017 hindamisvälja punktide määratlemise näide ohutussaarega ülekäigu puhul, pakub autor enda poolt koostatud joonise (vt Joonis 3.2) kasutamist standardi uustöötluses.

Projekteerijad ja mõõtjad võiksid juhendada mõõtepunktide ja hindamisvälja valikul autori poolt pakutavatest joonistest (vt Joonis 3.1) (vt Joonis 3.2), mis ühtlustaks saadavaid tulemusi mõõtjate ning projekteerijate vahel. Peab arvestama, et valede mõõtepunktide valik mõjutab valgustehniliste kvaliteedinäitajate õiguslikkust, seda nii kavandamisel kui ka mõõtmisel. Praktilised mõõtmised näitasid, et üldiselt on valitud valgustimastide asukohad liiga lähedal ülekäigurajale. Sellest tulenevalt võiksid projekteerijad, võimaluse olemasolul, valida valgusmastide asukohti alates 1,5 meetri kaugusel ülekäigurajast.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk oli teostada jalakäijate ülekäiguradade analüüs ning koostada valgustamise juhendmaterjali. Töö käigus on uuritud erinevate ülekäikude tüüpe, erinevate valgustuslahenduste mõju ja olulisust liiklusohutusele ning hinnatud nende vastavust kehtivatele standarditele EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017 (vt Peatükk 1 ja Peatükk 3). Teostatud töö käigus uuriti mitte ainult jalakäijate ülekäiguradade olemasolevaid valgustustingimusi, vaid süveneti ka valgustuslahenduste projekteerimise ja toimivuse aluseks olevatesse põhimõtetesse ja suunistesse (vt Peatükk 2).

Töö tulemusena selgus, et valgustuslahenduste kvaliteet on oluline tegur jalakäijate eristumisel ja ohutuse tagamisel ülekäigurajadel. Tallinnas teostatud praktiliste mõõtmiste käigus on tuvastatud mitmeid ülekäiguradasid, mille praegune valgustuslahendus ei ole nõuetekohane. Praktikaalased mõõtmistulemused näitasid, et Mektory ja Mõisaranna tee 1 A ülekäiguraja valgustustihedus ei vasta kehtivatele nõuetele, mis on määratletud standardites EVS 935-1:2017 ja EVS 935-2:2017.

Analüüsitud teoreetilise materjali, praktiliste tulemuste ja simulatsioonimudelite alusel on koostatud valgustamise juhendmaterjal, mis kirjeldab punkte, millest tuleb lähtuda ülekäikude valgustuslahenduste loomisel (vt Peatükk 6.5). Üles loetakse punktid, millest tuleks kindlasti kinni pidada, kui kavatsetakse olemasolevat ülekäiku mõõta või alustada uue ülekäigu kavandamisega. Töö käigus leidis autor, et kehtivad standardid ja juhised vajavad täiendavaid selgitusi ning ajakohastamist, tagamaks üheti mõistetavust nii mõõtjate kui ka projekteerijate seas. Autor on koostanud vastavad joonised ja sõnastanud kirjeldused, mis oleksid selleks võimalikult sobilikud (vt Peatükk 6.5).

Käesolev töö annab olulise panuse jalakäijate ülekäiguradade valgustuse ja liiklusohutuse paremaks mõistmiseks. Edasistes uuringutes võiks uurida kuidas käitub heledus antud töö käsitletud ülekäikude puhul ning keskenduda erinevate valgustuslahenduste võrdlevale analüüsile.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] *Liiklusseadus*. Vastu võetud 27.06.2022. RT I, 20.06.2022, 70. [Kasutatud: 17.04.2023].
- [2] EVS-EN, „EVS-EN 12665:2018,“ 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-en-12665-2018>. [Kasutatud: 19.04.2023].
- [3] Eesti Keele Instituut, „Eesti keele käsiraamat,“ 2007. [Võrgumaterjal]. Loetud aadressil: https://www.eki.ee/books/ekk09/index.php?link=O_50. [Kasutatud: 27.04.2023].
- [4] T. Tamm, E. Risthein, G. Tammann, ja A. Saar, *Valgustustehnika. I*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2009.
- [5] EVS, „EVS 935-1:2017,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-935-1-2017>. [Kasutatud: 19.04.2023].
- [6] DIAL GmbH, „DIALux lighting design software,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.dialux.com/en-GB/download>. [Kasutatud: 27.04.2023].
- [7] Transpordiamet, „2022. aastal surmaga lõppenud liiklusõnnetused,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.transpordiamet.ee/2022-aastal-surmaga-loppenud-liiklusonnetused>. [Kasutatud: 17.04.2023].
- [8] European Commission, „Facts and Figures – Pedestrians – 2023,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2023-02/ff_pedestrians_20230213.pdf. [Kasutatud: 17.04.2023].
- [9] Transpordiamet, „Liiklusaasta ülevaade 2022,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.transpordiamet.ee/liiklusaasta-ulevaade-2022>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [10] R. Tarkiainen, D. Antov, ja T. Varjas, „Lisavalgustusega ülekäiguradade mõju liiklusohutusele Tallinna näitel“, [Bakalaureuse töö], Majandusteaduskond, Taltech, Tallinn, Eesti, 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://digikogu.taltech.ee/et/item/b54efe8b-cc7c-4387-94f1-9e6270df6c7b>. [Kasutatud: 17.04.2023].
- [11] Erc Konsultatsiooni OÜ, „Tugimaanteede ülekäikude tähistamise analüüs,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://transpordiamet.ee/media/2501/download>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [12] Ü. Tampere, Accelerista, „Ekspert vastab: mis on ülekäigukoht ja ülekäigurada? Mis on nende vahe?“, *Delfi*, 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.delfi.ee/a/90369539>. [Kasutatud: 17.04.2023].
- [13] Transpordiamet, „Jalakäija tuvastusega ülekäigurada,“ 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.transpordiamet.ee/jalakaija-tuvastusega-ulekaigurada>. [Kasutatud: 17.04.2023].
- [14] *Tee projekteerimise normid ja nõuded*. Vastu võetud 01.07.2015. RT I, 10.04.2015, 7. [Kasutatud: 17.04.2023].
- [15] *Puudega inimeste erivajadustest tulenevad nõuded ehitisele*. Vastu võetud 03.06.2018. RT I, 31.05.2018, 55. [Kasutatud: 17.04.2023].

- [16] Federal Highway Administration, „Focusing on Pedestrian Safety“, 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://highways.dot.gov/public-roads/spring-2021/03> [Kasutatud: 17.04.2023].
- [17] Fitzgerald & Halliday, Inc, „Traffic Calming Resource Guide,“ 2008. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://resources.finalsite.net/images/v1610132061/suffieldctgov/x4pxnd5ygo82d6hkxvuz/TrafficCalming_ResourceGuide_Final.pdf. [Kasutatud: 17.04.2023].
- [18] *Liiklusmärkide ja teemärgiste tähendused ning nõuded fooridele*. Vastu võetud 01.01.2021. RT I, 23.12.2020, 2. [Kasutatud: 17.04.2023].
- [19] *Liikluseeskiri*. Vastu võetud 01.07.2011. RT I, 21.06.2011, 12. [Kasutatud: 25.04.2023].
- [20] TalTech, „Tavaline foorituli võib jääda liiklejale märkamata, aga see Eestis loodud „vilede ja tuledega“ ülekäigurada paistab silma igal juhul,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://taltech.ee/uudised/tavaline-foorituli-voib-jaada-liiklejale-markamata-aga-see-eestis-loodud-vilede-ja-tuledega>. [Kasutatud: 25.04.2023].
- [21] European Commision, „National Road Safety Profile – Estonia,“ 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2023-02/erso-country-overview-2023-estonia_0.pdf. [Kasutatud: 25.04.2023].
- [22] T. Tähepõld, „Tartu sai esimesed nutikad ülekäigurajad, mis kasutavad tehisintellekti ja võivad ka muusikat mängida“, *Autogeenius*, 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://auto.geenius.ee/rubriik/uudis/tartu-sai-esimesed-nutikad-ulekaigurajad-mis-kasutavad-tehisintellekti-ja-voivad-ka-muusikat-mangida/>. [Kasutatud: 25.04.2023].
- [23] EVS-EN, „EVS-EN 13201-2:2015,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-en-13201-2-2015>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [24] *Jalakäijate ülekäiguradade valgustuse tüüplahendused*. Vastu võetud 01.06.2019. RT IV, 29.05.2019, 67. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [25] EVS, „EVS 935-2:2017,“ 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-935-2-2017>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [26] Maanteeamet, „RIIGIMAANTEEDE VALGUSTAMISE JUHIS,“ 2014. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://transpordiamet.ee/media/2694/download>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [27] P. A. Buser, *Vision*. Cambridge, Mass. : MIT Press, 1992. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://archive.org/details/vision0000buse>. [Kasutatud: 13.04.2023].
- [28] licht.de, „licht.wissen 01 Lighting with Artificial Light,“ 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1608_lw01_E_Artificial_Light_web.pdf. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [29] E.-E. E. Portal ja Edvard, „What is the vertical illuminance?“, *EEP - Electrical Engineering Portal*, 2011. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://electrical-engineering-portal.com/what-is-vertical-illuminance>. [Kasutatud: 18.04.2023].

- [30] licht.de, „licht.wissen 03 Roads, paths and squares,” 2014. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1409_LW03_E_Roads-Paths-Squares_web.pdf. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [31] Schröder, „Pedestrian crossing solutions,” 2021. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://library.schreder.com/view/298426920/2/?sharedOn=.](https://library.schreder.com/view/298426920/2/?sharedOn=) [Kasutatud: 18.04.2023].
- [32] A. Fixtures, „Why Do Vertical and Horizontal Illuminances Matter?”, *Access Fixtures*, 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.accessfixtures.com/vertical-horizontal-illuminances-matter/>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [33] Schröder, „Pedestrian crossings,” 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.schreder.com/en/solutions/how-light-pedestrian-crossings>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [34] Austrian Energy Agency, „LED Street Lighting Procurement & Design Guidelines,” 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5b6d1cf07&appId=PPGMS>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [35] licht.de, „licht.wissen 17 LEDs: Basics - Applications – Effects,” 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1807_lw17_E_LEDs-Basics-Applications-Effects_web.pdf. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [36] I. Ashdown, „The Kruithof Curve”, *All Things Lighting Association*, 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.allthingslighting.org/the-kruithof-curve/>. [Kasutatud: 10.05.2023].
- [37] Janek, „10 põhjust, miks eelistada LED-valgustust hõõglambile,” 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://prolumina.ee/miks-eelistada-led-valgustust-hooglambile/>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [38] Enel X, „What are the advantages of LED street lights?”, 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://corporate.enelx.com/en/question-and-answers/advantages-of-led-street-lights>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [39] A. Fixtures, „How Does Ambient Temperature Affect LED Performance?”, 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.accessfixtures.com/led-operating-temperature/>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [40] LEDBenchmark, „Pros and Cons of LED lighting,” 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.ledbenchmark.com/faq/LED-Pros-Cons.html>. [Kasutatud: 18.04.2023].
- [41] Riigihangete register, „Tänavavalgustite vahetus LED valgustite vastu,” 2023. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://riigihanked.riik.ee/rhr-web/#/procurement/5582000/documents/source-document?group=B&documentOldId=16118261>. [Kasutatud: 15.05.2023].
- [42] EVS-EN, „EVS-EN 13201-4:2015,” 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-en-13201-4-2015>. [Kasutatud: 13.05.2023].
- [43] EVS-EN, „EVS-EN 13201-3:2015,” 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.evs.ee/et/evs-en-13201-3-2015>. [Kasutatud: 17.05.2023].

LISAD

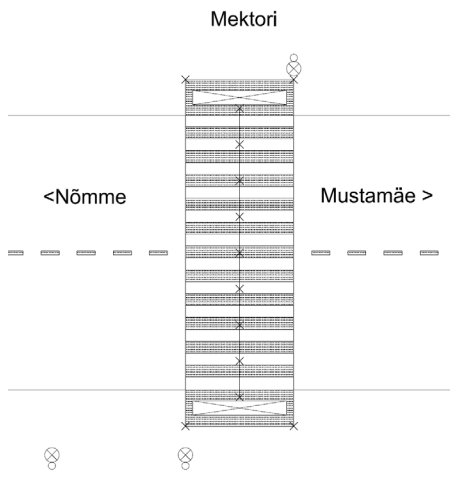
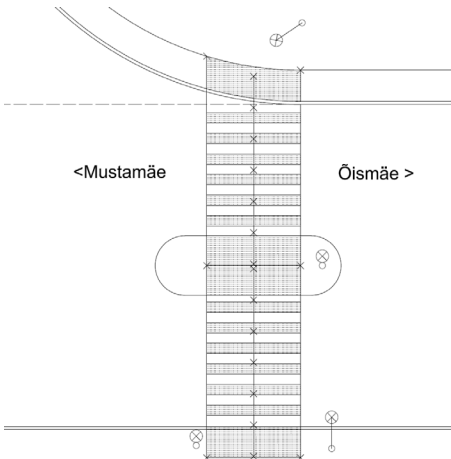

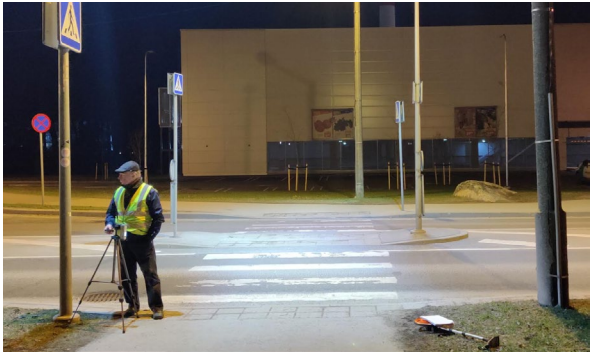
LISA 1 - Mõõteprotokoll 1

1. Üldandmed

Teeosa nimetus	15 Raja	Akadeemia tee 62
Mõõtmise eesmärk	Vertikaalne valgustustihedus	
Mõõtmiste kuupäev	12.04.2023	
Alguse ja lõpu kellaaeg	21.57-22.59	23.06-23.49
Mõõtmisel osalenud isikud	Aleks Lõbu	Aleks Lõbu
	Toivo Varjas	Toivo Varjas

2. Geomeetrilised andmed



Tänavaja ümbruse joonis koos valgustite mõõtmete ja paigutusega. Rajatise fotod.

 <p>Koht 1 – Raja 15, Mektory</p>	 <p>Koht 2 – Akadeemia tee 62</p>
	

3. Teepinna andmed

	Koht 1 - Raja 15	Koht 2 - Akadeemia tee 62
Teepinna tüüp	Asfalt	Asfalt
Teepinna seisundi vaatlusandmed	Kuiv	Kuiv

4. Lampide ja valgustite andmed

	Koht 1- Raja 15	Koht 2 - Akadeemia tee 62
Valgusti tüüp	Leedvalgusti	Leedvalgusti
Ülekäigu valgusti (pilt olemasolul)		
Nimetus	Philips BGP 281 LED 60-4S/757	Stratos-N 25R700-W16A2DX-230
Paigaldusaasta	2020	2015

	Leedvalgusti	Kõrgrõhunaatrium
Valgusti tüüp	Leedvalgusti	Kõrgrõhunaatrium
Lähim tänavavalgusti (pilt olemasolul)		
Nimetus	BGP 282 LED109-4S/730	NA Philips SGS 250 W
Paigaldusaasta	2020	1996

5. Keskkonnaolud

	Koht 1	Koht 2
Ümbruseolud mõõtmistel	Alguses	Alguses
Temperatuur	(13.1 ± 0.1) °C	(12.3 ± 0.1) °C
Niiskus	(51.5 ± 0.1) %	(51.3 ± 0.1) %

6. Rajatise seisund

	Koht 1	Koht 2
Kõrvaline valgus	Maasisesed leedvalgustid	Tänavavalgustus

7. Mõõteriistad

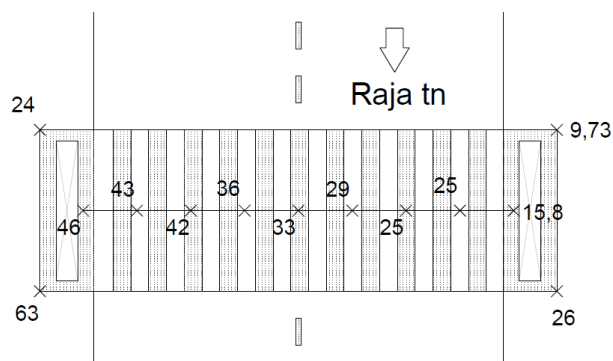
Mõõdetav teostatud Mõõteriisa liik	Valmistaja	Tüüp	Number	Hooldus ja kontroll teostatud	Kalibreerimistegurid arvesse võetud
Vertikaalne valgustustihedus	Gigahertz optik GmbH	BTS-256EF	17384M	JAH	JAH

8. Hindamisväli

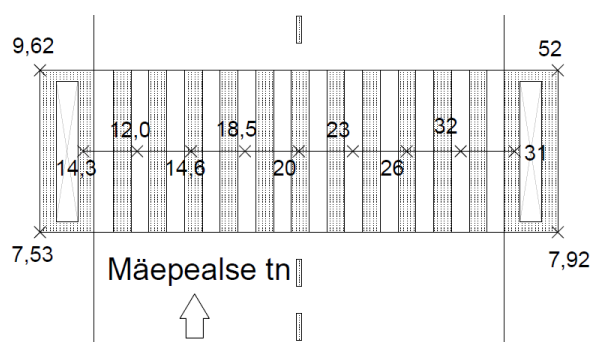
Koht 1. Tänav kahesuunalise liiklusega. Mõõtmiste ajal oli maapinnasisene valgustus sisse lülitatud ja vastavad liikumisandurid olid katmata.

Laius 3 meetrit

Pikkus 9,6 meetrit



Joonis 7.1 Koht 1 suuna 1 tulemused (luksides) (autori koostatud)

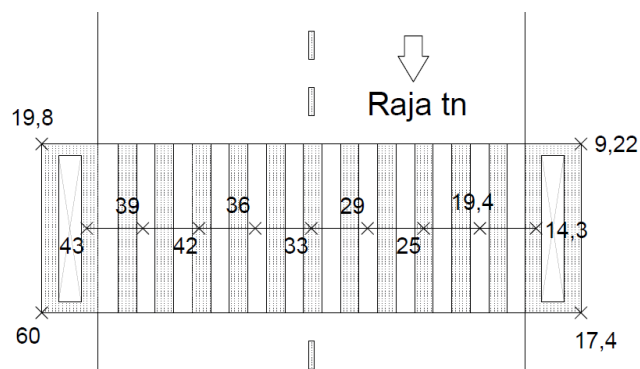


Joonis 7.2 Koht 1 suuna 2 tulemused (luksides) (autori koostatud)

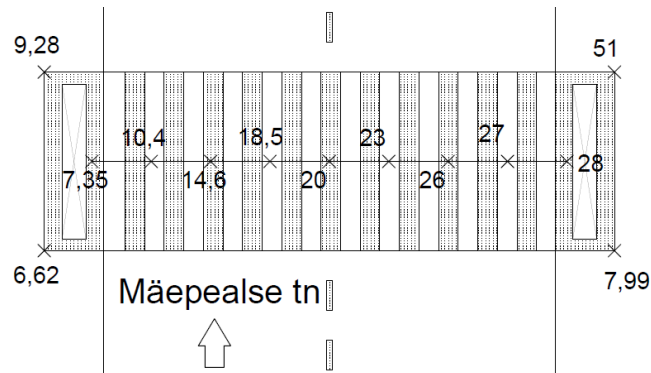
Koht 1. Tänav kahesuunalise liiklusega. Mõõtmiste ajal oli maapinnasisene valgustus välja lülitatud (vastavad liikumisandurid olid kinni kaetud). Mõõdeti punkte, kus võis avalduda suurim lisa valgustuse mõju.

Laius 3 meetrit

Pikkus 9,6 meetrit



Joonis 7.3 Koht 1 Suuna 1 tulemused, maasisesed leedvalgustid väljalülitatud (luksides) (autori koostatud)



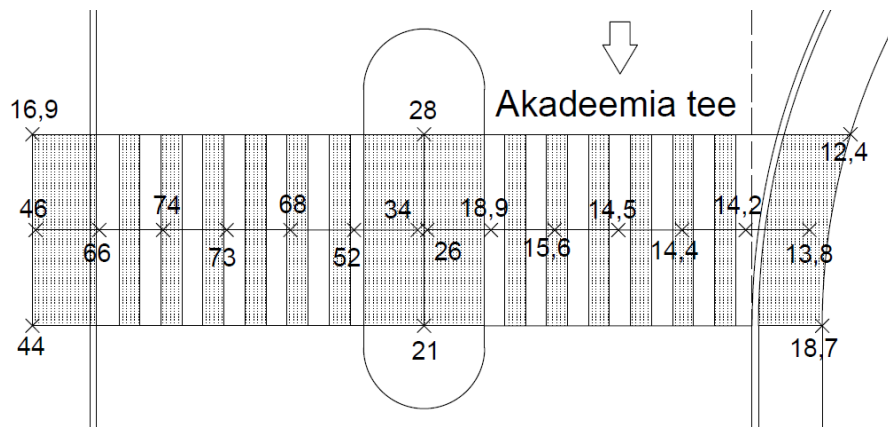
Joonis 7.4 Koht 1 Suuna 2 tulemused, maasised leedvalgustid väljalülitatud (luksides) (autori koostatud)

Koht 2. Tänav kahe-suunalise liiklusega. Ülekäik ohutusaarega

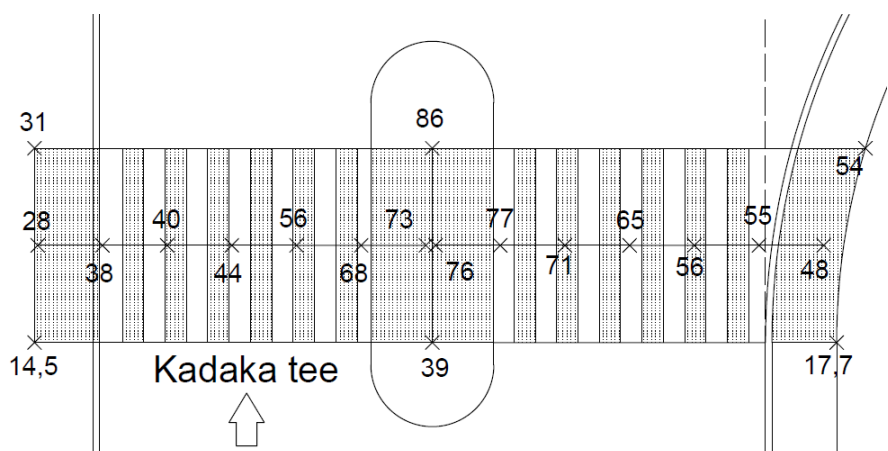
Laius 3 meetrit

Pikkus 12,4 meetrit

Ohutusaare laius 1,9 meetrit



Joonis 7.5 Koht 1 Suuna 1 tulemused (luksides) (autori koostatud)



Joonis 7.6 Koht 1 Suuna 1 tulemused (luksides)(autori koostatud)

9. Valgustustiheduse hälbed

Paigaldiste sisselülitusaeg	Mõlema paigaldise sisselülitusaeg 20.48		
Mõõtmiste alustamise aeg	Raja 15: 21.57, Akadeemia tee 62: 23.06		
Koht 1 – sisselülitatud pinnasisene LED		Suund 1	Suund 2
	Keskmine valgustustihedus mõõtmiste ajal Ëv	32 lx	21 lx
	Hooldeväärtus keskmine	26 lx	16,6 lx
	Minimaalne valgustustihedus Ev min	9,73 lx	7,53 lx
	Hooldeväärtus minimaalne	7,78 lx	6,02 lx
Koht 1 – väljalülitatud pinnasisene LED	Keskmine valgustustihedus mõõtmiste ajal Ëv	30 lx	19,3 lx
	Hooldeväärtus keskmine	24 lx	15,4 lx
	Minimaalne valgustustihedus Ev min	9,22 lx	6,62 lx
	Hooldeväärtus minimaalne	7,38 lx	5,30 lx
Koht 2	Keskmine valgustustihedus mõõtmiste ajal Ëv	33 lx	53 lx
	Hooldeväärtus keskmine	26 lx	43 lx
	Minimaalne valgustustihedus Ev min	12,4 lx	14,5 lx
	Hooldeväärtus minimaalne	9,94 lx	11,6 lx

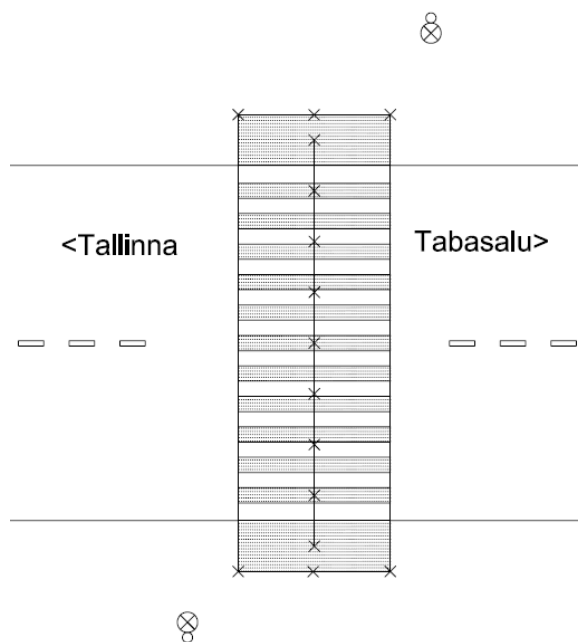
LISA 2 - Mõõteprotokoll 2

1. Üldandmed

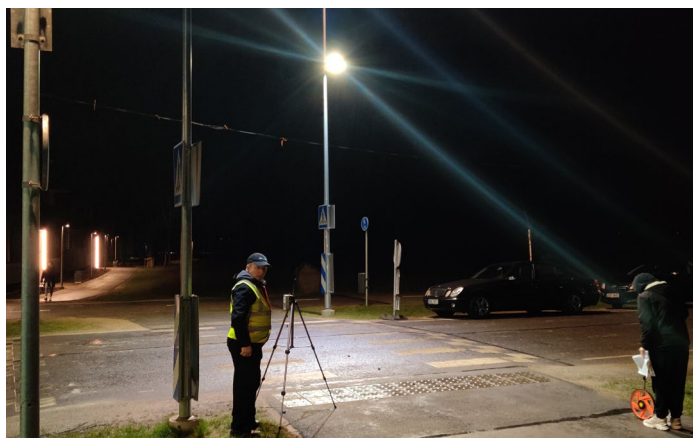
Teeosa nimetus	Mõõteranna tee 1 A
Mõõtmise eesmärk	Vertikaalne valgustustihedus
Mõõtmiste kuupäev	25.04.2023
Alguse ja lõpu kellaeg	22.10-22.38
Mõõtmisel osalenud isikud	Aleks Lõbu Toivo Varjas

2. Geomeetrilised andmed

Tänavaja ümbruse joonis koos valgustite mõõtmete ja paigutusega. Rajatise fotod.



Koht 3 - Mõisaranna tee 1A



3. Teepinna andmed

	Koht 3
Teepinna tüüp	Asfalt
Teepinna seisundi vaatlusandmed	Märg

4. Lampide ja valgustite andmed

	Koht 3
Valgusti tüüp	Leedvalgusti
Ülekäigu valgusti (pilt olemasolul)	
Nimetus	Philips BGP 281 LED 60-4S/757
Paigaldusaasta	2022

5. Keskkonnaolud

Ümbruseolud mõõtmistel	Koht 3, Mõisaranna tee 1 A
Temperatuur	(10.7 ± 0.1) °C
Niiskus	(57.3 ± 0.1) %

6. Rajatise seisund

	Koht 3
Kõrvaline valgus	Tänavavalgustus

7. Mõõteriistad

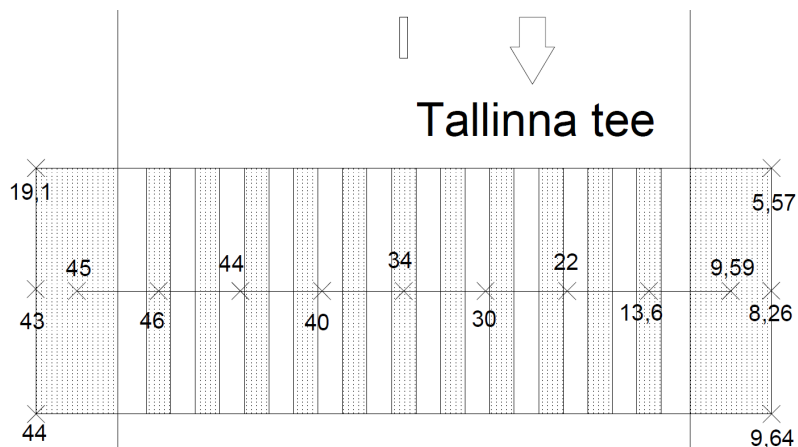
Mõõdetav teostatud Mõõteriisa liik	Valmistaja	Tüüp	Number	Hooldus ja kontroll teostatud	Kalibreerimis-tegurid arvesse võetud
Vertikaalne valgustustihedus	Gigahertz optik GmbH	BTS-256EF	17384M	JAH	JAH

8. Hindamisväli

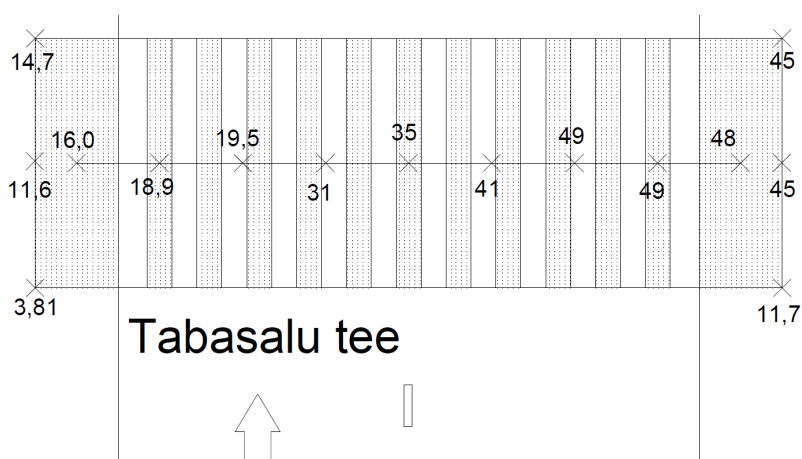
Koht 3. Tänav kahe-suunalise liiklusega.

Laius 4 meetrit

Pikkus 7 meetrit



Joonis 7.7 Koht 3 Suuna 1 tulemused (autori koostatud)



Joonis 7.8 Koht 3 Suuna 2 tulemused (autori koostatud)

9. Valgustustiheduse hälbed

Mõõtmiste alustamise aeg	Koht 1: 22.10		
Koht 3		Suund 1	Suund 2
	Keskmine valgustustihedus mõõtmiste ajal Ēv	28 lx	29 lx
	Hooldeväärtus keskmine	22 lx	24 lx
	Minimaalne valgustustihedus Ev min	5,57 lx	3,81 lx
	Hooldeväärtus minimaalne	4,46 lx	3,05 lx

LISA 3 - Dialux Evo Mektory simulatsioonide tulemused

Mudel 1 – referentsmudeli väärtused (simulatsioonimudeli tulemus ilma tänava- valgustuse mõjuta)		Suund 1	Suund 2
	Keskmine valgustustihedus mõõtmiste ajal Ëv	13,3 lx	14,4 lx
	Hooldeväärtus keskmine	10,6 lx	11,5 lx
	Minimaalne valgustustihedus Ev min	5,57 lx	5,04 lx
	Hooldeväärtus minimaalne	4,46 lx	4,03 lx
Mudel 2 – originaalsed lisavalgustid koos muudetud valgusmastide asetusega	Keskmine valgustustihedus mõõtmiste ajal Ëv	31 lx	33 lx
	Hooldeväärtus keskmine	25 lx	26 lx
	Minimaalne valgustustihedus Ev min	9,33 lx	7,90 lx
	Hooldeväärtus minimaalne	7,46 lx	6,32 lx
Mudel 3 – võimsamad lisavalgustid koos muudetud valgusmastide asetusega	Keskmine valgustustihedus mõõtmiste ajal Ëv	37 lx	39 lx
	Hooldeväärtus keskmine	30 lx	31 lx
	Minimaalne valgustustihedus Ev min	11,3 lx	9,49 lx
	Hooldeväärtus minimaalne	9,04 lx	7,59 lx