



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Tänavavalgustite disainist tulenev ökoloogiline valgusreostus

Magistritöö

Juhendajad: Kai Kalda, MSc

Tiit Lepasaar, MSc

Üliõpilane Jane Lees

144288NAEM

Üliõpilase meiliaadress jresev@gmail.com

Õppekava nimetus Tööstusökoloogia

Tartu 2017

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev magistritöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli magistrikraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

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

.....

Kuupäev

.....

Allkiri

Sisukord

Jooniste loetelu	5
Tabelite loetelu	7
Sissejuhatus	8
1 Ülevaade kirjandusest.....	10
1.1 Mis on valgus.....	10
1.2 Mis on valgusreostus	10
1.2.1 Valgusreostuse allikad.....	11
1.3 Kuidas valgus otseselt häirib	13
1.4 Valgustite üledimensioneerimine	14
1.5 Valgusreostuse mõju inimesele ja muule loodusele	15
2 Materjal ja meetodika.....	18
3 Tulemused	23
3.1 Madalate tänavavalgustite mõõtmistulemused.....	23
3.1.1 Hard Metal mõõtmistulemused	23
3.1.2 IJB Indal mõõtmistulemused.....	25
3.1.3 „Tartu“ mõõtmistulemused	27
3.1.4 Glob Gewiss mõõtmistulemused.....	29
3.1.5 Thorn Jarnkonst Glob 8363 mõõtmistulemused.....	31
3.2 Kõrgete tänavavalgustite mõõtmistulemused.....	34
3.2.1 IVC Indalux mõõtmistulemused.....	34
3.2.2 MYRA mõõtmistulemused.....	36
3.2.3 Philips Luma mõõtmistulemused	37
4 Arutelu.....	40
4.1 Madalate tänavavalgustite võrdlus	40
4.1.1 Võrdlus esimese telje põhjal.....	40
4.1.2 Võrdlus teise telje põhjal	41
4.1.3 Võrdlus kolmanda telje põhjal.....	43
4.1.4 Võrdlus neljanda telje põhjal.....	44
4.1.5 Järeldused	45
4.1.6 Soovitused	46
4.2 Kõrgete tänavavalgustite võrdlus	47
4.2.1 Võrdlus esimese telje põhjal.....	47

4.2.2 Võrdlus teise telje põhjal	48
4.2.3 Võrdlus kolmanda telje põhjal.....	49
4.2.4 Võrdlus neljanda telje põhjal.....	51
4.2.5 Järeldused	52
4.2.6 Soovitused	53
Kokkuvõte	54
Summary.....	56
Tänuõnad.....	58
Kasutatud kirjandus	59
LISAD	62
Lisa 1	63
Lisa 2	67
Lisa 3	71

Jooniste loetelu

Joonis 1. Öised tuled Euroopas 1992. ja 2010. aastal (Euroopa Kosmoseagentuur, 2012)	12
Joonis 2. Ökoloogilise ja astronoomilise valgusreostuse erinevused (Longcore & Rich, 2004).....	13
Joonis 3. Mõõdistamissuunad ühemeetrise sammuga ümber valgusti. Keskpunktiks on valitud punkt võimalikult valgusti all.....	20
Joonis 4. Luksmeeter Testo 545 valgussensori kinnitus kõndimiskepil.....	21
Joonis 6. Ühemeetrise sammuga "A-täht", millega tagatakse luksmeetriga teostatud mõõtmiste konstantne ja kindel vahemaa üksteisest	22
Joonis 7. Kõrgrõhunaatriumlambi Hard Metal valgusjaotus aadressil Pargi 2, Elva.....	24
Joonis 8. Kõrgrõhunaatriumlambi Hard Metal valgusjaotus aadressil Pargi 2, Elva neljal eri teljel.....	25
Joonis 9. Metallhaliidlambi IJB Indal valgusjaotus aadressil Nooruse 7, Tartu	26
Joonis 10. Metallhaliidlambi IJB Indal valgusjaotus neljal teljel.....	27
Joonis 11. Kõrgrõhunaatriumlambi „Tartu“ valgusjaotus aadressil J. Liivi 2, Tartu.....	28
Joonis 12. Kõrgrõhunaatriumlambi „Tartu“ valgusjaotus neljal teljel	29
Joonis 13. Piimja klaasiga pallikujulise valgusti Glob Gewiss valgusjaotus Toomemäe pargis	30
Joonis 14. Piimja klaasiga pallikujulise kõrgrõhunaatriumlambi Glob Gewiss valgusjaotus Toomemäe pargis neljal teljel.....	31
Joonis 15. Selge klaasiga pallikujulise naatriumhaliidvalgusti Thorn Jarnkonst valgusjaotus Toomemäe pargis	32
Joonis 16. Selge klaasiga pallikujulise valgusti Thorn Jarnkonst valgusjaotus neljal teljel	33
Joonis 17. Kõrgrõhunaatriumlambi IVC Indalux valgusjaotus aadressil Kesk 38, Elva	34
Joonis 18. Kõrgrõhunaatriumlambi IVC Indalux valgusjaotus neljal teljel	35

Joonis 19. Kõrgrõhunaatriumlambi MYRA valgusjaotus aadressil Tamsa tee 6, Elva .	36
Joonis 20. Kõrgrõhunaatriumlambi MYRA valgusjaotus neljal teljel	37
Joonis 21. LED-valgusti Philips Luma valgusjaotus Muuseumi tee, Tila küla, Tartu vald	38
Joonis 22. LED-valgusti Philips Luma valgusjaotus neljal teljel Muuseumi tee, Tila küla, Tartu vald.....	39
Joonis 23. Madalate tänavavalgustite võrdlus esimese telje põhjal.....	40
Joonis 24. Madalate tänavavalgustite võrdlus teise telje põhjal.....	42
Joonis 25. Madalate tänavavalgustite võrdlus kolmanda telje põhjal	43
Joonis 26. Madalate tänavavalgustite võrdlus neljanda telje põhjal.....	44
Joonis 27. Kõrgete tänavavalgustite võrdlus esimese telje põhjal.....	47
Joonis 28. Kõrgete tänavavalgustite võrdlus teise telje põhjal	48
Joonis 29. Kõrgete tänavavalgustite võrdlus kolmanda telje põhjal	49
Joonis 30. Kõrgete tänavavalgustite võrdlus neljanda telje põhjal.....	51

Tabelite loetelu

Tabel 1. Öise tehisvalguse mõjud (Potthards & Wukovitsch, 2015)..... 16

Tabel 2. Valgustite tüübid ning asukohad 18

Sissejuhatus

Valgusreostus on globaalne keskkonnaprobleem, mida iseloomustab peamiselt öötaeva loomulikust tasemest heledam tase ning mis mõjutab inimesi ja elusloodust negatiivselt. Valgusreostust põhjustavad mitmed erinevad tehisvalgusallikad, mille valgus on suunatud aladele, kus valgust vaja pole. Üheks valgusreostuse allikaks peetakse tänavavalgustust, mis on muutunud arenenud linnaühiskonna lahutamatuks osaks ning mille puudumist koheselt märgatakse.

Seni on peamiselt uuritud ning tähelepanu pööratud tänavavalgustuse energiasäästlikkusele ja/või majanduslikule kulule. Samamoodi on rohkelt tähelepanu saanud astronoomiline valgusreostus, mille mõju on tavapärasest heledama öötaeva tõttu kerge ka tavainimesel näha. Astronoomilise valgusreostuse ja tänavavalgustuse vaheliste seoste uurimiseks on ka Eestis tehtud katseid, kus osaliselt asulas tänavavalgustus öistel tundidel välja lülitatakse ning seejärel hinnatakse taevaheledust erinevate skaalade põhjal (TTÜ, 2012). Lisaks on mitmed (välismaa) teadlased uurinud ökoloogilise valgusreostuse mõju teatud looma-, linnu- või putukaliikide rändele või pesitsemisele, kuid seni on uurimata jäänud valgustatuse levikuala (sh ka ökoloogilise valgusreostuse) ümber tänavavalgustite, sest tihti valgustavad tänavavalgustid ka ala, kus öisel ajal lisavalgust vaja pole.

Töö teema valikul sai otsustavaks valgusreostuse, täpsemalt liigvalgustatuse levik tänavavalgustist töö autori elukoha akendest majja sisse. Tänavavalgusti ei asu majast paari meetri kaugusel nagu on võimalik näha mõnes kohas suuremates asulates. Maja paikneb enam kui 8 m kaugusel valgusti taga, mistõttu tekkis huvi uurida, kui kaugelt valgusti taha levib valgus ka teiste valgustitüüpide puhul.

Antud magistr töö eesmärk on uurida, millist mõju ökoloogilisele valgusreostusele omab tänavavalgustite disain ning võimalusel ka lambitüüp. Eeldatakse, et valgustidisain ja lambitüüp mõjutavad oluliselt valgustatust. Nimelt kinnise disainiga LED-valgusti valgustab teepinda ühtlasemalt ning valgusti taha jõuab vähem valgust kui sarnaste kõrgrõhunaatriumlampide puhul. Samamoodi eeldatakse, et avatud optikadisainiga valgustitel on suurem mõju ökoloogilisele valgusreostusele kui suletud optikaga valgustitel.

Magistritöö koostamiseks valiti kolm tänavavalgustit Elva linnast ning viis Tartu linnast. Elva linna tänavavalgustid said valitud, kuna töö autor elab mainitud linnas ning Tartu linna valikul sai määravaks asjaolu, et selles linnas on rohkem erinevaid valgustitüüpe kui väiksemas Elva linnas. Eesmärgi saavutamiseks mõõdetakse luksmeetriga iga valgusti ümber kaheksas suunas kindlal kõrgusel ja kindla vahemaa tagant valgustatuse taset. Tulemused kantakse tabelisse, mille põhjal koostatakse valgusjaotuse kohta illustratsioonid ning graafikud.

Käesoleva magistritöö esimeses peatükis tutvustatakse valgusreostuse mõistet ning erinevaid valgusreostuse tüüpe. Lisaks antakse lühike ülevaade võimalikest valgusreostuse allikatest ning valgusreostuse mõjust nii inimesele kui ülejäänud elusloodusele.

Teises peatükis tutvustatakse antud magistritöö tulemuste saamiseks rakendatud materjali ning meetodikat. Selle peatüki raames tuuakse välja kõik töö raames mõõdetud tänavavalgusti tüübid ning mõõtmise meetoodika.

Antud magistritöö kolmandas peatükis on välja toodud tänavavalgustite valgustatuse mõõtmistulemused nii illustreeritud kui graafilisel kujul. Iga valgustitüübi kohta on koostatud joonis ja graafik.

Neljandas peatükis analüüsitakse eraldi kahes grupis madalamaid ja kõrgemaid tänavavalgusteid. Võrdlusesse on kaasatud nii tulemuste peatükis välja toodud illustratsioonid kui ka arvulised võrdlused. Kuna valgustatuse tase sõltub mitmetest erinevatest asjaoludest, pidas töö autor parimaks lahenduseks leida võrreldavaks suuruseks valgustatuse protsentuaalne osakaal keskpunkti valgustatuse suhtes.

Tööl on kolm lisa, mis on jagatud kolme gruppi. Esimeses lisas on magistritöö koostamiseks valitud tänavavalgustite asukohtade kaardipildid. Teises lisas on võimalik näha kõiki kaheksat tänavavalgustitüüpi nii pimedal kui valgel ajal. Mõõtmistulemusi on võimalik täpsemalt tabelite kujul näha lisas kolm.

1 Ülevaade kirjandusest

1.1 Mis on valgus

Valguseks loetakse elektromagnetlained, mis silma langedes tekitavad valgusaistingu. Laiemas tähenduses nimetatakse valguseks ka ultraviolet- ja infrapunakiirgust. (Aro jt, 1998)

Luks on valgustatuse ehk valgustustiheduse ühik SI-süsteemis, mille aluseks on valgustatavale pinnale suunduv valgusvoog ning mille tähis on lx. Pinna valgustatus on 1 lx, kui pinna 1 ruutmeetrile langeb valgusvoog 1 lumen.

Valgustustiheduse orienteerivaid väärtusi (lx) (Altpere, 1981):

- suvisel päikesepaistelisel, selge taevaga keskpäeval väljas rõhtpinnal	10 ⁵
- sama, talvel	10 ⁴
- suviselt päikesepaistelisel keskpäeval põhjapoolse akna juures	10 ³
- lahtise 100 W hõõglambiga 1,3 m kauguselt valgustataval pinnal	100
- minimaalne valgus lugemiseks	10
- minimaalne teede valgustus	1
- kuuvalgus maapinnal	0,2

1.2 Mis on valgusreostus

Valgusreostus ehk valgussaaste on tehisvalguse tõttu loomuliku valgustaseme soovimatu muutumine öises keskkonnas (Falchi jt, 2011; Cinzano ja Falchi, 2014; Gallaway jt, 2010; TTÜ, 2012; Hollan, 2009; Morgan-Taylor, 2015), mis häirib ja/või mõjutab inimesi ja loodust negatiivselt (TTÜ, 2012; Hollan, 2009). Kusjuures tegemist pole ainult taevatausta muutusega vaid ka atmosfäärilise ja keskkonnareostusega (Cinzano ja Falchi, 2014; Hollan, 2009), millega kaasneb elektrienergia asjatu kulutamine (Gallaway jt, 2010). Cinzano jt. (2001) andmeil oli juba 2001. aastal näha, et ligikaudu kaks kolmandikku maailma rahvastikust ning 99% Euroopa Liidu ning USA elanikest elab aladel, mille taeva heleduse tase öisel ajal ületab reostatuse piiri.

Valgussaaste puhul eristatakse peamiselt nelja tüüpi valgusreostust, milleks on (Lyytimäki, 2013; Luginbuhl jt, 2014; Morgan-Taylor, 2015):

- **taevakuma** (*sky glow*) – valgusreostuse tüüp, mis muudab öötaeva loomulikust heledamaks, valgemaks; Taevakuma tekib, kui maapinnalt ülespoole suunatud valgus peegeldub atmosfäärist tagasi (Kyba jt, 2011; Morgan-Taylor, 2015);
- **liigvalgustatus** (*light trespass* või *light intrusion*) – valgus, mis valgustab ala, kuhu valgus algselt polnud mõeldud;
- **räigus** ehk pimestav valgus (*glare*) – ümbritsevast eredam valgus, mis võib põhjustada nägemisraskusi ning halvendab esemete nähtavust;
- **ülevalgustatus** (*light clutter*) – ala üleliigne valgustamine mitmete valgustitega.

Valguse ja valgusreostuse juures tuleks arvestada mitmete aspektidega, nagu näiteks sotsiaalmajanduslikud, ökoloogilised ning füsioloogilised aspektid (Hölker jt, 2010). Ökoloogiliste ja füsioloogiliste aspektide näiteid on välja toodud peatükis 1.5 Valgusreostuse mõju inimesele ja muule loodusele. Sotsiaalmajanduslike aspektide hulka kuuluvad näiteks (Hölker jt, 2010):

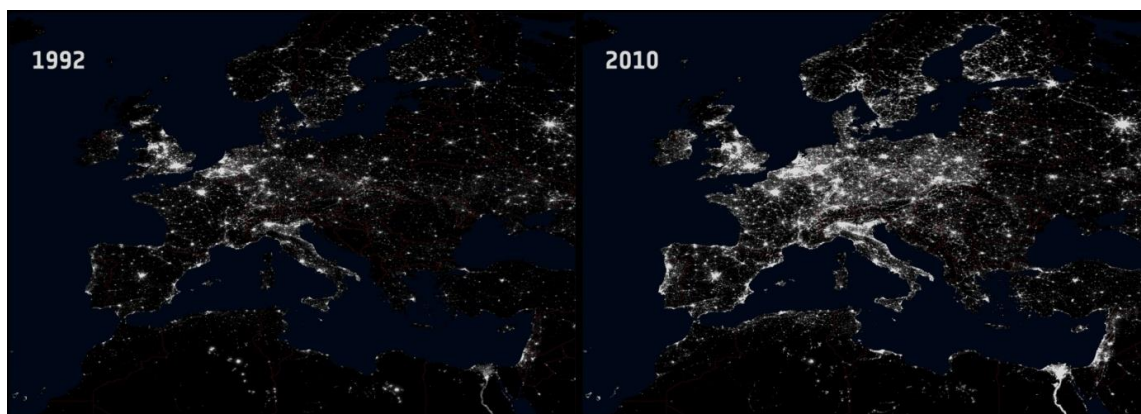
- valgus tekitab inimestes turvatunnet;
- õigesti valitud valgus aitab kaasa tööviljakuse kasvule;
- valgus võib muuta inimeste eluviisi tervislikumaks, kui inimesed julgevad valgustatud ala tõttu rohkem trenni teha.

1.2.1 Valgusreostuse allikad

Enamasti eeldatakse, et näiteks liiklusega seonduv valgus pimedal ajal on kasulik, kuna inimestel on tekkinud seos pimedal ning ohtude, kuritegude ja ebasoovitavuste vahel (Lyytimäki jt, 2012), mistõttu valgustatakse pimedal ajal üha rohkem piirkondi, kuigi selleks pole alati vajadust. Hoolimata väidetest, et valgustatud aladel toimub vähem kuritegusid, on uuringud näidanud, et valgustatuse tase ei vähenda kuritegude toimumise hulka (Marchant, 2004), vaid vähendab pigem inimestes kuritegude toimumise hirmu (Morgan-Taylor, 2015; Pottharst & Wukovitsch, 2015). Lisaks, kuna valgustamine ja valgusreostus on tihedalt seotud inimasustusega ja teiste inimtegevusest põhjustatud keskkonnastressoritega nagu näiteks füüsiline häiring, müra, keemiline reostus ja

elukohtade killustatus, pole tihti võimalik eristada ainult valgusreostusest tulenevat häiringut (Lyytimäki, 2013).

Ehkki astrofotode põhjal on juba 1990. aastate algusest olnud näha, et maailma valgusreostus suureneb (Joonis 1), ning on võimalik hinnata erinevate pinnakatete ja taevakehade eredusest tulenevaid erisusi, on astrofotode põhjal keeruline hinnata kindlat valgusreostuse allikat (Kuechly jt., 2012). Kuigi öisel ajal satelliitidelt tehtud kujutistelt paistab, et valgusreostus on koondunud pigem arenenud riikidesse ning suurte linnade ümbrusesse, mõjutab linnadest tulenev valgusreostus ka näiliselt tumeda taevaga alasid (Cinzano, 1999; Cinzano jt, 2001).



Joonis 1. Öised tuled Euroopas 1992. ja 2010. aastal (Euroopa Kosmoseagentuur, 2012)

Aubé ja Roby (2014) andmeil on peamiseks valgusreostuse allikaks tänavavalgustid, valgustatud reklaamplakatid ning valgustatud hooned. Kuechly jt. (2012) leidsid, et tänavavalgustus tingib ligikaudu poole valgusreostusest. Niinimetatud avatud optikaga (nt laternad ja kerakujulised valgustid) valgustid, mille valgus pääseb kergemini ülespoole, on suuremaks valgusreostuse allikaks kui niinimetatud äralõigatud disainiga (*cut-off design*) valgustid (Di Sora, 1999).

Ameerika Ühendriikides Flagstaffi linnas tehtud uuringu põhjal moodustas antud linna taevakumast spordiväljakute valgustus – kui spordiväljakute valgustus oli sisse lülitatud, moodustas see kolmandiku linna taevakumast. Kui mainitud valgustus pole sisse lülitatud, panustavad enim taevakumasse kaubandus (53%), elamupiirkonnad ((k.a. kortermajad)(14%)), teed (12%) ning tööstuslik valgustus (9%). (Luginbuhl jt, 2009) Tõenäoliselt on siinjuures seos valgustite kaldenurgaga – kui sümmeetriline valgusti on

paigaldatud suurema kui 30-kraadise nurga all või kui asümmeetriline valgusti on paigaldatud suurema kui 0-kraadise nurga all, pääseb rohkem valgust ülespoole kui neid põhimõtteid järgides (Di Sora, 1999). Samas ei tohiks unustada, et omamoodi on valgusreostuse allikaks ka liiklus (Lyytimäki jt, 2012).

Mitmed teadlased (Morgan-Taylor, 2015; Pottharst & Wukovitsch, 2015) on maininud, et valgussaaste juures pole probleemiks niivõrd valgus ise, kuivõrd just kehvast valgustite disainist tingitud valguse suunamine aladele, kuhu valgust ei soovita.

1.3 Kuidas valgus otseselt häirib

Lisaks sellele, et valgusreostust on nelja tüüpi, eristatakse veel omavahel erineva mõjuga astronoomilist ja ökoloogilist valgusreostust (Joonis 2).



Joonis 2. Ökoloogilise ja astronoomilise valgusreostuse erinevused (Longcore & Rich, 2004)

Astronoomiliseks valgusreostuseks loetakse valgusreostust, mis häirib peamiselt inimesi taevakehade vaatlemisel (Hollan, 2009; Longcore & Rich, 2004). Astronoomilist

valgusreostust põhjustab taevasse suunatud või peegeldunud valgus (Longcore & Rich, 2004).

Ökoloogiline valgusreostus hõlmab endas pidevat või perioodilist suurenenud valgustatust, ootamatuid muutuseid valgustatuses ning valgustusest tulenevat räigust. Ökoloogilise valgusreostuse allikateks võib lugeda taevakuma, valgustatud hooneid ning torne, tänavavalgusteid, kalastuslaevu, turvatulesid, sõidukite tulesid ning isegi allveelaevade tulesid – kõik need allikad mõjutavad ökosüsteeme ühel või teisel moel. (Longcore & Rich, 2004) Ökoloogilise valgusreostuse mõjudest on täpsemalt kirjutatud peatükis 1.5 Valgusreostuse mõju inimesele ja muule loodusele.

1.4 Valgustite üledimensioneerimine

Ligikaudu kolmveerand taevakumast on põhjustatud otse valgustitest tulenevast valgusest, mis on kas tahtlikult või tahtmatult ülespoole suunatud. Vaid veerand taevakumast tuleb maapinnalt peegeldunud valgusest. (Falchi, 2011) Teedelt peegeldub paremini tagasi suurema lainepikkusega valgus, kehvemini madala lainepikkusega valgus ehk teisisõnu lampide, mille valgus on pigem suure lainepikkusega (nagu nt madal- ja kõrgrõhunaatriumlambid), valgus peegeldub teekattematerjalilt paremini tagasi. (Falchi jt, 2011) Pilved võimendavad tehisvalguse peegeldumist maalt taevasse, näiteks Berliinis on pilvistel öödel taevas 10,1 korda heledam kui selgetel, pilvitutel öödel (Kyba jt, 2011).

Lisaks maapinna peegeldumisele ning valgustitest ülespoole pääsevale valgusele, tuleks arvestada ka valguse värvusega. Nimelt on leitud, et kui võrrelda sama valgustatuse tasemega valgusteid, siis sinise alatooniga (nn valge valgusega) valgustid, nagu nt metallhaliid- ja LED-valgustid, muudavad taevast kuni 8 korda heledamaks kui madalrõhunaatriumlambid ja 3 korda heledamaks kui kõrgrõhunaatriumlampide puhul (Luginbuhl jt, 2014).

Kuigi valguse intensiivsuse mõõtmisel kasutatakse reeglina mõõtühikuna SI-ühikut lx, ei anna antud ühik edasi bioloogiliselt tähtsat informatsiooni. Näiteks kõrgrõhunaatriumlambid meelitavad UV-kiirguse lainepikkuse tõttu ligi ööliblikaid, samas sama intensiivse valgustasemega töötavatel madalrõhunaatriumlampidel antud lainepikkus puudub. (Longcore & Rich, 2004)

Merkeli ja Johanseni (2014) hinnangul tuleks investeerida valgustitesse, mille valguse lainepikkusel on vähe punast ja rohkem rohelist lainepikkust. Falchi jt. (2011) soovivad valgusreostusest põhjustatud inimeste ja loomade terviseriskide vähendamiseks keelustada välisvalgustid, mille valguse lainepikkus on väiksem kui 540 nm. Nende hinnangul võiks alumiseks piiriks seada kõrgrõhunaatriumlambid, mille valgusspekter on sobivas vahemikus.

Aubé ja Roby (2014) katsete põhjal on näha, et kui vahetada välja n-ö kobrapeaga lambid lampide vastu, mille valgus ei paista ülespoole, ning vähendada lampide võimsust keskmiselt 40% võrra on võimalik vähendada taevakuma kuni poole võrra.

Lisaks oleks hea valgustid välja lülitada, kui valgust mingil ajaperioodil vaja pole, sest näiteks linde meelitab ligi just valgusallikas, mitte valgustatud pind (Merkel ja Johansen, 2011; Lyytimäki jt, 2012). Teise lihtsa abivahendina, mille teostamiseks on vaja muuta vaid käitumist mitte tehnilisi aspekte, tuleks valgust suunata vaid soovitud alale (Lyytimäki jt, 2012). Peña-García jt. (2015) märgivad, et suurele hulga valesti dimensioneeritud ning suunatud valgusele on eelistatum pigem väiksem valgustatuse hulk, mis on suunatud õigesse kohta.

1.5 Valgusreostuse mõju inimesele ja muule loodusele

Loomulikus öises keskkonnas on valgustatuse tase palju madalam kui tehisvalgusega aladel. Näiteks pilves ilmaga on tavaliselt valgustatus 5×10^{-5} lx, selge, pilvitu ja kuuta taeva korral on valgustatuse tase kuni 1×10^{-4} lx, poolkuu korral kuni 2×10^{-2} lx ning täiskuu puhul kuni 0,1–0,3 lx. Samas on tüüpilise ostukeskuse valgustatus 10–20 lx, mis tähendab, et loomulikus täiskuuga looduskeskkonnas on taimedele ja loomadele mõjuv öine valgustatuse tase kuni 200 tuhat korda madalam kui tüüpilises ostukeskuses. (Falchi jt, 2011)

Öise tehisvalguse mõjud võib jagada kolme kategooriasse, milleks on kasud, kahjud ning (hetkel veel) ebaselged mõjud (Tabel 1).

Tabel 1. Öise tehisvalguse mõjud (Potthards & Wukovitsch, 2015)

Öise tehisvalguse kasulikud mõjud	Öise tehisvalguse ebaselged mõjud	Öise tehisvalguse poolt tekitatavad kahjud ja kulud
Öiste tegevuste võimaldamine	(Suurenenud) turvalisus seoses kuritegude vähenemisega	Valguse ja energia raiskamine
Valgustusdisaini poolt lisatud väärtus linnamaastikule		Öisel ajal pole enam näha tähistaevast
Liiklusohutuse suurendamine	(Negatiivne) mõju inimtervisele	Negatiivne mõju taimestikule, loomastikule ning ökosüsteemidele
Inimeste suurenenud turvatunne		Valgustite rägusest tingitud nähtavuse vähenemine

Seoses valgusreostuse kui globaalse keskkonnaprobleemi teadvustamisega, on tehtud ka mitmeid teaduslikke uuringuid selle kohta, kuidas valgusreostus mõjutab eluslooduse bioloogilisi rütme. Järgnevalt on toodud selle kohta mõned näited:

- Taevasse suunatud valgus pimestab ning eksitab/desorienteerib linde rändeperioodi ajal (Longcore & Rich, 2004). Lisaks on Gröönimaa rannikul tehtud uuringute põhjal tõestatud, et halva nähtavuse korral meelitab kalalaevade valgustus lindusid ligi ning linnud võivad lendamise ajal tabada laevu ning nii hukkuda (Merkel ja Johansen, 2011).
- Öine tehisvalgus mõjutab ka laululindude, näiteks hariliku sinitihase sigimist – asulates tänavavalgustite läheduses pesitsevad emased sinitihased hakkavad metsas pesitsevatest sinitihastest keskmiselt poolteist päeva varem munema; asulaservades tehisvalgustusega aladel pesitsevad sinitihase isaslinnud hakkava metsaaladel pesitsevatest sinitihase isaslindudest varem paarilist otsima ning neil on kaks korda suurem tõenäosus leida paariline, kellega saada järglasi kaks korda. (Kempnaers jt, 2010)
- Portugali uurimismeeskond on tõestanud, et kuigi tehisvalgus suurendab pikajalgsete rannikulindude võimalusi toitu otsida pimedal ajal suuremalt alalt, on sellel ka negatiivsed tagajärjed. Näiteks võib sellega väheneda kohalik selgrootute populatsioon talvisel perioodil ning lisaks võivad neid linde ohustada suuremad saasteainete kogused, kuna linnud kogunevad linnaaladele lähemale. (Santos jt, 2010)

- Rannikulinnadest tulev valgus eksitab ka kalu nende rände ajal ning võib esile kutsuda planktoni populatsiooni vähenemise. (Moore jt., 2000)
- Valgustitega kaasnevad valguse lühemad lainepikkused, eriti UV-kiirgus, mis meelitavad ligi putukaid nagu näiteks ööliblikaid, kes valgustite ümbruses lennates üleväsimusest hukuvad. Seda on võimalik vältida, kui kasutada valgusteid, mille töö käigus ei eraldu putukate jaoks atraktiivset lainepikkust. (Verovnik jt, 2015)
- Valgusreostus mõjutab putukaid nende paaritumisajal, mil nad peavad paaritumiseks läbima pikki vahemaid, kuid nad ei saa läbida linnades olevat „valgusbarjääri“. Valgus meelitab putukaid ligi ning nad ei liigu enam valgustatud punktist edasi. (Longcore & Rich, 2004)
- Kuigi tänavavalgustus meelitab ligi putukaid ning võiks arvata, et nii leiavad putukatest toituvad nahkhiired kergemini toitu, on katsed tõestanud, et valgustus hoopis peletab nahkhiiri ka nende tavapärasest pesitsemis- ja toidu otsimise koha vahel olevast teekonnast eemale. (Stone jt, 2009)
- Sinise valgusega valgustid vähendavad inimorganismis öösel magamise ajal melatoniini tootmist, mistõttu suureneb unetus, stress ning ka risk haigestuda näiteks diabeeti või vähki (Falchi jt, 2011; Morgan-Taylor, 2015). American Medical Association (2016) on lisanud eelmainitud probleemidele ka seose öise valge valgusega tehisvalguse ja ülekaalulisuse vahel.
- Iisraelis tehtud uuringute põhjal oli naistel, kes elavad öise tehisvalgustusega aladel, 73% suurem tõenäosus haigestuda rinnavähki. Harvardis tehtud uuringu põhjal on vähemalt 15 aastat öövahtuses tööd teinud medõdedel 35% võrra suurem risk haigestuda soolevähki. (Chepesiuk, 2009)
- Kuna taimed vajavad kasvamiseks nii kui nii valgust, ei mõjuta valgusreostus neid nii intensiivselt kui teisi organisme. Kuid on tõestatud, et öisel ajal tänavavalgustitest pärinev tugev valgusreostus võib mõjutada tundlike taimede kasvu, arengut, õitsemist ning talvitumist. Näiteks kasvavad taimed sinaka, kuid mitte punase valguse suunas. (Briggs, 2006)

2 Materjal ja metoodika

Antud töö raames mõeldistatakse tänavavalgustusest tingitud valgusreostust, mis tuleneb peamiselt valgustite disainist ning lambipirmi tüübist, et oleks näha, kuidas tänavavalgustusest tulenev valgusreostus (täpsemalt: liigvalgustatus) sõltub otseselt just nendest kahest parameetrist. Lambipirnitüüpide koha pealt võrreldakse kõrgrõhunaatrium-, metallhaliid- ning LED-lampe, sest need kolm lambipirnitüüpi on hetkel tänavavalgustuses enim kasutatud. Vähestes kohtades on tänavapildis näha ka veel elavhõbedalampe, kuid neid sellesse töösse ei kaasatud, sest seda tüüpi lampide eluea lõppemisel asendatakse need elavhõbeda sisalduse tõttu teist tüüpi lampidega.

Töö jaoks on valitud valgustid, millel on erinevat tüüpi valguse suunamine sõltuvalt nende disainist (Tabel 2).

Tabel 2. Valgustite tüübid ning asukohad

Valgusti nr	Valgusti tüüp	Valgusti asukoht	Valgusti võimsus
1	Kõrge suletud optikaga kõrgrõhunaatriumlamp IVC Indalux	Kesk 38, Elva	150 W
2	Madal poolavatud optikaga kõrgrõhunaatriumlamp Hard Metal	Pargi 2, Elva (raudteejaama ees pargis)	70 W
3	Kõrge avatud optikaga kõrgrõhunaatriumlamp MYRA	Tamsa tee 6, Elva	150 W
4	Madal tüvikoonuse kujuga metallhaliidlamp IJB Indal	Nooruse 7, Tartu	70 W
5	Kõrge suletud optikaga LED-lamp Philips Luma	Muuseumi tee, Tila küla, Tartu vald	48 W
6	Madal poolavatud optikaga laternakujuline kõrgrõhunaatriumlamp Valumehaanika AS „Tartu“	J. Liivi 2, Tartu	70 W
7	Madal avatud optikaga pallikujuline piimja klaasiga kõrgrõhunaatriumlamp Glob Gewiss	Toomemäe park, Tartu	70 W
8	Madal avatud optikaga pallikujuline selge klaasiga metallhaliidlamp Thorn Jarnkonst Glob 8363	Toomemäe park, Tartu	70 W

Võrdlusesse on võetud kõrgemad kaherealisi autoteid valgustavad valgustid ning madalamad valgustid, mida kasutatakse peamiselt parkides või jalgteede servas. Valgustite täpsemad asukohad on välja toodud lisas 1, kusjuures eelnevas tabelis 2 välja

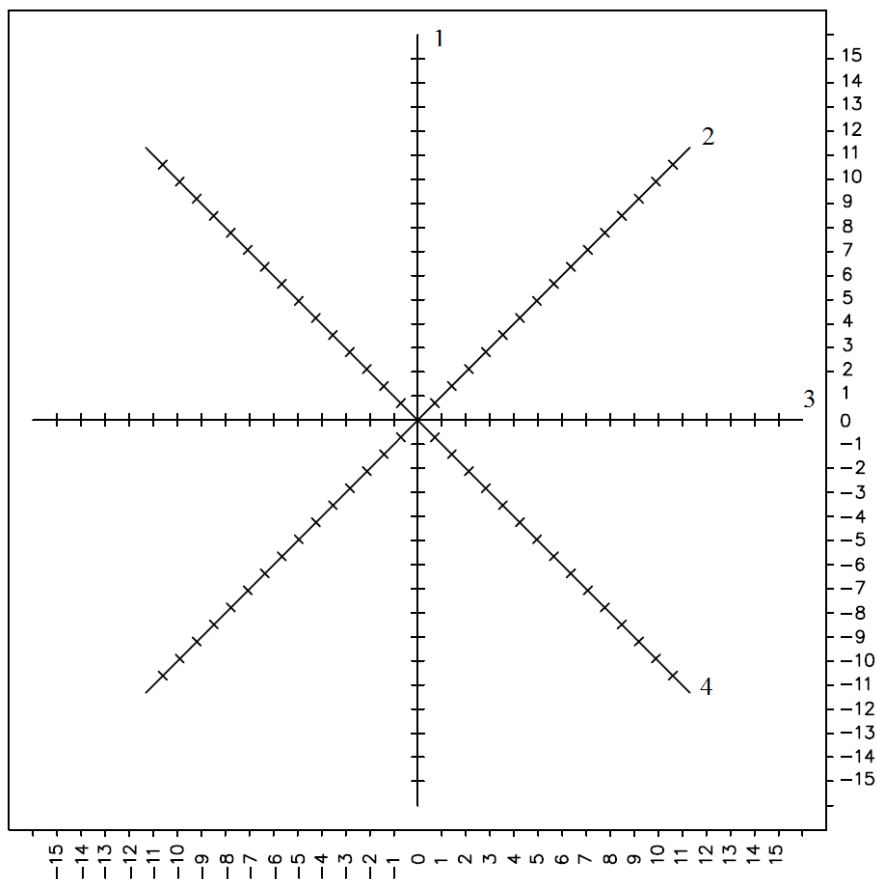
toodud järjekorranumbrid on vastavuses numbritega kaardipiltidel. Lisas 2 on kujutatud kõik valgustitüübid nii öisel kui päevasel ajal.

Töö peamine eesmärk pole leida kindlaid arvulisi väärtusi iga valgustitüübi kohta, vaid uurida, kuidas valgustidisein mõjutab maapinnani jõudvat valgust ja seeläbi ökoloogilist valgusreostust. Kindlad arvulised väärtused pole olulised, kuna see sõltub nii lambipirni kasutusse võtmise ajast kui ka näiteks lambiklaasi mustusest-puhtusest. Töö koostamisel eeldatakse, et tänavavalgustid on valmistatud ning püstitatud ühtsete standardite järgi, mistõttu teostatakse iga valgustitüübiga üks mõõtmine. Töö käigus võrreldakse erinevatest tänavavalgustitest tulenevat valgustatust linnatänaval.

Konkreetsete valgustite valikul olid määravaks see, et mõõdetaval alal ei mõjutaks mõõtmistulemusi ühegi teise tänavavalgusti valgus või omaks see minimaalset mõju, ning et mõõdetaval alal ei jääks mõõtmisalale ühtegi suuremat takistust (näiteks maja või puud). Lisaks arvestati sellega, et maapind oleks võimalikult tasane, et vähendada kõrgusvahedest tingitud muutuseid.

Tänavavalgustusest tuleneva valgushulga mõõtmisel on kasutatud luksmeetrit Testo 545, mille mõõtmispiirkond on vahemikus 0 ... 100000 lx ning mõõteviga $\pm 5\%$ (Testo SE & Co. KgaA, 2017).

Tänavavalgustusest tulenevat pimedat aja valgustatust mõõdetakse välistingimustes kaheksas suunas ümber tänavavalgusti ca 113 cm kõrgusel maapinnast. Kõrgemate tänavavalgustite puhul 15 m ning madalamate valgustite puhul 8 m raadiuses (Joonis 3). Nii kõrgemate kui madalamate tänavavalgustite puhul sai mõõtmisala raadiuse puhul otsustavaks valgustite vahemaa tänavatel. Selliste vahemaade puhul tagati läheduses paiknevate teiste valgustite minimaalne mõju mõõtmiste käigus saadud tulemustele.



Joonis 3. Mõõdistamissuunad ühemetrise sammuga ümber valgusti. Keskpunktiks on valitud punkt võimalikult valgusti all

Edaspidi viidatakse antud joonisel (Joonis 3) olevatele telgedele numbritega 1–4, kus 1 on vertikaalne telg ülevalt alla ning järgnevate telgede numbrid liiguvad päripäeva (tähistatud ka joonisel). Esimene telg oli mõõtmiste ajal teega paralleelne ning kulges mööda valgustipoolset teeserva. Kolmas telg oli mõõtmiste ajal teega risti, kusjuures graafikul olev plusspool asus valgusti ees ning miinuspool valgusti taga.

Selleks, et valgustite ümbert saadud mõõtmistulemused oleksid võrreldavad tavapärase öise valgustatusega, teostakse igal korral ka foonimõõdistamine alal, kuhu ei ulatu tänavavalgustist või mõnest teisest tehisvalgusallikast tulenev valgus. Kõrgemate valgustite puhul mõõdetakse foon 20 m, madalamate puhul 15 m kaugusel, et näha, milline on valgustatuse tase seal, kus laternaid pole.

Selleks, et tagada mõõtmise ajal luksmeetri konstantne kõrgus maapinnast, on valgussensor kinnitatud 111 cm kõndimisepi külge (Joonis 4).



Joonis 4. Luksmeeter Testo 545 valgussensori kinnitus kõndimiskepil

Kõndimiskeppi hoitakse mõõtmise ajal maapinnaga risti, et tagada luksmeetri valgussensori paralleelne asend võrreldes maapinnaga. Mõõtmise ajal valgussensorit valgusallika suunas ei kallutata.

Mõõtmiste teostamise ajal on mõõtja asend selline, et mõõtja vari ei langeks luksmeetri valgussensori pinnale. Luksmeetri ekraanil kuvatav tulemus kantakse ühemeetrise sammu järel tabelisse. Ühemeetrise vahemaa tagamiseks on kasutusel ühemeetrine n-ö A-tähe kujuline kaliiber (Joonis 5).



Joonis 5. Ühemeetrise sammuga "A-täht", millega tagatakse luksmeetriga teostatud mõõtmiste konstantne ja kindel vahemaa üksteisest

Mõõtmisel saadud andmete võrdlemisel grupeeritakse andmed kaheks – madalamate tänavavalgustite valgustatud ala ning kõrgemate tänavavalgustite valgustatud ala. Võrdlemisel võetakse arvesse seda, kuidas on valgus jaotunud ning selleks, et saaks erinevate lambipirnitüüpidega valgusteid omavahel võrrelda, kasutatakse võrreldava suurusena valgustatuse protsentuaalset osakaalu keskpunkti valgustatuse suhtes. Selleks jagatakse mõõtepunkti valgustatus keskpunkti valgustatusega. Mõlemast väärtusest on maha lahutatud fooni väärtus. Lukside arv sõltub lambipirni vanusest, laterna optika puhtusest ning vähesel määral ka ilmaoludest – kõiki neid muutujaid ei saa aga antud magistritöö vältel kontrollida, mistõttu võetaksegi võrdlusesse mõõtepunktide protsentuaalsed osakaalud keskpunkti valgustatusest.

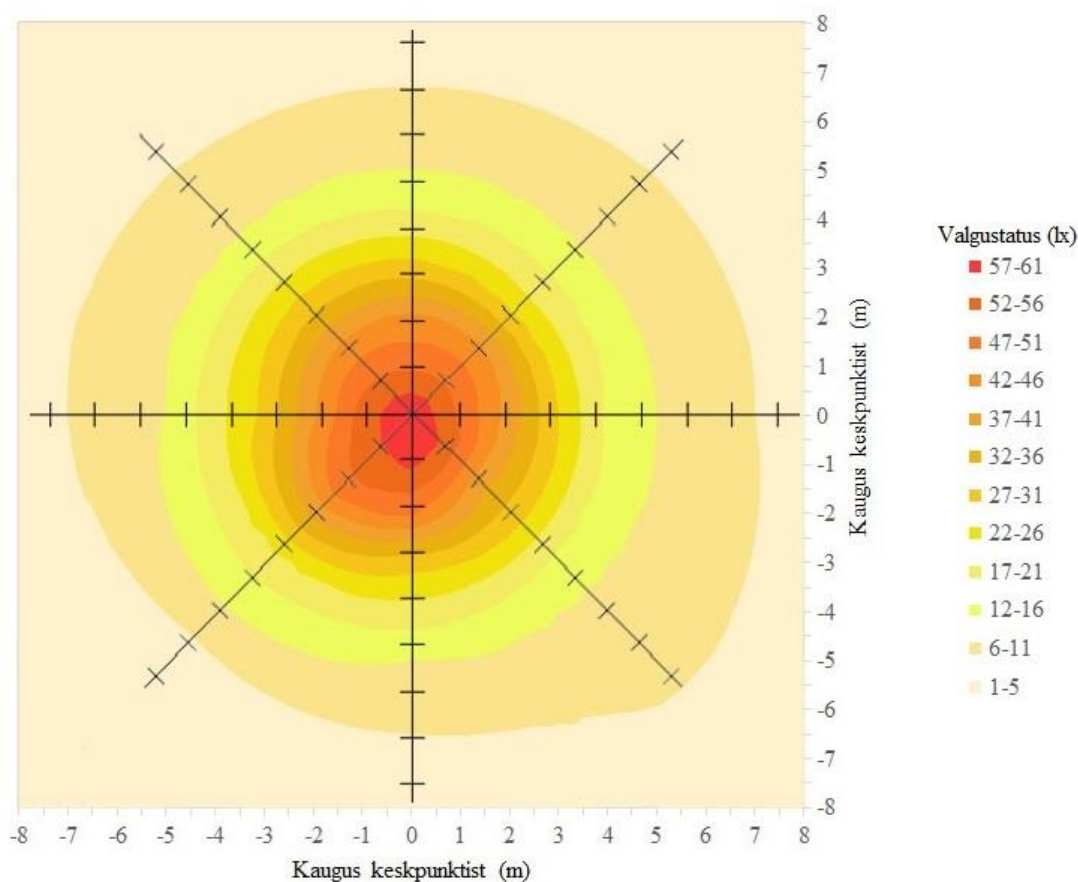
3 Tulemused

3.1 Madalate tänavavalgustite mõõtmistulemused

Madalaid tänavavalgusteid oli kokku viis erinevat tüüpi. Järgnevalt on välja toodud mõõtmistulemused nii illustreeritud kui graafilisel kujul. Iga lambitüübi jooniste juurde kuuluvad arvilised väärtused on välja toodud lisa 3.

3.1.1 Hard Metal mõõtmistulemused

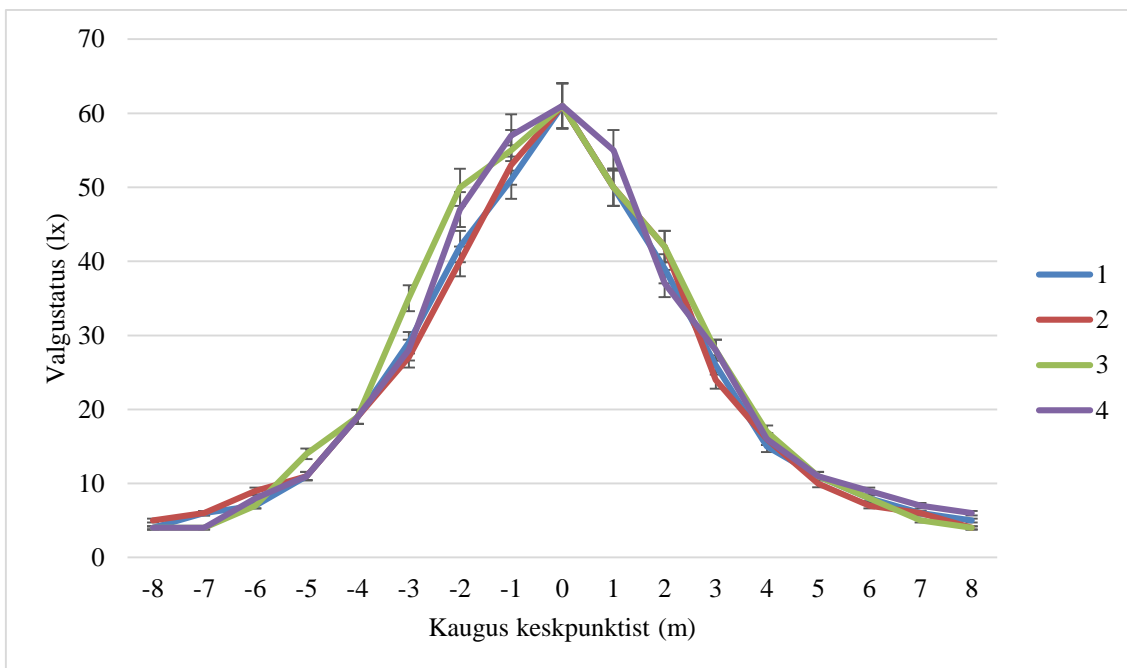
Aadressil Pargi 2, Elva on madal poolavatud optikaga 70 W võimsusega kõrgrõhunaatrium-pirniga tänavalatern Hard Metal, mis paikneb Elva raudteejaama vastas oleva väikese ringikujulise pargiala läbiva kõnnitee kõrval. Täpsemat asukohta on võimalik näha lisa 1. Mõõtmised teostati 13. veebruaril 2017. aastal 8 m raadiuses ümber lambi (Lisa 3; Joonis 6)



Joonis 6. Kõrgrõhunaatriumlambi Hard Metal valgusjaotus aadressil Pargi 2, Elva

Ülaltoodud joonisel (Joonis 6) välja toodud vertikaalne telg 1 on eelpool mainitud kõnniteega paralleelne ning täpselt mõõdetud ala piiril, mööda mainitud telge allapoole ligikaudu kaheksa ja poole meetri kaugusel paikneb autotee. Kõnnitee kulges mööda vertikaalse telje parempoolset serva. Sama telge pidi liikudes 15 m kaugusel teostatud foonmõõtmine andis valgustatuse tasemeks autotee peal väärtuseks 1 lx.

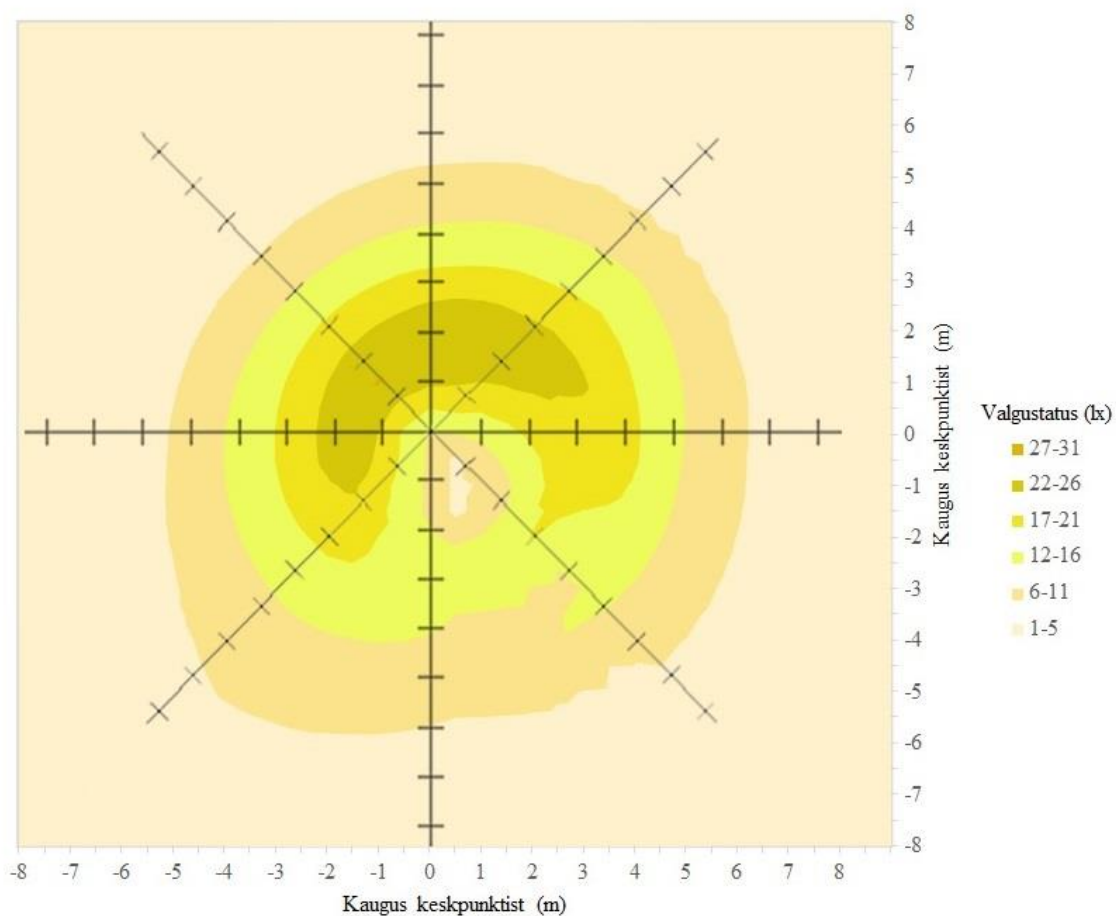
Antud kõrgrõhunaatriumlambi puhul levib valgustatus kõikides suundades sarnaselt (Joonis 7).



Joonis 7. Kõrgrõhunaatriumlambi Hard Metal valgusjaotus aadressil Pargi 2, Elva neljal eri teljel
 Kõige suurem valgustatuse tase on otse lambi all (61 lx), mida kaugemale lambi alusest minna, seda enam valgustatuse tase langeb. Valgustatust pole suunatud rohkem tee peale – võrdselt on valgustatud nii kõnnitee kui ka kõnnitee kõrval paiknev madalhaljastus. Valgustatuse tase on enamikel telgedel langenud 8 m kaugusel keskpunktist 4 lx-ni.

3.1.2 IJB Indal mõõtmistulemused

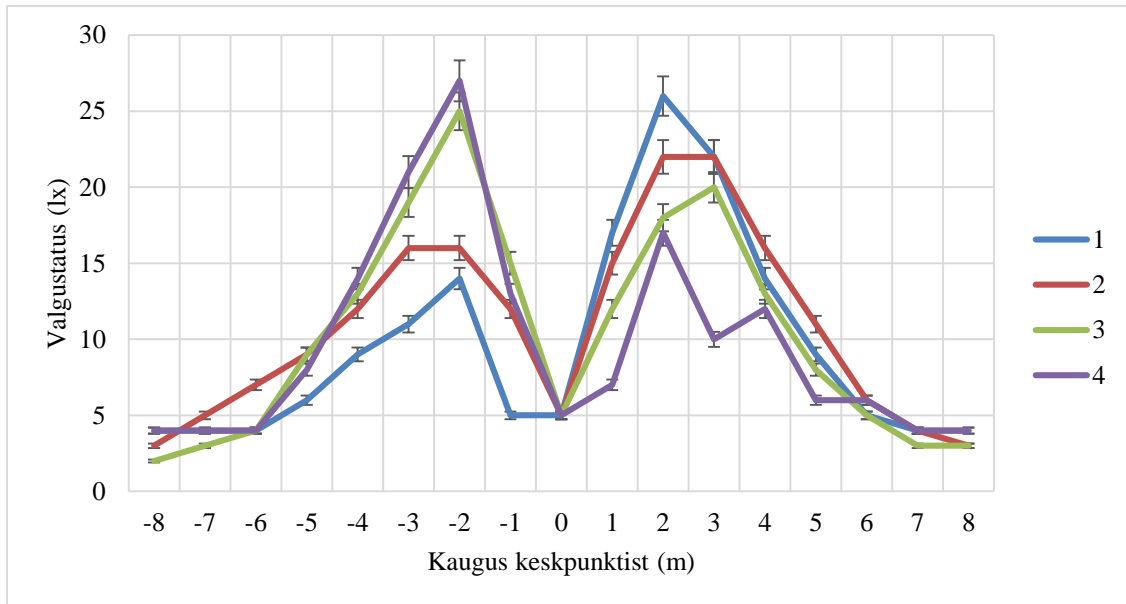
Aadressil Nooruse 7, Tartu Tervishoiu kõrgkooli üliõpilaselamu parklas on madalad tüvikoonuse kujulised, 70 W võimsusega metallhaliidpirniga IJB Indal laternad. Täpsemalt on asukohta näha lisas 1. Antud asukohas teostati mõõtmised 18. veebruaril 2017. aastal 8 m raadiuses ümber laterna (Lisa 3; Joonis 8).



Joonis 8. Metallhaliidlambi IJB Indal valgusjaotus aadressil Nooruse 7, Tartu

Ülaltoodud joonisel (Joonis 8) välja toodud horisontaalne telg oli paralleelne Nooruse tänavaga ning valgusti paiknes autode parkimiskohtade vahel. Valgustis paiknev üks metallhaliidpirn oli suunatud Nooruse tn suunas. 15 m kaugusel mööda vertikaalset telge allapoole teostatud foonmõõtmine näitas antud asukohas valgustatuse taseme väärtusega 1 lx.

Antud valgusti puhul ei levi valgus ümber valgusti sümmeetriliselt (Joonis 9).

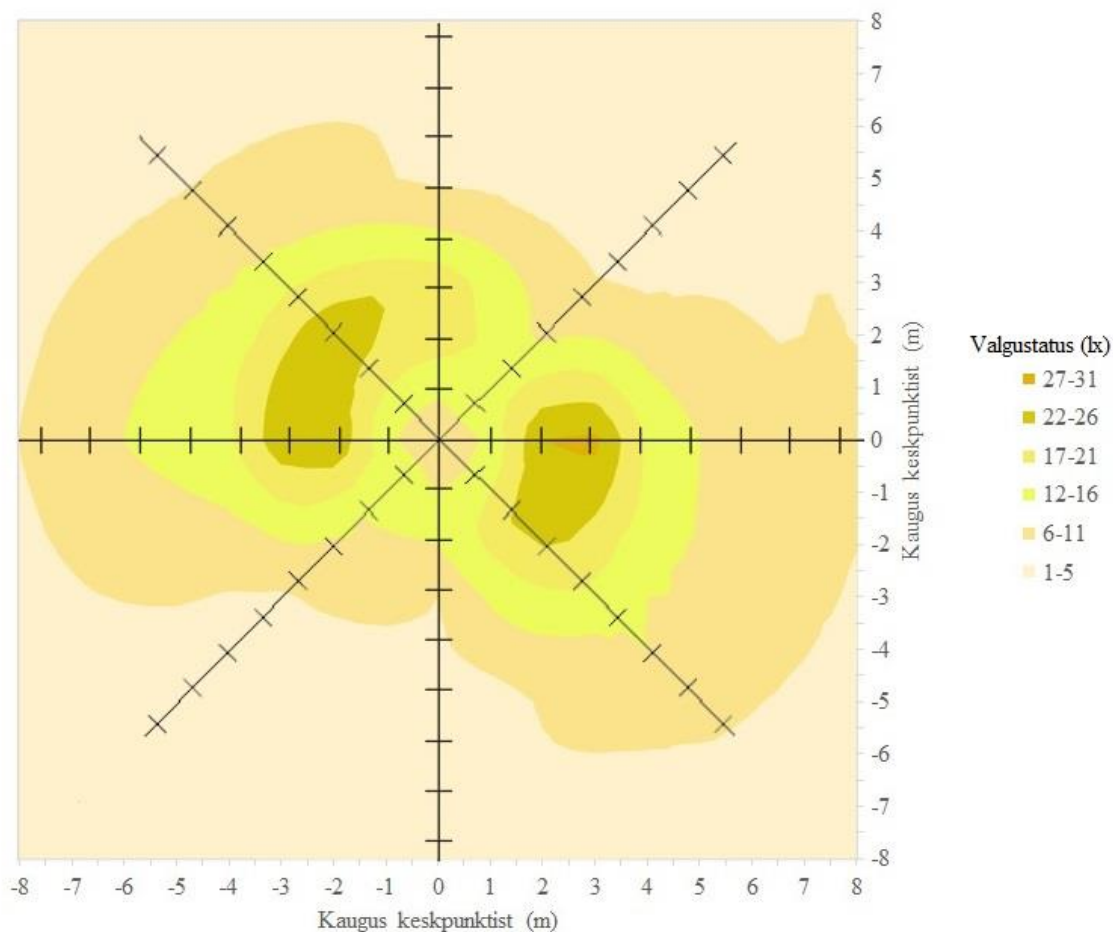


Joonis 9. Metallhaliidlambi IJB Indal valgusjaotus neljal teljel

Tüvikoonuse kujulise madala tänavavalgusti juures on näha, et valgustatuse tase on kõrgeim 2–4 m kaugusel keskpunktist ning otse valgusti all on valgustatuse tase samaväärne 6–8 m kaugusel oleva valgustatuse tasemega. Samas on ka näha, et valgustatuse tase levib kõikidel telgedel erinevalt – esimesel ja teisel teljel on valgustatuse tase miinuspoolel madalam kui kolmandal ja neljandal teljel ning ka plusspoolel olevad tulemused pole kõikide telgede puhul sümmeetrilised.

3.1.3 „Tartu“ mõõtmistulemused

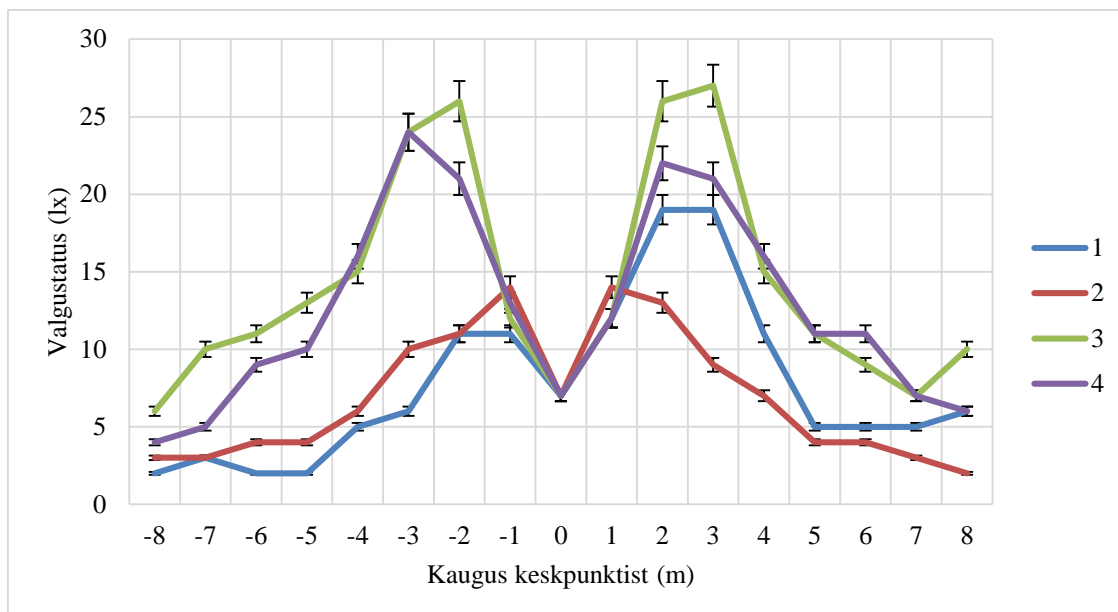
Tartus tänavate Juhan Liivi, Lossi ning Karl Ernst von Baeri risti ja tänavate Karl Ernst von Baeri ja Vallikraavi risti vahelises pargis, Rahvaste monumendi juures paiknevad vanaaegse välimusega laternakujulised Valumehaanika AS laternad „Tartu“ võimsusega 70 W. Antud töö jaoks valitud asukohta on võimalik täpsemalt näha lisa 1. Antud asukohas teostati mõõtmised 18. veebruaril 2017. aastal 8 m raadiuses ümber laterna (Lisa 3; Joonis 10).



Joonis 10. Kõrgrõhunaatriumlambi „Tartu“ valgusjaotus aadressil J. Liivi 2, Tartu

Ülaltoodud joonisel (Joonis 10) välja toodud vertikaalne telg oli paralleelne ning horisontaalne telg oli risti Karl Ernst von Baeri tänavaga. Horisontaalset telge mööda 15 m paremale, valgusti suhtes teisel pool Karl Ernst von Baeri tänavat teostati foonmõõtmine, mis näitas valgustatuse tasemeks antud asukohas 1 lx.

„Tartu“ disainist sõltuvalt oli võimalik mõõtmisi teostada nii, et kaks telge (1 ja 2) olid pidevalt varjus ning kahe telje (3 ja 4) peale paistis laternast pidevalt valgus. Antud lambitüübi puhul on selgelt näha, kuidas valgusti disainist sõltuvalt on valgustatuse tase madalam valgustist tingitud varjuga alal kui valgustist tingitud varjuta alal (Joonis 11).

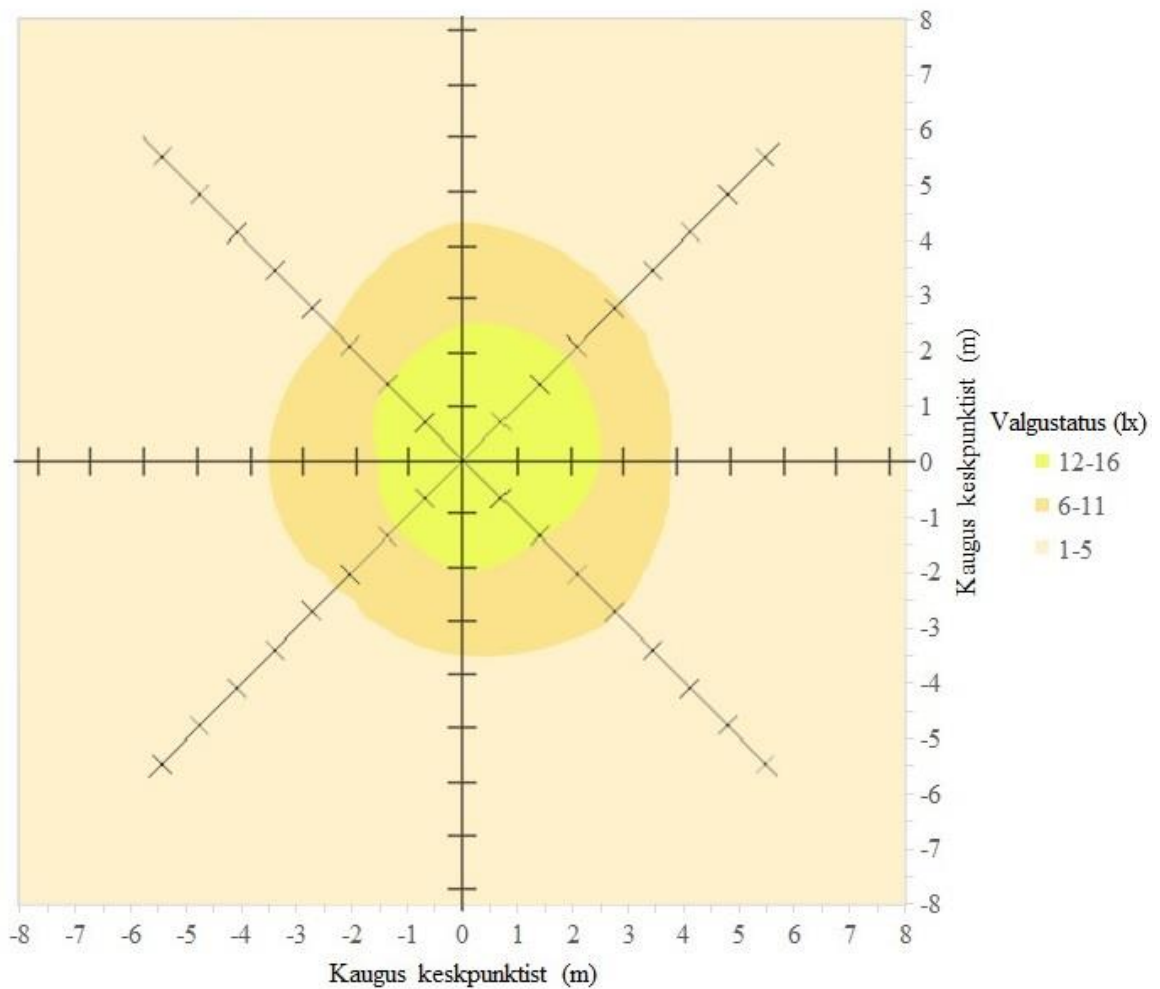


Joonis 11. Kõrgrõhunaatriumlambi „Tartu“ valgusjaotus neljal teljel

Telg 2 on mõõtmise ajal pidevalt varjus, kuid telge nr 4 valgusti disainist sõltuv vari ei mõjuta – valgustist 8 m kaugusel olevates punktides on telgedel 2 ja 4 valgustatuse taseme erinevus kahe- kuni kolmekordne (Joonis 11). Kuigi ka telg 1 oli mõõtmise ajal pidevalt varjus, on sellel teljel saadud tulemused mõnevõrra kõrgemad teise telje tulemustest, kuid siiski madalamad kolmanda ja neljanda telje valgustatuse tasemest samal kaugusel keskpunktist.

3.1.4 Glob Gewiss mõõtmistulemused

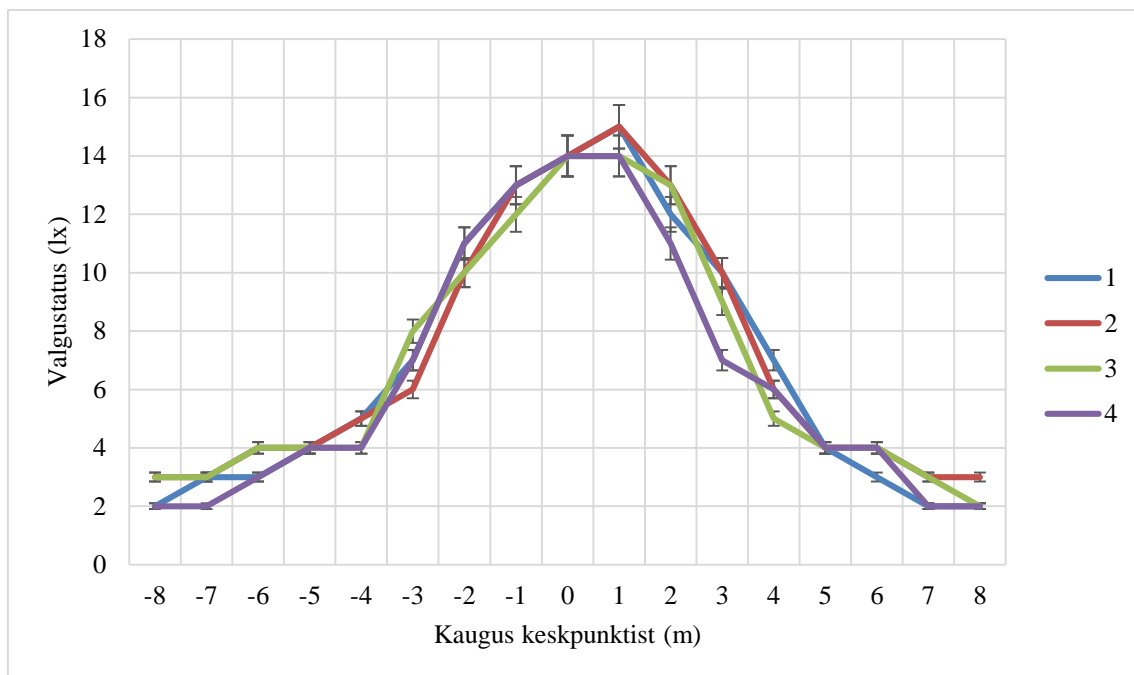
Tartus Toomemäel Lossi tänava ääres ning Tartu Ülikooli esimese rektori Johan Skytte mälestusmärgi juures (vt täpsemalt Lisa 1) ja ka mujal Toomemäe pargis paiknevad oranži valgusega madalad pallikujulised kõrgrõhunaatriumlaternad Glob Gewiss võimsusega 70 W. Johan Skytte mälestusmärgi lähistel teostati mõõtmine seda tüüpi valgustiga 18. veebruaril 2017. aastal 8 m raadiuses ümber valgusti (Lisa 3; Joonis 12).



Joonis 12. Piimja klaasiga pallikujulise valgusti Glob Gewiss valgusjaotus Toomemäe pargis

Ülaloodud joonisel (Joonis 12) välja toodud vertikaalne telg on paralleelne Lossi tänavalt Riigikohtu nurgalt algava kõnniteega, mis möödub kohvikust Rotund. 15 m kaugusel keskpunktist mööda horisontaalset telge teostatud foonmõõtmine näitas antud asukohas valgustatusetaset väärtusega 2 lx.

Piimja klaasiga pallikujulise valgusti valgustatuse tase on võrreldes teiste valgustitega madalam. Valgustatus väheneb kõikidel telgedel võrdlemisi sarnaselt ning juba enne mõõdetava ala lõppu on enamikel telgedel langenud valgustatuse tase fooniga samale tasemele (Joonis 13).

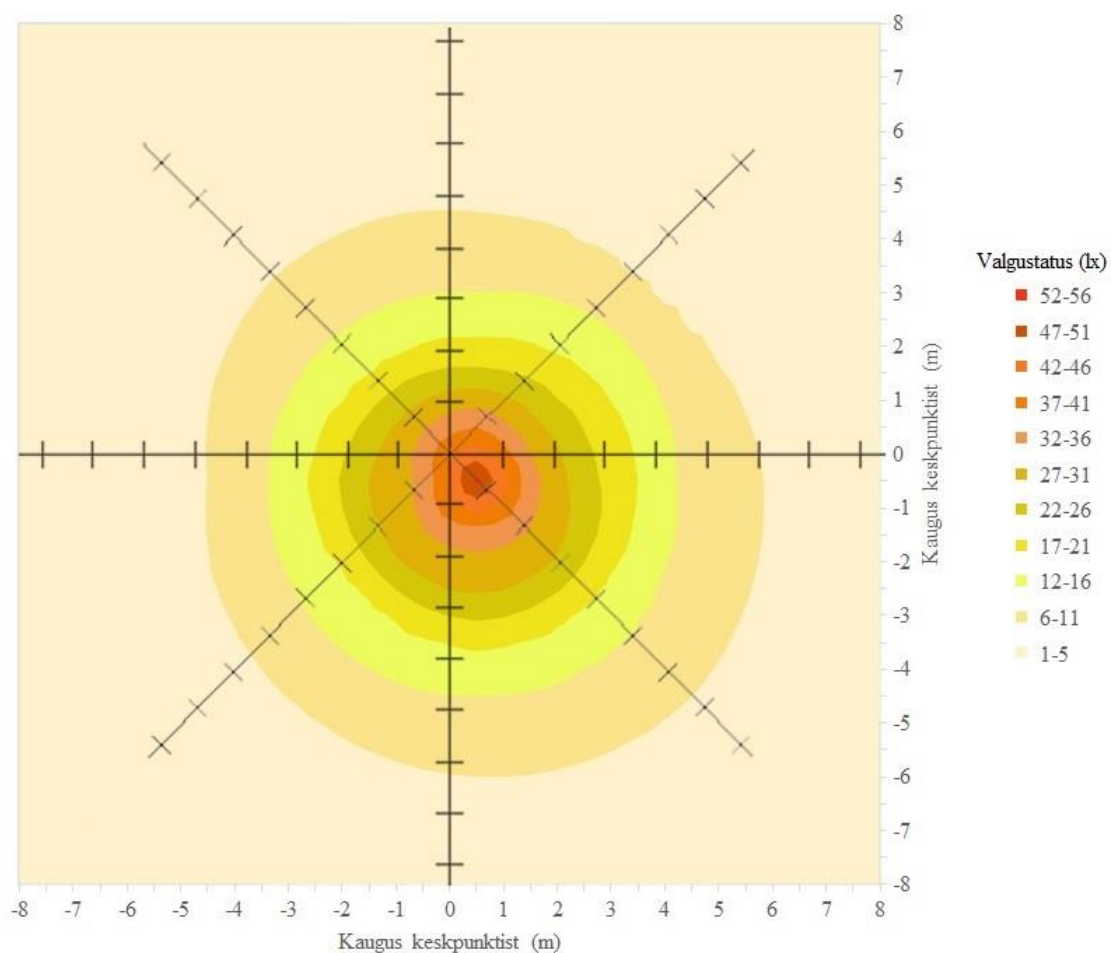


Joonis 13. Piimja klaasiga pallikujulise kõrgrõhunaatriumlambi Glob Gewiss valgusjaotus Toomemäe pargis neljal teljel

Valgus jaotub peaaegu sümmeetriliselt ringikujuliselt ümber valgustiposti, kuid on näha, et valgustatuse kõige suurem tase on kõnnitee kõrvalisel alal, mitte kõnniteel. Nendes punktides on valgustatuse tase isegi suurem kui otse valgusti all.

3.1.5 Thorn Jarnkonst Glob 8363 mõõtmistulemused

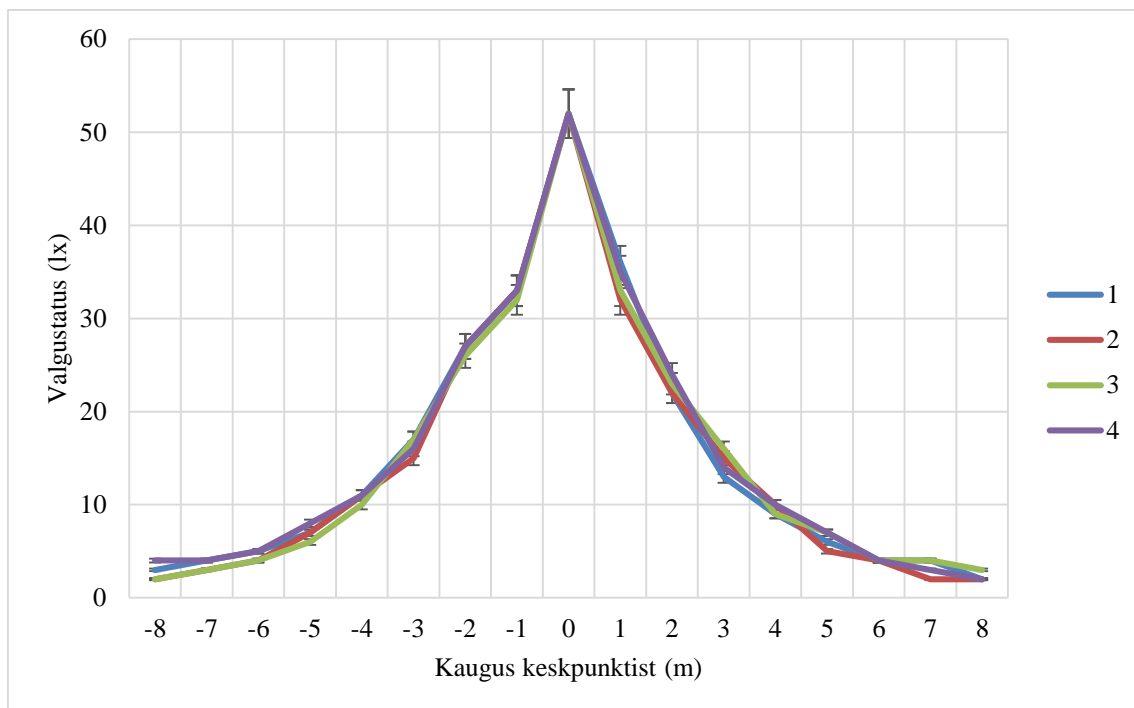
Tartus Lossi tänava ääres, Tartu toomkiriku kõrval paiknevad mõned selge klaasiga valge valgusega pallikujulised metallhaliidvalgustid Thorn Jarnkonst Glob 8363 võimsusega 70 W, millel paistab töötamise ajal olema tõenäoliselt astronoomilise valgusreostuse vähendamise eesmärgil pealpool kate. Antud töö jaoks valitud asukohta on võimalik täpsemalt näha lisas 1, kus seda valgustit tähistab punkt nr 8. Antud valgusti asukohas teostati mõõtmised 18. veebruaril 2017. aastal (Lisa 3; Joonis 14).



Joonis 14. Selge klaasiga pallikujulise naatriumhaliidvalgusti Thorn Jarnkonst valgusjaotus Toomemäe pargis

Ülaltoodud valgusjaotuse joonisel (Joonis 14) toodud vertikaalne telg oli mõõtmise ajal paralleelne Toomemäe tänavaga. Mööda horisontaalset telge 15 m kaugusel vasakul teostatud foonmõõtmise tulemuseks oli valgustatuse tase väärtusega 1 lx.

Selle valgusti puhul langeb valgustatuse tase võrdlemisi kiiresti – juba 1 m kaugusel valgusti alusest on valgustatuse tase langenud 40% võrra (Joonis 15).



Joonis 15. Selge klaasiga pallikujulise valgusti Thorn Jarnkonst valgusjaotus neljal teljel

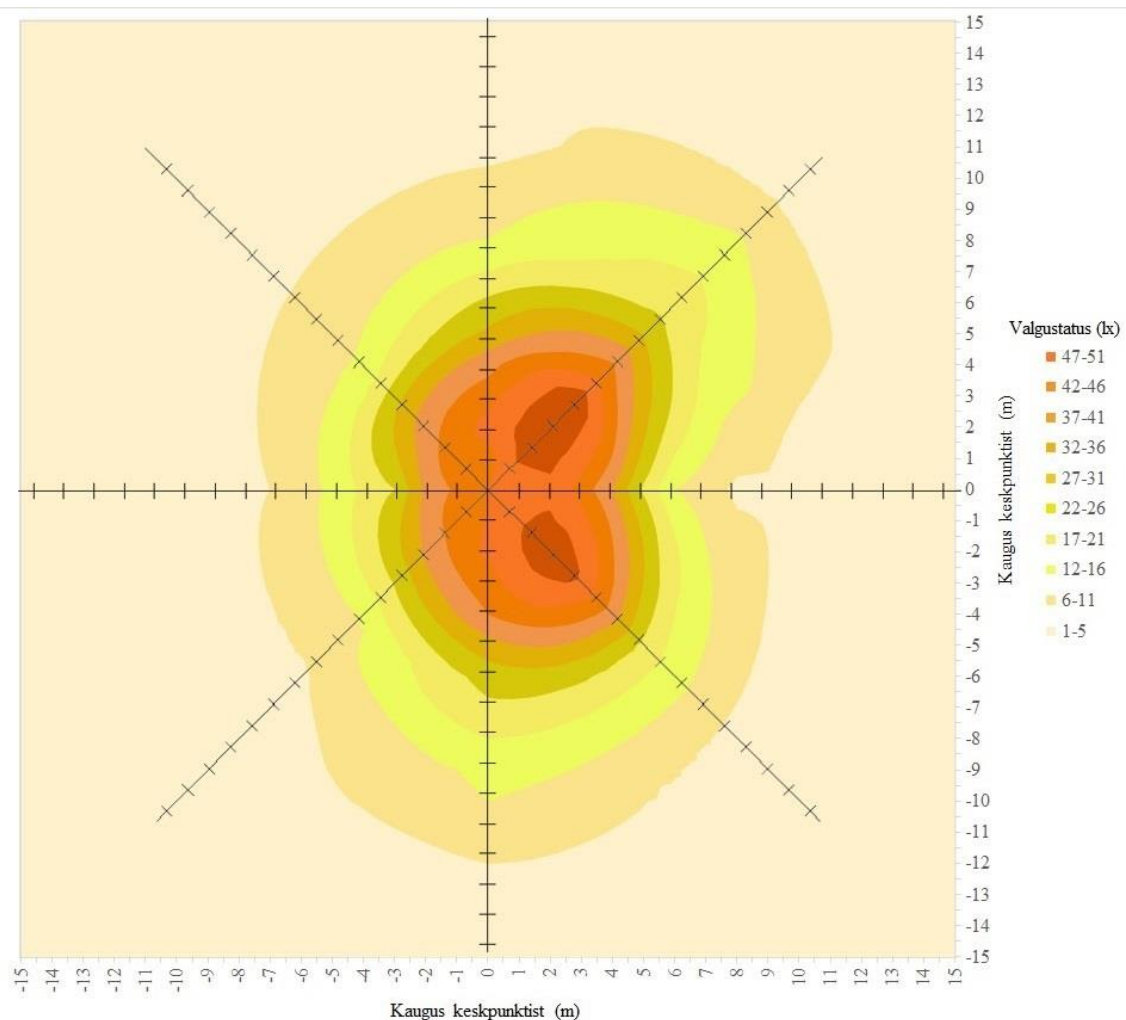
Valguse levimine on kõikides suundades sarnane ning 8 m kaugusel keskpunktist on valgustatuse tase langenud minimaalselt 2 ja maksimaalselt 4 lx-ni. Neljanda telje pisut kõrgemat valgustatuse taset mõjutab tõenäoliselt läheduses paiknev sarnase disainiga valgusti valgus.

3.2 Kõrgete tänavavalgustite mõõtmistulemused

Kõrgeid tänavavalgusteid oli kokku kolm erinevat tüüpi (Tabel 2), järgnevalt on välja toodud mõõtmistulemused nii illustreeritud kui graafilisel kujul. Iga lambitüübi jooniste juurde kuuluvad arvulised väärtused on välja toodud lisan 3.

3.2.1 IVC Indalux mõõtmistulemused

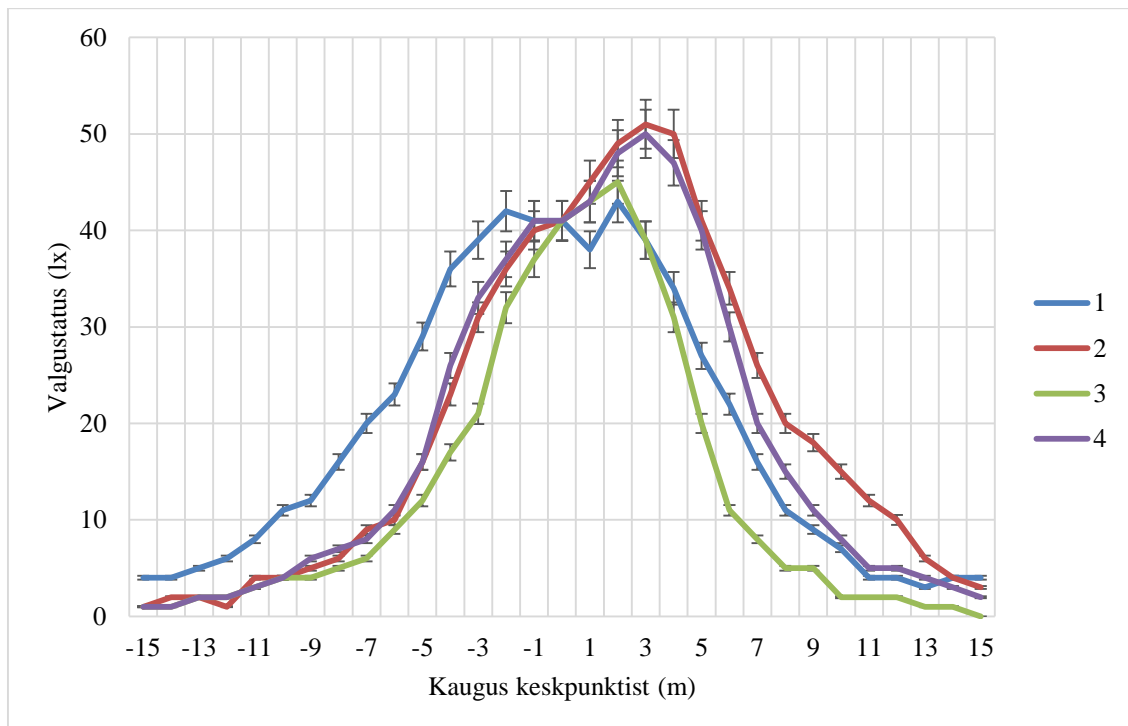
Järgnevalt on kujutatud 150 W pirniga sileda lambikattega kõgrõhunaatriumlambi valguse levik Elvas, Kesk tn 38 ees (Joonis 16). Valgusti asukohta on võimalik kaardipildil näha lisan 1.



Joonis 16. Kõgrõhunaatriumlambi IVC Indalux valgusjaotus aadressil Kesk 38, Elva

Mõõtmised teostati 13. veebruaril 2017. aastal 15 m raadiuses nii, et vertikaalne telg oli paralleelne auto- ja sellest mõlemal pool paiknevate kõnniteedega (Lisa 3). Vertikaalne telg (telg 1) kulgeb mööda autotee serva. Suurem osa valgusest on suunatud autoteele, teisele pool 8 m autoteed paiknevale kõnniteele jõuab sellest valgustist võrdlemisi vähe. 20 m kaugusel mööda horisontaalset telge vasakule teostatud foonmõõtmine näitas valgustatuse taset 0 lx.

On näha, et kuigi valgusti valgus on enamasti suunatud autoteele, jõuab valgus ka vähemalt 15 m kaugusele valgusti taha (Joonis 17). 20 m kaugusel enam sellest valgustist tulenevat valgustatuse suurenemist antud töö raames kasutatud luksmeetriga tuvastada ei suudetud.

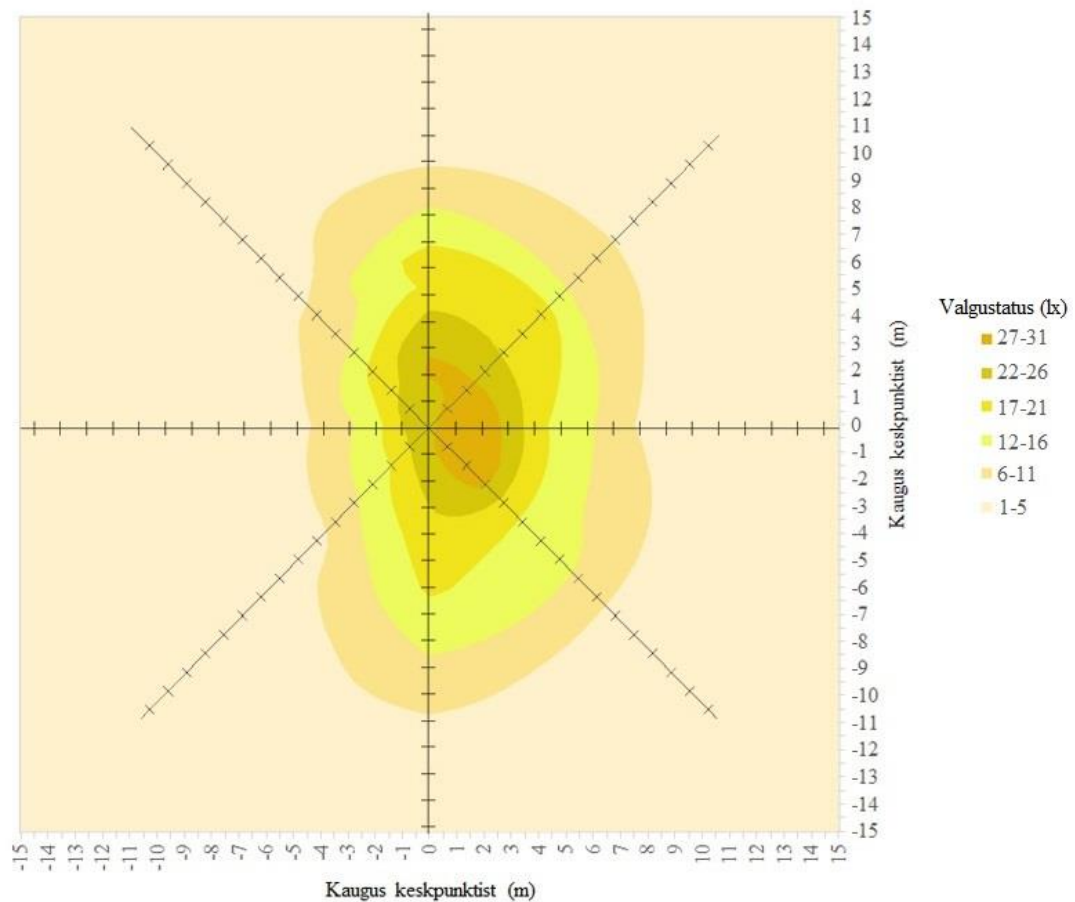


Joonis 17. Kõrgrõhunaatriumlambi IVC Indalux valgusjaotus neljal teljel

Teega paralleelselt kulgeval teljel 1 on näha, et valgustatuse tase ei lange vähemalt selle valgusti puhul alla 4 lx enne, kui teed hakkab valgustama järgmine valgusti ning tee serv on pidevalt valgustatud. Telgedel 2 ja 4 on näha suuremat valgustatuse taset 3–5 m kaugusel mõõtmise keskpunktist, suurem valgustatuse tase on suunatud autotee peale. Teljel 3 on suurim valgustatuse tase 2 m kaugusel mõõtmise keskpunktist ehk valgusti alusest punktist.

3.2.2 MYRA mõõtmistulemused

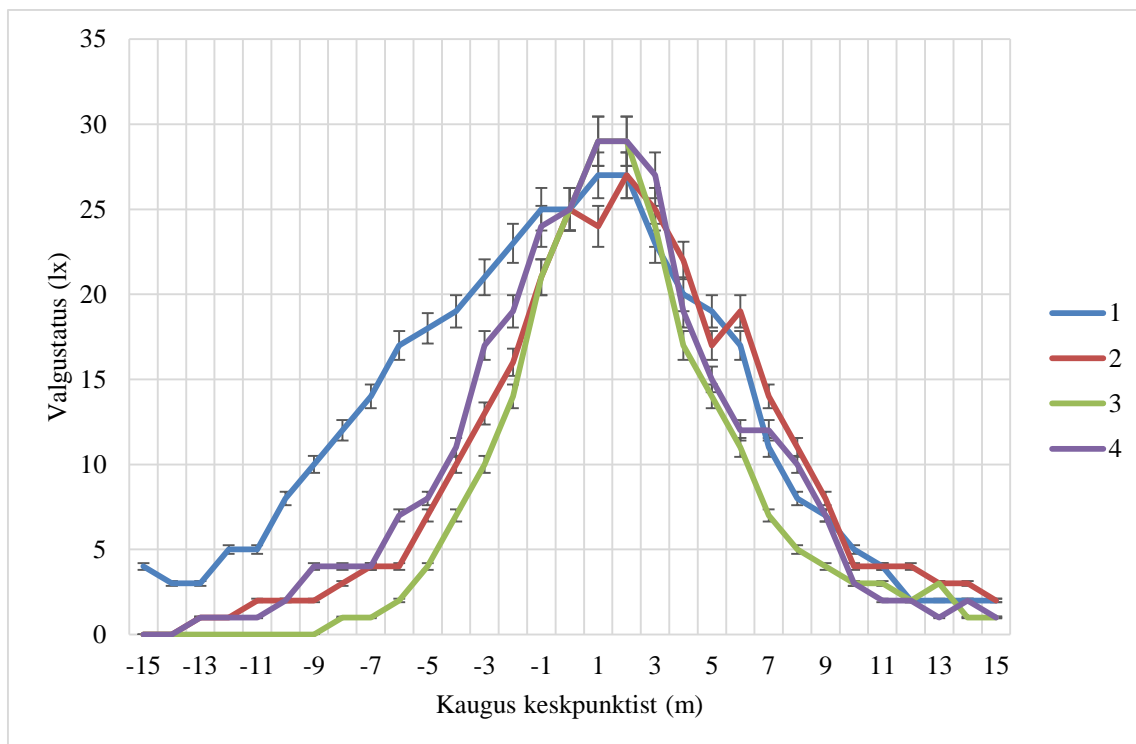
Järgnevalt on kujutatud 150 W pirniga kumera lambikattega kõrgrõhunaatriumlambi valguse levik Elvas, Tamsa tee 6 ees. Valgusti asukohta on võimalik kaardipildil näha lisa 1. Mõõtmised teostati 04. veebruaril 2017. aastal 15 m raadiuses nii, et vertikaalne telg (telg 1) oli tänavaga paralleelne ja telg kulges mööda tee serva (Lisa 3; Joonis 18).



Joonis 18. Kõrgrõhunaatriumlambi MYRA valgusjaotus aadressil Tamsa tee 6, Elva

Kuigi valguskoonuse järgi võiks eeldada, et vertikaalsest teljest vasakul pool on ka kõnnitee, seda siiski antud tänaval pole ning suur osa valgusest paistab tee kõrval asuvalle madalhaljastusele. 20 m kaugusel mööda horisontaalset telge paremale teostatud foonmõõtmine näitas valgustatuse tasemeks 0 lx.

Kõrgrõhunaatriumlambi MYRA puhul on näha, et valgustatus ei vähene valgustist kaugenemisel sümmeetriliselt (Joonis 19).



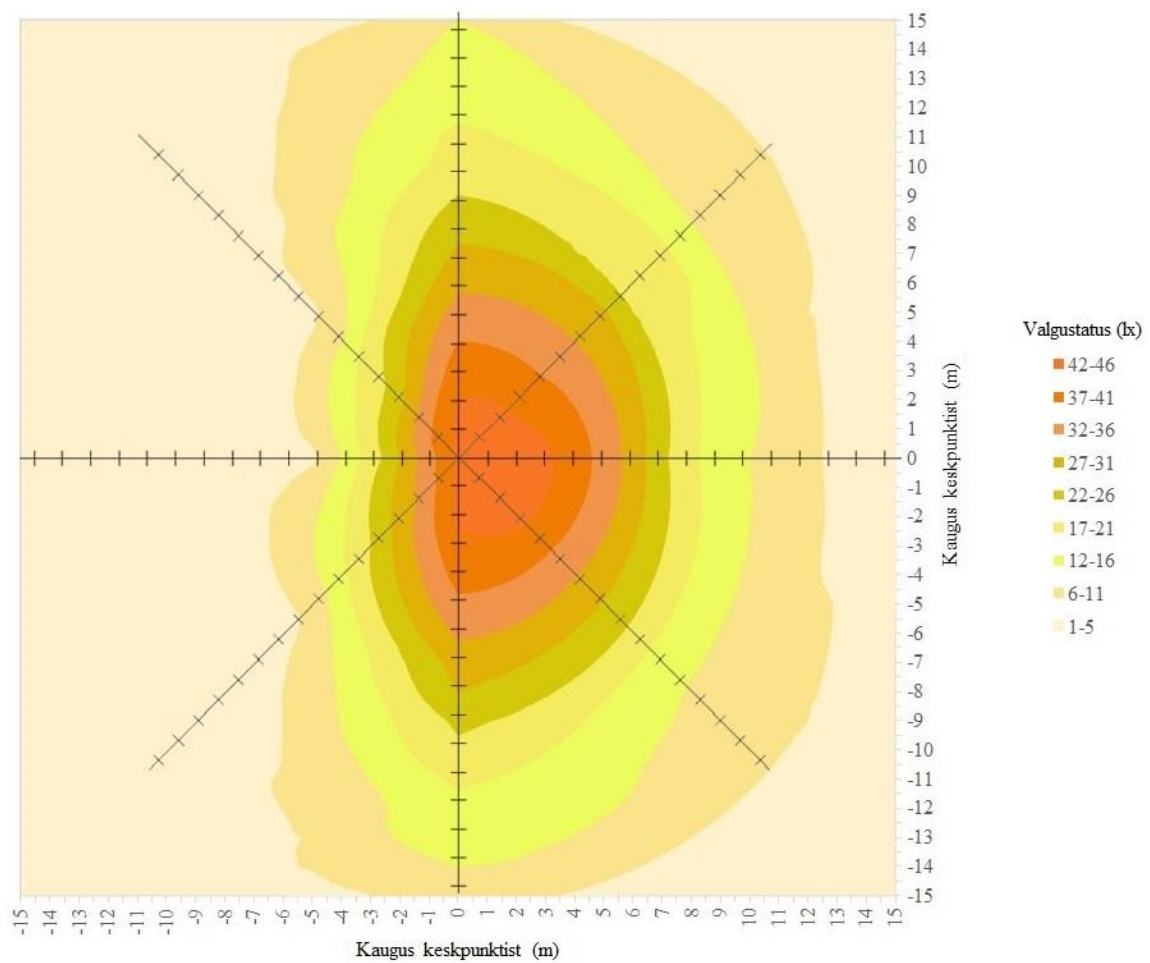
Joonis 19. Kõrgrõhunaatriumlambi MYRA valgusjaotus neljal teljel

Teega paralleelselt kulgeval teljel (telg 1) on näha, et valgustatuse tase langeb ühel pool 2 lx-ni, kuid teisel pool, kus vahemaa järgmise tänavavalgustiga on väiksem, on valgustatuse tase kaks korda suurem (4 lx). Samuti langeb graafiku miinuspoolel valgustatuse tase võrreldes plusspoolega aeglasemalt. Ülejäänud kolmel teljel langeb valgustatus aeglasemalt graafiku plusspoolel ehk tee kohal ning valgustatus langeb kiiremini graafiku miinuspoolel ehk lambiposti taga.

Suurimad valgustatuse väärtused olid kõikidel telgedel 1–3 m kaugusel keskpunktist, autotee kohal, mis annab alust arvata, et valgust on üritatud suunata rohkem tee peale kui ümbritsevale madalhaljastusele.

3.2.3 Philips Luma mõõtmistulemused

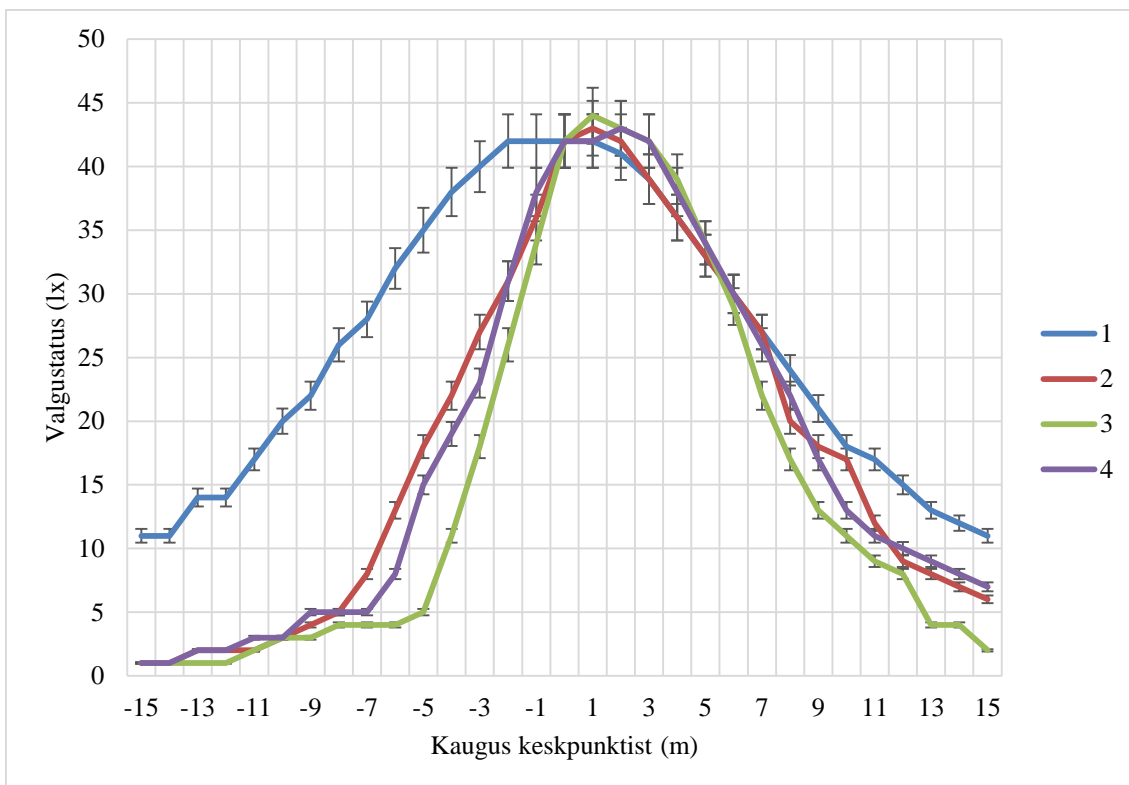
Muuseumi teel, mille servas paikneb ka Eesti Rahva Muuseum, on kõrged Philips Luma laternad, milles on 20 48 W LED-pirni. Ühe seda tüüpi laterna valguskoonuse kujutist on näha järgneval joonisel (Joonis 20).



Joonis 20. LED-valgusti Philips Luma valgusjaotus Muuseumi tee, Tila küla, Tartu vald

Antud töö jaoks valitud latern paikneb kaardi järgi haldusjaotuslikult Tila külas, Tartu vallas (Lisa 1). Joonisel kujutatud vertikaalne telg oli mõõtmise ajal Muuseumi teega paralleelne. 20 m kaugusel mööda horisontaalset telge paremale teostatud foonmõõtmine näitas valgustatuse tasemeks 1 lx (Lisa 3).

LED-valgusti puhul joonistub võrdlemisi selgelt välja see, et enim valgust on suunatud tee peale (Joonis 21).



Joonis 21. LED-valgusti Philips Luma valgusjaotus neljal teljel Muuseumi tee, Tila küla, Tartu vald

Teljel 1 langeb valgustatuse tase võrreldes teiste telgedega aeglasemalt ning ühtlasemalt – see telg on ka autotee servaga paralleelne. Mõõtmiste käigus saadud tulemused näitasid, et valgustatuse tase ei langenud sellel teljel ka mõõteveega arvestades alla 10 lx.

Telgedel 2–4 joonistub selgelt välja, et graafiku plusspoolel on valgus suunatud 8 m laiuse tee peale. Valgustatus langeb valgusti taga kiiremini ning sujuvamalt valgusti ees, tee peal. Teljel 3, mis on teega risti, langeb valgustatus võrreldes teiste telgedega graafiku miinuspoolel kiiremini ning on näha, et 5 m kaugusel on langenud valgustatuse tase võrreldes keskpunktiga 80%.

4 Arutelu

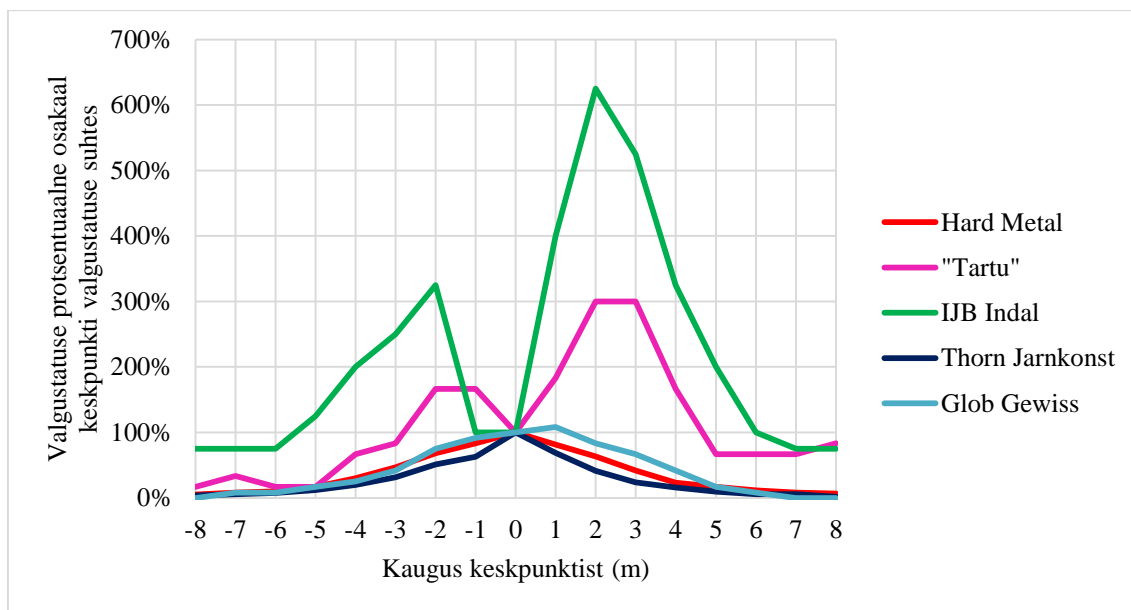
Järgnevates alapeatükkides võrreldakse nii madalaid kui kõrgeid tänavavalgusteid eelpool kasutatud nelja telje valgustatuse protsentuaalse osakaalu keskpunkti valgustatuse suhte põhjal. Esimeses alapeatükis võrreldakse omavahel madalaid tänavavalgusteid, teises alapeatükis aga kõrgemaid tänavavalgusteid.

4.1 Madalate tänavavalgustite võrdlus

Madalamate tänavavalgustite võrdluses on viis erinevat tänavavalgustitüüpi (Hard Metal, IJB Indal, „Tartu“, Glob Gewiss ning Thorn Jarnkonst), millele viidatakse edaspidistel graafikutel nende tootenime järgi. Eelnevalt toodi tulemuste peatükis välja iga tänavavalgusti tüübi mõõtmistulemused lukside järgi. Järgnevalt võrreldakse neid tulemusi kõigil neljal teljel nii, et on välja arvatatud punkti väärtuse protsentuaalne osakaal keskpunkti suhtes. Sealjuures on fooni väärtus igas punktis maha lahutatud.

4.1.1 Võrdlus esimese telje põhjal

Järgnevalt on välja toodud viie erineva valgustitüübi valgustatuse erinevus esimese telje põhjal (Joonis 22).



Joonis 22. Madalate tänavavalgustite võrdlus esimese telje põhjal

Esimesel teljel on selgelt näha, et valgustite IJB Indal ning „Tartu“ valgustatuse jaotus erineb teistest valgustitest märkimisväärselt. IJB Indali enim valgustatud punkt on antud teljel 2 m kaugusel keskpunktist, kus valgustatuse tase on keskpunktiga võrreldes 525% võrra kõrgem. „Tartu“ enim valgustatud ala asub 2–3 m kaugusel keskpunktist, kus valgustatus on keskpunktist 200% võrra kõrgem.

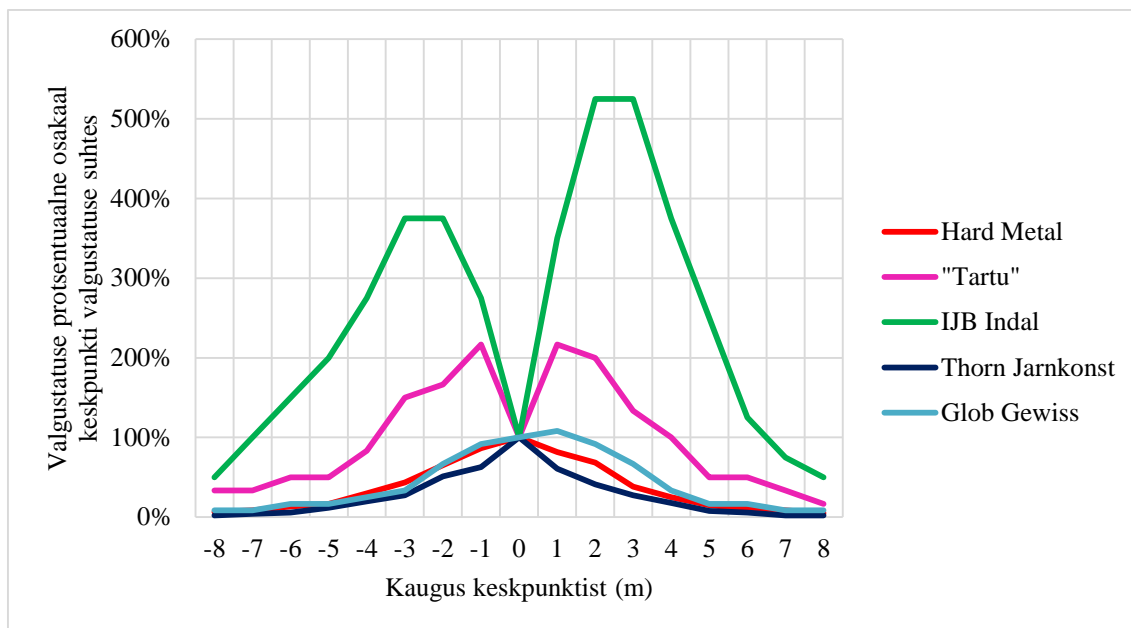
Kuigi „Tartu“ puhul langeb valgustatuse tase telje miinuspoolel 8 m kaugusel kõigest 16,67%-ni, langeb valgustatuse tase plusspoolel minimaalselt 83,33%-ni. Siinjuures tuleb arvestada sellega, et „Tartu“ esimene telg oli mõõtmise ajal valgusti disainist põhjustatud varjus, mis mõjutas natuke mõõtmistulemusi.

Samuti on esimesel teljel näha, et kahe valgusti (Thorn Jarnkonst ning Hard Metal) puhul on valgustatuse suhtes valgeim koht otse valgusti all. Keskpunktist kaugemale liikudes valgustatus väheneb järk-järguliselt ning Thorn Jarnkonsti puhul on valgustatuse tase 1 m kaugusel keskpunktist vähenenud juba rohkem kui 30%.

Glob Gewissi puhul on kõrgeim valgustatuse tase küll 1 m kaugusel keskpunktist, kuid see tulemus erineb keskpunktist vaid 8,33% võrra, mis võrreldes IJB Indali ning „Tartuga“ on peaaegu olematu vahe. Kui see üks enam valgustatud punkt välja arvata, langeb Glob Gewissi valgustatuse tase esimesel teljel Thorn Jarnkonsti ning Hard Metaliga sarnaselt.

4.1.2 Võrdlus teise telje põhjal

Järgnevalt on välja toodud viie erineva valgustitüübi valgustatuse erinevus teise telje põhjal (Joonis 23).



Joonis 23. Madalate tänavavalgustite võrdlus teise telje põhjal

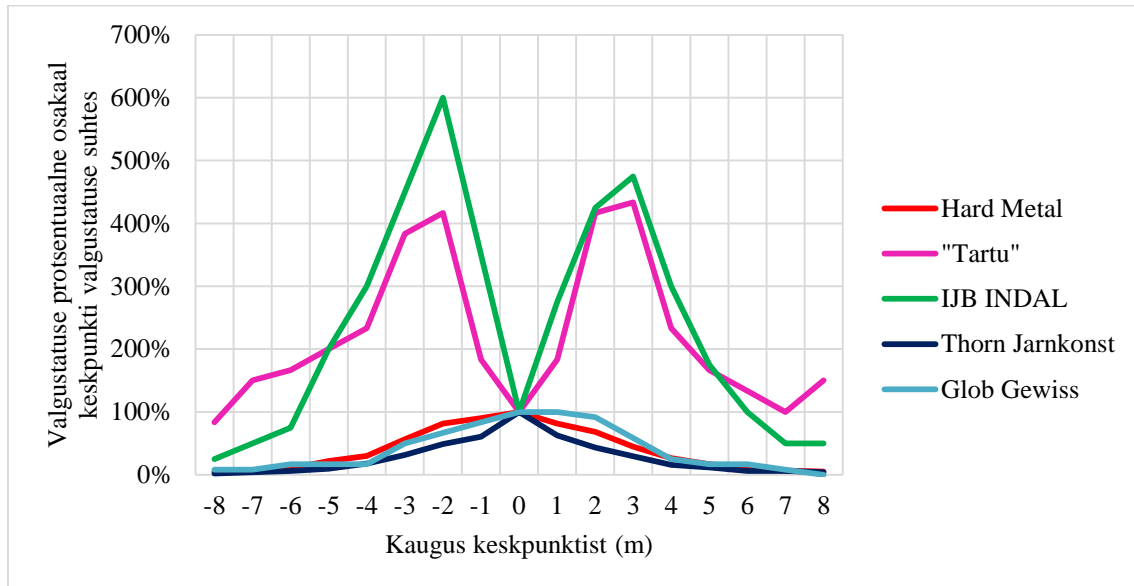
Sarnaselt esimesele teljele joonistuvad taas selgelt välja IJB Indal ning „Tartu“. IJB Indali keskpunkti valgustatus on madalam kui 2–4 m kaugusel mõõdetud punktide valgustatus, kuid samas on näha, et valgustatuse erinevus keskpunktiga võrreldes pole enam nii suur, kuigi enim valgustatud punktis on vahe endiselt ligi 425%. „Tartu“ enim valgustatud punkt teisel teljel on mõlemas suunas 1 m kaugusel, kus valgustatuse tase on 116,67% võrra kõrgem kui keskpunktis. Siinjuures tuleb arvestada sellega, et „Tartu“ teine telg oli mõõtmise ajal valgusti disainist põhjustatud varjus, mis mõjutas natuke mõõtmistulemusi.

Valgustite Hard Metal ning Thorn Jarnkonst puhul on valgustatus suurim keskpunktis – mida kaugemale keskpunktist liikuda, seda enam valgustatus väheneb. Thorn Jarnkonsti puhul väheneb valgustatus kiiremini – juba ühe meetri kaugusel on valgustatus vähenenud peaaegu 40%. Samal ajal on valgusti Hard Metal puhul valgustatus ühe meetri kaugusel keskpunktist vähenenud kõigest 13–18%.

Sarnaselt eelmisele teljele suureneb ka teisel teljel valgusti Glob Gewiss puhul valgustatus ühe meetri kaugusel keskpunktist, kuid võrreldes valgustite „Tartu“ ning IJB Indaliga on valgustatuse suurenemine 8,33% võrra peaaegu et olematu. Kui ühes punktis valgustatuse suurenemine välja arvata, väheneb valgustatus sarnaselt Hard Metali ning Thorn Jarnkonstiga.

4.1.3 Võrdlus kolmanda telje põhjal

Järgnevalt on välja toodud viie erineva valgustitüübi valgustatuse erinevus kolmanda telje põhjal (Joonis 24).



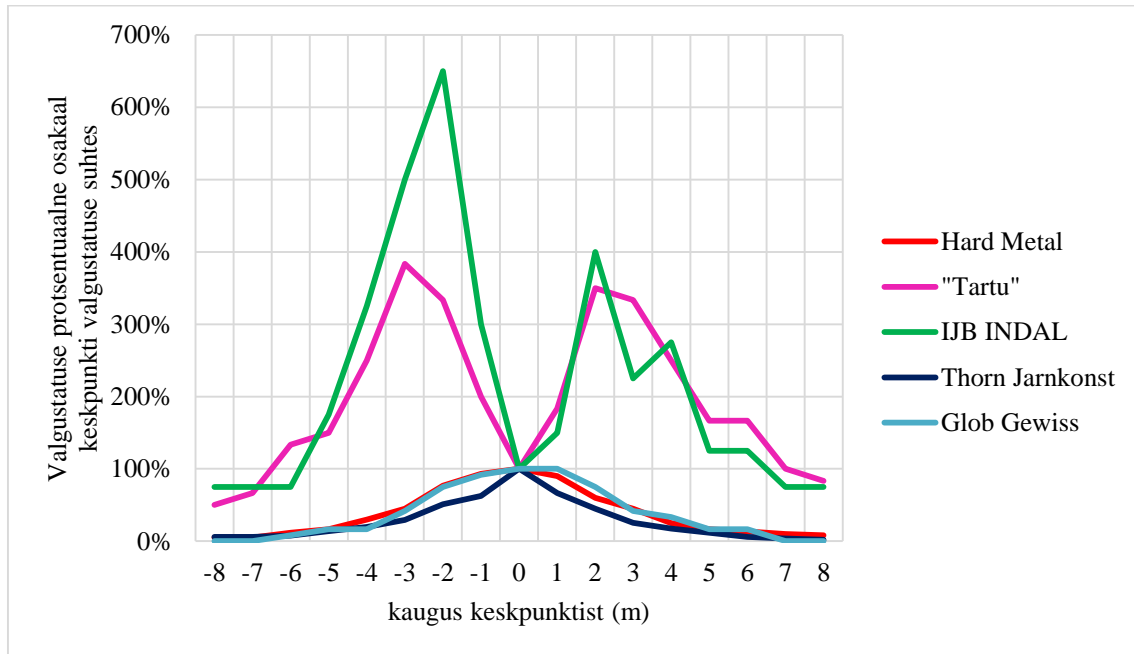
Joonis 24. Madalate tänavavalgustite võrdlus kolmanda telje põhjal

Erinevalt eelmisest kahest teljest on „Tartu“ kolmanda telje mõõtmised teostatud valgusti disainist sõltuvast varjust väljas. Esimese telje maksimaalse 200% ning teise telje maksimaalse 116,67% vahega võrreldes on kolmandal teljel maksimaalne vahe keskpunktiga 316,67% ning kolmandal teljel langeb valgustatus vaid ühes punktis keskpunkti valgustatuse tasemest madalamale.

Erinevalt eelmisest kahest teljest pole Glob Gewissil kolmandal teljel keskpunktist kaugemal asuvates mõõtmispunktides keskpunktist suuremat valgustatuse taset ning antud teljel on võimalik Glob Gewissi valgustatuse vähenemist paremini võrrelda Thorn Jarknkonsti ning Hard Metaliga. Kõigil kolmel valgustitüübil langeb valgustatus keskpunktist kaugemale liikudes, kuid Glob Gewissi puhul püsib valgustatuse protsent võrreldes keskpunktiga 8 meetri kaugusel kõige kõrgemal tasemel – kõige vähem valgustatud punktis on valgustatuse tase langenud fooniga samale tasemele. Samas punktis on Thorn Jarnkonsti valgustatus 3,92% ning Hard Metali valgustatus 5,00% keskpunkti valgustatusest.

4.1.4 Võrdlus neljanda telje põhjal

Järgnevalt on välja toodud viie erineva valgustitüübi valgustatuse erinevus neljanda telje põhjal (Joonis 25).



Joonis 25. Madalate tänavavalgustite võrdlus neljanda telje põhjal

Sarnaselt esimesele kolmele teljele on ka neljandal teljel näha, et „Tartu“ ja IJB Indali enim valgustatud punkt ei asu otse valgusti all vaid keskmiselt 2–4 m kaugusel keskpunktist. Erinevalt eelmisest kolmest teljest on neljandal teljel IJB Indali puhul telje plusspoolel „hüpe“, kus valgustatus on 3 meetri kaugusel keskpunktist madalam kui 2 või 4 m kaugusel. Sarnaselt kolmandale teljele on „Tartu“ mõõtmistulemused ka neljandal teljel valgusti disainist tekkinud varjust väljas.

Selgelt on näha, et IJB Indali ning „Tartu“ valgustatus ei lange ka mõõtmisala kaugeimates punktides ülejäänud kolme valgustiga võrreldavale tasemele. IJB Indali ning „Tartu“ valgustatuse tase on endiselt vähemalt 50% keskpunkti valgustatusest, kuid samal ajal on ülejäänud valgustite valgustatuse tase langenud minimaalselt fooniga samale tasemele (Glob Gewiss) ning maksimaalselt 8,33%-ni (Hard Metal) keskpunkti valgustatuse tasemest.

Sarnaselt kolmandale teljele on ka neljandal teljel Glob Gewiss valgustatus 1 m kaugusel keskpunktist keskpunktiga samal tasemel ning sarnaselt kõigi eelneva kolme teljega on Glob Gewissi ning Hard Metali valgustatuse vähenemine telje miinuspoolel väga sarnane. Telje plusspoolel väheneb Glob Gewissi valgustatus aeglasemalt kui Hard Metalil ning Thorn Jarnkonstil.

4.1.5 Järeldused

Madalamate tänavavalgustite puhul oli juba tulemuste peatükis näha erinevate jooniste pealt, et enamikel juhtudel jaotub valgus sõõrjalt ümber valgustiposti ning valgustust väga eriti suunata ei saa. Erinevusi esines valgustite IJB Indal ning „Tartu“ puhul, mille disainist sõltuvalt tekkis ülejäänud kolmest valgustitüübist teistsugune valgustatuse jaotus. IJB Indalil mõjutas valguskoonust valgusti sees lambipirni asend ning „Tartu“ puhul osutus mõjutavaks faktoriks lambikattel olev karkass.

Kui võrrelda antud magistritöö jaoks valitud viit madalat tänavavalgustit, selgub, et valguse suunamisest saab siin rääkida vaid valgusti IJB Indal puhul. Ülejäänud nelja valgusti puhul on valgus reeglina kõigis kaheksas suunas enam-vähem ühtlaselt jaotunud (nagu oli näha ka peatükis 3.1 Madalate tänavavalgustite mõõtmistulemused). Erandiks on siinjuures „Tartu“, millel on disainist sõltuvalt mõned valgustivarjuga kaetud alad, kus valgustatuse tase on kohati madalam.

Kõiki viit valgustit on kasutatud pargi- või parklaalade valgustamisel, kus ehk ongi enam soovi ühtlasema valgusjaotuse järele kõikides suundades, sest tihtilugu seostatakse pargi- või parklaalade pimedamaid alasid võimalike ohtudega. Antud magistritöö raames said valitud valgustid, mille vahetus ligiduses pole puid-põõsaid ega teisi kõrgemaid takistusi ning oli näha, et nt Glob Gewiss ja Hard Metal valgustasid ka jalgteel kõrvalist muruala. Kui valgusti kõrval paikneb ka madal- või kõrghaljastus, siis mõjutab valgustist tulenev valgus ka neid.

Astronoomilise valgusreostuse vähendamise suhtes on antud valikus paremad valgustid Hard Metal, „Tartu“ ning IJB Indal, sest nende disainist sõltuvalt ei suunata ülespoole valgust. Ökoloogilise valgusreostuse vähendamise seisukohast paistab olema kõige etem variant IJB Indal, sest erinevalt teistest valgustitest on selle valgusti puhul võimalik

vähene valguse suunamine, sest valgusti sees paiknev pirn on installeeritud nurga all ning selle taha jõuab vähem valgust.

Madalamate tänavavalgustite võrdluses oli kolm kõrgrõhunaatriumlampi ning kaks metallhaliidlampi, kuid antud töö raames saadud tulemuste põhjal pole kahjuks võimalik järeldada kumb neist kahest valgusreostuse vähendamise eesmärgil parem on. Kirjanduse põhjal tuleks eelistada punase valgusega (nt kõrgrõhunaatriumlambid) valgusteid sinise valgusega valgustitele (nt metallhaliidlambid), kuigi kõrgrõhunaatriumlampide punane valgus meelitab ligi nt ööliblikaid.

4.1.6 Soovitused

Madalamatest tänavavalgustitest tuleneva valgusreostuse vähendamisel peaks kõigepealt üle vaatama valgustite valguse suunamise ümber valgusti. Kõik selle töö raames mõõdetud madalamad valgustid suunasid valgust 360 kraadi ümber valgustiposti, mis polnud otstarbekas. 360-kraadise valguse suunamise asemel tuleks investeerida pigem valgustitesse, millega saab valgust suunata vaid soovitud alale, milleks enamasti on tee.

Kuigi antud töö raames mõõdeti valgustitest tulenevat valgustatust 1,13 m kõrgusel maapinnast, on ka kirjanduses tähelepanu suunatud asjaolule, et valgustitest tulevat valgust ei tohiks suunata ülespoole. Puu võradesse suunatud valgus häirib ja/või mõjutab seal pesitsevaid linnu- ja loomaliike. Valguse ülespoole suunamist oli näha vähemalt kahe antud töö raames mõõdetud valgusti puhul (pallikujulised Glob Gewiss ning Thorn Jarnkonst) – seda aga saaks vältida lihtsalt kinnisema disainiga valgusti valikuga.

Kuigi antud magistritöö raames ei võrreldud küll valgusteid omavahel nende valgustustiheduse põhjal, sest see näitaja sõltub antud töö raames kontrollimatutest faktoritest, oli siiski ka selle töö koostamise jooksul kogutud andmete põhjal näha, et valgustitest tulenev valgustatus ületab ka mitme meetri kaugusel valgustipostist mitmekordselt loomulikku valgustatuse taset. Selleks, et valgustatuse tase ei erineks nii palju loomulikust tasemest, võiks kaaluda kas valgustite välja lülitamist või nende töös hoidmist madalama valgusastmega hilistel öötundidel, kui inimesi liikleb vähem, sest mõõtmistulemused näitasid mitmes asukohas foonikski loomulikust valgustasemest mitu korda valgemat keskkonda. Ohutuse ning inimestes turvatunde tagamiseks võib sel juhul

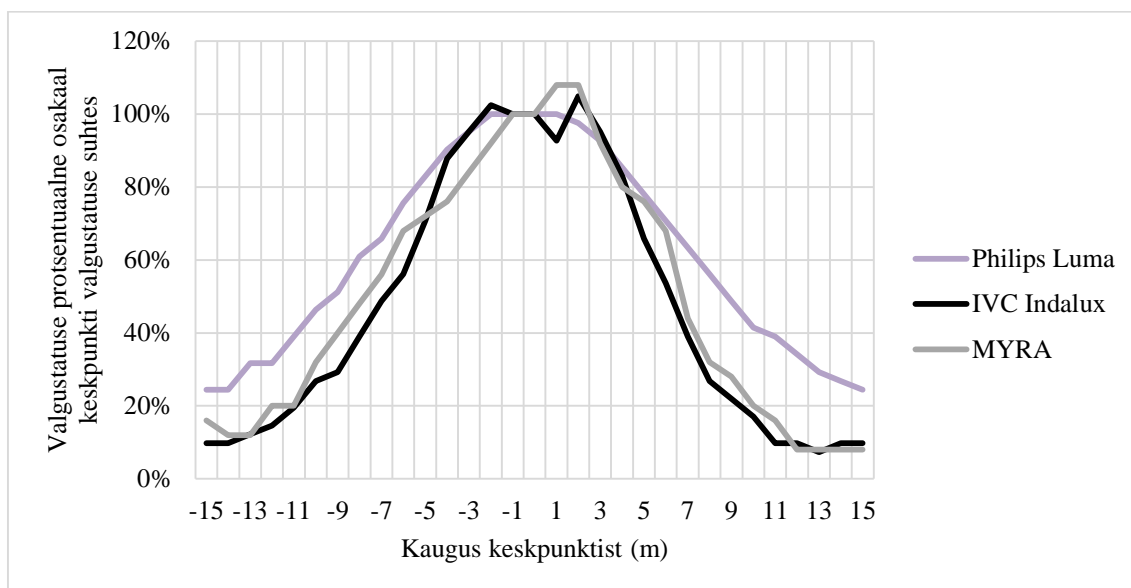
kasutusele võtta ka liikumisandurid, mis tagaksid inimeste olemasolul suurema valgustatuse taseme.

4.2 Kõrgete tänavavalgustite võrdlus

Kõrgete tänavavalgustite võrdluses on kolm erinevat tänavavalgustitüüpi (IVC Indalux, MYRA ning Philips Luma), millele edaspidistel graafikutel viidatakse nende tootenime järgi. Eelnevalt toodi tulemuste peatükis välja iga tänavavalgusti tüübi mõõtmistulemused lukside järgi. Järgnevalt võrreldakse neid tulemusi kõigil neljal teljel nii, et on välja arvatud punkti väärtuse protsentuaalne osakaal keskpunkti suhtes. Sealjuures on fooni väärtus igas punktis maha lahutatud.

4.2.1 Võrdlus esimese telje põhjal

Järgnevalt on välja toodud kolme erineva valgustitüübi valgustatuse erinevus esimese telje põhjal (Joonis 26).



Joonis 26. Kõrgete tänavavalgustite võrdlus esimese telje põhjal

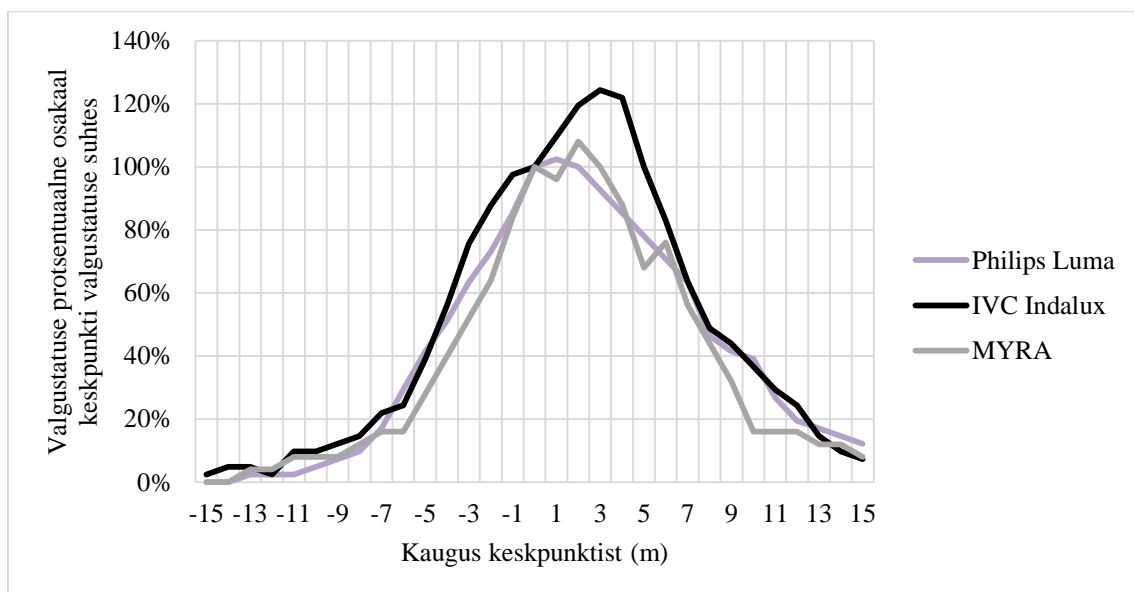
Esimene telg oli mõõtmiste ajal paralleelne autoteega ning kulges mööda selle valgustite poolset serva. Kõrgrõhunaatriumlampide (IVC Indalux ning MYRA) puhul on näha, et valgustatuse tase langeb kaugeimasse punkti jõudes võrreldes valgusti aluse punktiga ligi kümme korda ning erinevalt LED-lambist (Philips Luma) pole kõrgrõhunaatriumlampide

enim valgustatud punkt keskpunktis. LED-lambi valgustatus väheneb mõlemas suunas ühtlasemalt kui kõrgrõhunaatriumlampidel ning valgustatus püsib samal tasemel ka mitme meetri kaugusel mõlemas suunas. Isegi kaugeimas punktis pole valgustatuse tase langenud alla 24,39% keskpunkti valgustatusest. Samal ajal on langenud kõrgrõhunaatriumlambi IVC Indalux kaugeimas punktis 9,76%-ni keskpunkti valgustatuse tasemest ning MYRA 8%-ni.

Kuna tänavavalgustuse eesmärk on maksimaalselt valgustada teed, siis tee ühtlasema valgustatuse seisukohast on parim tänavavalgusti variant Philips Luma.

4.2.2 Võrdlus teise telje põhjal

Järgnevalt on välja toodud kolme erineva valgustitüübi valgustatuse erinevus teise telje põhjal (Joonis 27).



Joonis 27. Kõrgete tänavavalgustite võrdlus teise telje põhjal

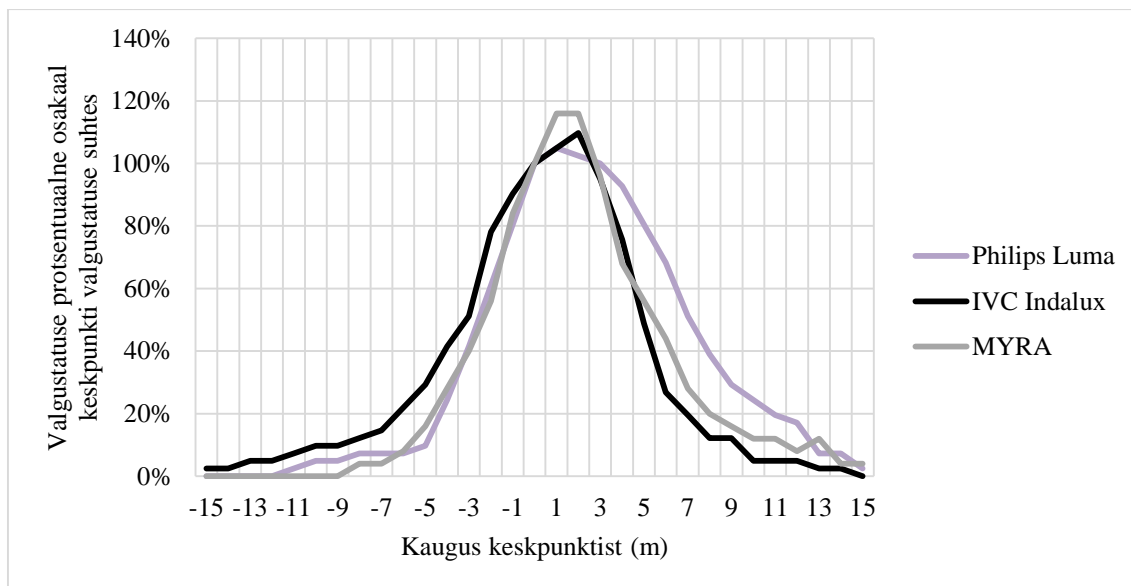
Teise telje puhul on kõigi kolme tänavavalgusti puhul näha, et valgust on rohkem suunatud tee peale kui valgusti taha (joonise miinuspoolel on valgustitagune ala) ning kõigil kolmel langeb valgustatus valgusti taga sarnaselt. Nii MYRA kui Philips Luma taga on valgustatus 13 m kaugusel jõudnud fooniga samale tasemele (MYRA puhul 0 lx-ni ning Philips Luma puhul 1 lx-ni). 15 m kaugusel valgusti taga on IVC Indalux ainus valgusti, mille valgustatuse tase pole jõudnud fooniga samale tasemele, kuid trendi

järgides peaks ka selle valgustiga valgustatuse tase 1–2 m jooksul fooniga samale tasemele jõudma.

Teisel pool, valgusti ees ja tee peal, on näha, et kõigi valgustite enim valgustatud punkt asub tee kohal. IVC Indalux enim valgustatud punkt asub 3 m kaugusel keskpunktist (selles punktis on valgustatuse tase 24,39% kõrgem kui keskpunktis), MYRA enim valgustatud punkt asub 2 m kaugusel keskpunktist (valgustatus on 8% võrra suurem kui keskpunktis) ning Philips Luma enimvalgustatud punkt (vaid 2,44% rohkem kui keskpunktis) asub 1 m kaugusel keskpunktist. 15 m kaugusel keskpunktist on Philips Luma valgustatuse tase kõrgeim (12,20% keskpunkti valgustatusest) ning MYRA ja IVC Indaluxil on valgustatuse tase ligilähedane (vastavalt 8% ning 7,32% keskpunkti valgustatusest).

4.2.3 Võrdlus kolmanda telje põhjal

Järgnevalt on välja toodud kolme erineva valgustitüübi valgustatuse erinevus kolmanda telje põhjal (Joonis 28).



Joonis 28. Kõrgete tänavavalgustite võrdlus kolmanda telje põhjal

Kolmas telg oli mõõtmiste ajal autoteega risti, kusjuures graafikul olev plusspool asus valgusti ees ning miinuspool valgusti taga.

Valgusti ees tõuseb kõigi kolme valgustitüübi puhul valgustatuse tase autotee kohal pisut valgustialusest punktist kõrgemale. Philips Luma enim valgustatud punkt on sellel teljel 1 m kaugusel keskpunktist (4,88% võrra suurem valgustatuse tase kui keskpunktis), IVC Indaluxi puhul 2 m kaugusel (9,76% võrra suurem valgustatuse tase kui keskpunktis) ning MYRA puhul 1–2 m kaugusel (mõlemas punktis 16,00% võrra suurem valgustatuse tase kui keskpunktis).

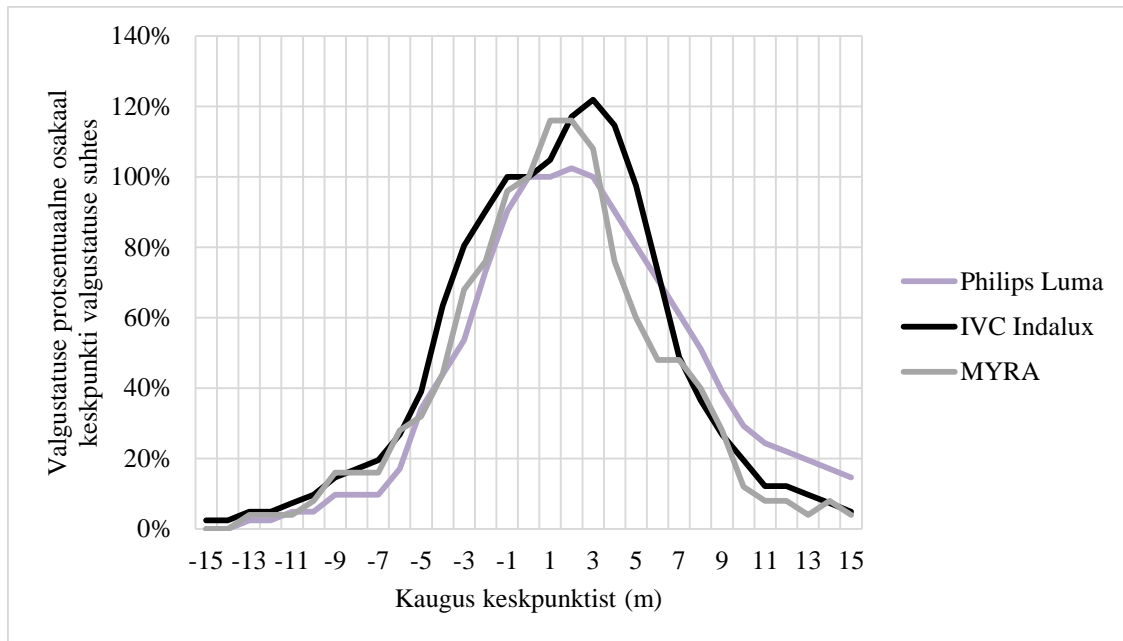
Kõige ühtlasemalt valgustab teed LED-valgusti Philips Luma, kuid samas ulatub antud tänavavalgusti puhul suurem valgustatuse tase kaugemale teisel pool autoteed paiknevale haljasalale. Kõige kiiremini langeb valgustatuse tase kõrgrõhunaatriumlambi IVC Indalux puhul, mille asukohas asub teisel pool teed ka kõnnitee, milleni jõuab tänavavalgustist madalam valgustatuse tase. Ülejäänud kahe valgusti puhul polnud mõõdetaval alal valgusti suhtes teisel pool autoteed kõnniteed ning valgustitest tulenev valgus valgustab vaid haljasala.

Kõigi kolme tänavavalgusti puhul langeb valgustatuse tase tänavavalgusti taga kiiremini kui tänavavalgusti ees. Kõige kiiremini langeb valgustatuse tase fooniga samale tasemele valgusti taga kobrapeaga kõrgrõhunaatriumtänavavalgustil MYRA (9 m kaugusel keskpunktist) ning kõige aeglasemalt sama lambipirnitüübiga valgustil IVC Indalux (15 m kaugusel pole veel valgustatuse tase fooniga samale tasemele jõudnud). LED-valgusti Philips Luma puhul langeb valgustatuse tase MYRAGA kuni 6. meetrini peaaegu identselt, kuid sealt edasi väheneb LED-valgusti valgustatuse tase aeglasemelt.

Philips Luma mõõtmiskohas oli autoteega paralleelne kergliiklustee, mille servas olid ka madalamad LED-valgustid (mida sellesse töösse ei kaasatud, sest kõrgemad valgustid oleksid mõjutanud madalamate valgustite mõõtmistulemusi) ning mis võisid natuke antud telje tulemusi mõjutada. Magistritöö jaoks sai küll valitud valgusti, mille puhul madalam LED-valgusti mõjutaks mõõtmistulemusi võimalikult vähe, kuid ei saa siiski väita, et need madalamad LED-valgustid ei mõjutanud kuidagi Philips Luma mõõtmistulemusi.

4.2.4 Võrdlus neljanda telje põhjal

Kuna teine ja neljas telg on mõlemad diagonaalselt üle tee, siis võiksid nende tulemused olla väga sarnased, kuid neil on siiski mõned erinevused. Järgnevalt on välja toodud kolme erineva valgustitüübi valgustatuse erinevus neljanda telje põhjal (Joonis 29).



Joonis 29. Kõrgete tänavavalgustite võrdlus neljanda telje põhjal

Neljandal teljel on enim valgustatud punkt kõrgrõhunaatriumlambil MYRA 1–2 m kaugusel keskpunktist (valgustatuse tase 16,00% võrra kõrgem kui keskpunktis), LED-valgustil Philips Luma 2 m kaugusel keskpunktist (valgustatuse tase 2,44% võrra kõrgem kui keskpunktis) ning kõrgrõhunaatriumlambil IVC Indalux 3 m kaugusel (valgustatuse tase 21,95% võrra kõrgem kui keskpunktis).

MYRA ja IVC Indaluxi valgustatuse jaotus on omavahel sarnasemad kui Philips Lumal. Philips Luma valgustatus väheneb valgusti ees aeglasemalt kui valgusti taga ning 15 m kaugusel on valgustatuse tase vähenenud 85,37%, kuid IVC Indaluxil on valgustatus vähenenud 95,12% ning MYRAL 96%.

On üllatav, et tänavavalgusti IVC Indalux valgustab ka valgusti taga 1 m kaugusel samal tasemel kui otse valgusti all. Samas ülejäänud kahe valgustitüübi puhul on valgustatuse tase MYRA puhul langenud 4% ning Philips Luma puhul 9,76%. Sarnane trend on näha ka 15 m kaugusel valgusti taga – Philips Luma ja MYRA valgustatuse tase on 15 m

kaugusel fooniga samal tasemel, HVC Indaluxil 2,44%. Teooria järgi peaks madalam valgustatuse tase olema suletud optikaga ning kõrgeim kobrapeaga valgustil, kuid antud mõõtmiste järgi seda hetkel neljanda telje põhjal väita ei saa, sest nii kinnise optikaga LED-valgustil kui ka kobrapeaga kõrgrõhunaatriumlambil on 15 m kaugusel valgusti taga valgustatuse tase fooniga samal tasemel.

4.2.5 Järeldused

Kõrgemate tänavavalgustite võrdluses on näha, et erinevalt madalamatest tänavavalgustitest on kõrgemate tänavavalgustite puhul valgus paremini suunatud tee peale ning valgus pole suunatud sümmeetriliselt ümber valgusti (vt täpsemalt: peatükk 3.2 Kõrgete tänavavalgustite mõõtmistulemused).

Teooria järgi peaks teepinna valgustamise ning valgusreostuse vähendamise seisukohast parim valgustitüüp olema suletud optikaga LED-valgusti, millega on võimalik paremini valgust suunata kui kõrgrõhunaatriumlambiga, kuid antud magistritöö raames teostatud mõõtmised näitavad, et see ei pruugi tingimata nii olla. LED-valgusti küll valgustab teepinda (ning ümbritsevat ala) kõrgrõhunaatriumlampidest ühtlasemalt, kuid antud magistritöö koostamise vältel saadud tulemused näitavad, et kobrapeaga kõrgrõhunaatriumlamp valgustab teeäärset haljasala kõige vähem.

Kui võrrelda omavahel kõrgrõhunaatriumlampe, siis on näha, et kuigi teoorias võib IVC Indalux olla astronoomilise valgusreostuse vähendamise seisukohast parem valik, siis ökoloogilise valgusreostuse vähendamise seisukohast tundub MYRA olema LED-valgusti Philips Lumaga isegi samaväärne kui mitte parem valik. Valgusti taga väheneb mõlema valgusti puhul valgustatus sarnaselt ning valgusti suhtes teisel pool autoteed asuva haljasala jaoks on isegi kobrapeaga kõrgrõhunaatriumlambi MYRA valgustatus soovimatul alal väiksem.

Samas soovitatakse kirjanduses eelistada pigem kõrgrõhunaatriumlampe LED-lampidele kuna LED-lampidel on sinise alatooniga valgus. LED-lambi kasutamisel moonutatakse vähem värve, kuid võib muuta taevast kuni 3 korda heledamaks kui punase valgusega kõrgrõhunaatriumlambiga, sest LED-lambi lainepikkus peegeldub teekattelt paremini tagasi. Punakas valgus aga meelitab ligi putukaid, nt ööliblikaid ning soodustab UV-

lainepikkuse pärast taimede kasvu, mistõttu järeldeb, et ühtainust perfektset varianti antud töö raames võrreldud lampide seas pole.

4.2.6 Soovitused

Kõrgemate tänavavalgustite valgusjaotus on madalamate valgustitega võrreldes ökoloogilise valgusreostuse vähendamise seisukohast parem, sest valgus ei jaotu valgustiposti ümber nii ühtlaselt, kuid sellest hoolimata jõudis kõigi kolme mõõdetud tänavavalgusti puhul valgustiposti taha haljasalale arvestatav kogus valgust. Valgustiposti tagusele alale, kuhu valgust reeglina nii palju vaja pole, jõudvat valgust saaks tõenäoliselt vähendada, kui lisada valgustitele füüsilised tõkked/ekraanid. Need võiksid olla näiteks lihtsad nelinurksed tõkked, mis blokeeriksid osa valgustiposti taha jõudvast valgusest, kuid ei mõjutaks tee peale jõudva valguse hulka.

Sarnaselt madalamatele tänavavalgustitele saaks ka kõrgemate tänavavalgustite puhul ökoloogilist valgusreostust vähendada, kui valgustid öistel vähese liiklusega aegadel ja kohtades kas välja lülitada või vähendada nende valgusintensiivsust. Lisavõimalusena saaks kasutusele võtta liikumisandurid, mis tagaksid liikumise tuvastamise korral nõuetekohase valgustatuse taseme.

Kokkuvõte

Valgusreostus on globaalne keskkonnaprobleem, kus öises keskkonnas muutub loomulik valgustase tehisvalguse tõttu soovimatus suunas. Valgusreostus häirib ja/või mõjutab inimesi ja loodust negatiivselt. Valgusreostust saab jaotada astronoomiliseks ja ökoloogiliseks valgusreostuseks ning mille üheks peamiseks põhjustajaks peetakse tänavavalgustust.

Antud magistritöö eesmärk oli uurida, millist mõju ökoloogilisele valgusreostusele omab tänavavalgustite disain ning võimalusel ka lambitüüp. Selleks valiti ühtsete põhimõtete alusel välja viis madalamat tänavavalgustit (kaks metallhaliidlampi ning kolm kõrgrõhunaatriumlampi) ja kolm kõrgemat tänavavalgustit (kaks kõrgrõhunaatriumlampi ning üks LED-lamp), mille ümber teostati kaheksas suunas mõõtmised 1,13 m kõrgusel maapinnast luksmeetriga Testo 545.

Mõõtmistulemuste põhjal koostati iga valgustitüübi kohta valgusjaotuse joonised, millel on näha, kuidas valgus jaotub ümber valgusti. Lisaks toodi mõõtmistulemused välja erinevate telgede põhjal. Kuna iga valgusti puhul sõltub saadud lukside arv lambipirni vanusest, laterna optika puhtusest ning vähesel määral ilmaoludest, otsustati valgustite omavahelisel võrdlusel kasutada kõikide lambitüüpide mõõtepunktide protsentuaalset osakaalu keskpunkti valgustatusest, kust on maha arvestatud fooni väärtus.

Selgus, et madalate tänavavalgustite puhul jaotub valgus enam-vähem sümmeetriliselt ümber valgusti, st et valitud madalamate tänavavalgustite puhul ei mõjuta nende välimus/disain väga palju valgusjaotust. Erinevusi esineb peamiselt enim valgustatud punkti osas – kolme valgusti puhul on enim valgustatud punkt otse valgusti all, kahel aga paari meetri kaugusel keskpunktist. Antud magistritöö raames saadud tulemuste põhjal aga ei saa teha lõplikku järeldust, kas ökoloogilise valgusreostuse vähendamise seisukohast on paremad metallhaliid- või kõrgrõhunaatriumlambid.

Samuti selgus, et kõrgemate tänavavalgustite puhul jaotub valgus teistmoodi kui madalatel – täpsemalt on näha, et kõrgemate tänavavalgustite puhul on valgus rohkem suunatud tee peale, kuigi arvestatav hulk valgust jõuab ka valgusti taha. Samuti oli selgelt

näha, et eeldus, et teepinna valgustatuses on LED- ning kõrgrõhunaatriumlampidel erinevad, vastas tõele.

Algul eeldati, et ökoloogilise valgusreostuse vähendamise seisukohast on paremad suletud optikaga valgustid, kuid antud magistritöö raames saadud tulemuste puhul ei saa seda lõplikult väita. Selgus, et kuigi kinnise optikaga LED-valgusti valgustab teed ühtlasemalt, jõuab selle valgustitüübiga rohkem valgust valgustiposti taha kui poolavatud optikaga kobrapeaga kõrgrõhunaatriumlambiga.

Ökoloogilise valgusreostuse vähendamiseks soovitati kasutada valgusteid, millega on võimalik valgust suunata. Valgustiposti taha jõudva valguse vähendamiseks võiks ühe lihtsa abinõuna lisada valgustitele näiteks nelinurksed ekraanid, mis vähendaksid valgusti taha jõudvat valgustatuse hulka, kuid ei vähendaks teepinna valgustatust. Lisalahendusena näeb töö autor võimalust kasutusele võtta liikumisandurid või lülitada valgustid vähese liiklusega ajal ning kohtades välja.

Summary

Ecological light pollution caused by street lighting design

Light pollution is a global environmental issue where natural light levels at nighttime are changed in an unwanted way due to artificial light. Light pollution can be categorized either as astronomical or as ecological light pollution, where in the former the light reduces the visibility of stars in the night sky, and where in the latter the light disrupts and/or affects people and nature in a negative way. One of the main causes for light pollution is street lighting.

The aim of this thesis was to study the effect that street lighting design and lamp types have on ecological light pollution. In order to achieve this, five lower (two metal halide and three high pressure sodium lamps) and three higher (two high pressure sodium and one LED lamp) street lighting fixtures were chosen according to uniform principles in the towns of Elva and Tartu. Each lighting fixture's illumination was measured in eight directions around the lighting fixture 1,13 cm above ground with a Testo 545 light meter. The measuring radius for the lower lighting fixtures was 8 metres and for higher lighting fixtures 15 metres. Background data was measured 15 metres from the base of lower lighting fixtures and 20 metres from the base of higher lighting fixtures, in a direction where other artificial light sources would have a minimum effect on the results. The distances were chosen so that other surrounding lights would have as little effect on the results, and also so that the greatest amount of data could be gathered.

In order to show how the light is distributed around the lighting fixtures, figures based on the measurements were drawn up for each lighting fixture type. The measurement results were also presented on four different axes. Since the measured luxes can differ due to the age of the light bulb, how clean or dirty the luminaire is, and also slightly due to the weather conditions, it was decided that luxes will not be used to compare different lighting fixtures with one another. Instead it was decided to calculate the percentage of data points in comparison to the center point where the background data measurement would be subtracted.

As a result of these calculations and figures it was clear that in case of the lower street lighting fixtures, the illumination is distributed almost symmetrically around the lighting fixture, meaning that the design does not seem to affect the illumination distribution around the lighting fixture. There are some slight differences in the point with the most illumination – with some of the lighting fixtures it was right beneath the lighting fixture, but for some it was a few metres from the fixture. The results that were obtained for this thesis are not definitive enough to say whether metal halide or high pressure sodium lamps are better for ecological light pollution reduction.

As a result of the aforementioned calculations and figures, it was also clear that the light distribution slightly differs with higher lighting fixtures. Where it was nigh impossible to direct the light with the lower lighting fixtures, it is clear that the light from the higher lighting fixtures is directed on the road, even though a considerable amount of light is also directed behind the lighting fixture where no light should be. It also appeared that there is a difference for road illumination between LED and high pressure sodium lamps – LED lamps illuminated the road more uniformly.

At first it was presumed that the best lighting fixtures for reduction of ecological pollution would be with closed optics, but the results obtained in the course of composing this thesis, do not necessarily agree with the presumption. Although it transpired that a lighting fixture with a LED lamp lights the road area more uniformly than similar lighting fixtures with high pressure sodium lighting fixtures with open optics, the results showed that the LED lamp also illuminates the area behind the lighting fixture more.

In order to reduce ecological light pollution, it is recommended to use luminaires where one can choose the direction of the light instead of the luminaires where the light is distributed evenly around the lamp post. In order to reduce the amount of light that is directed behind the lamps post, a small rectangular barrier could be installed on the lighting fixtures. In addition, although it was not discussed in detail, turning off the lights entirely or use of a motion sensor could be considered.

Tänuõnad

Autor soovib töö valmimisel tänada Elva ja Tartu Linnavalitsust, mille töötajatelt saadi töö jaoks vajalikud andmed tänavavalgustite kohta. Lisaks soovib autor tänada oma juhendajaid, Kai Kaldat ning Tiit Lepasaart.

Suur tänu Ülari Leesile abi eest välitöödel. Ilma Sinu abita oleks andmete kogumine kujunenud palju ajakulukamaks ning keerulisemaks.

Aitäh!

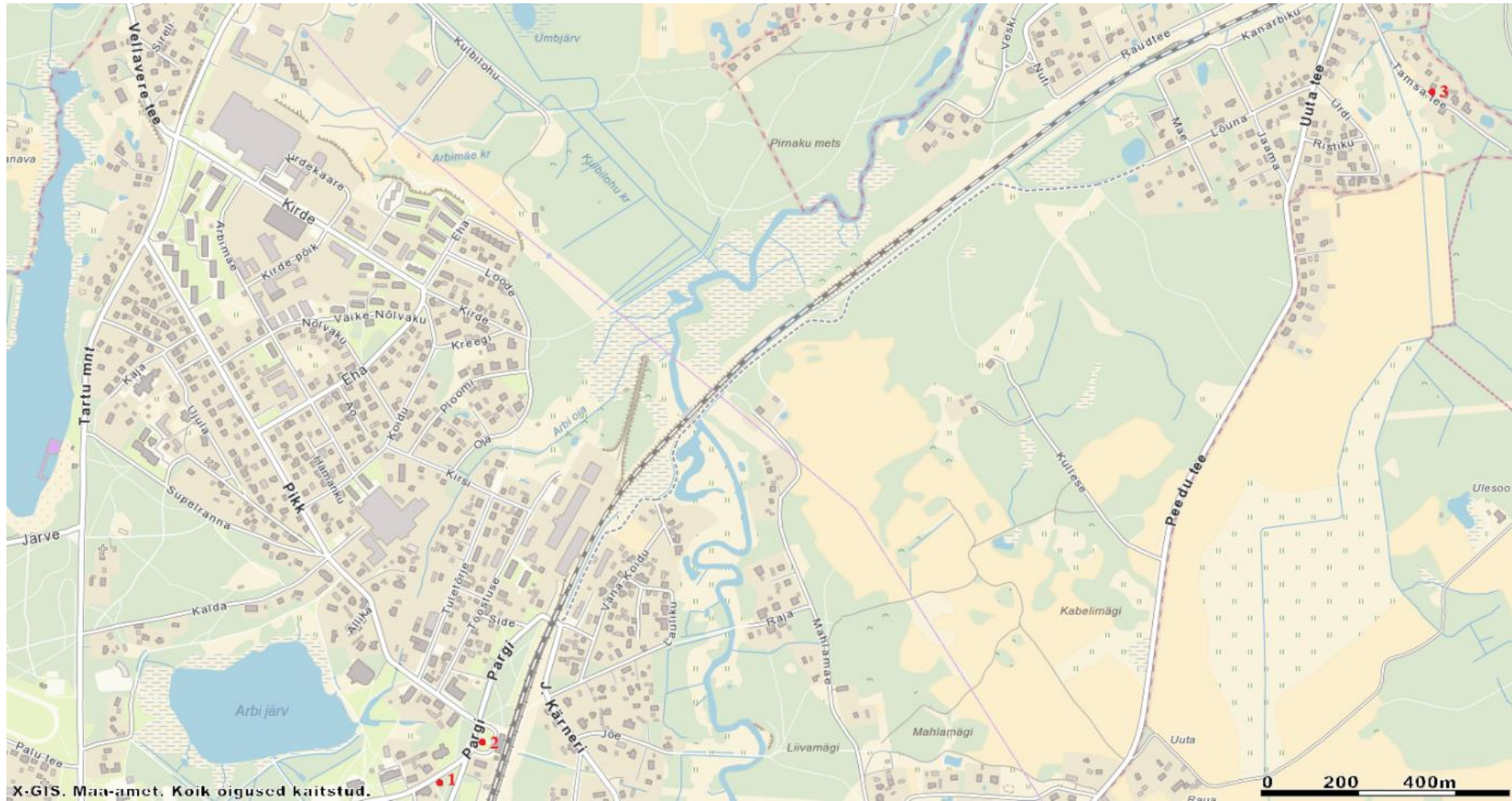
Kasutatud kirjandus

- Altpere, E. 1981. Valgustustehnika käsiraamat. Valgus. Tallinn. 329 lk.
- American Medical Association. 2016. AMA Adopts Guidance to Reduce Harm from High Intensity Street Lights. <https://www.ama-assn.org/ama-adopts-guidance-reduce-harm-high-intensity-street-lights> (08.02.2017)
- Aro, R., Kalman, M. Pool, L. 1998. Valgus., Rmt: Kaevats, Ü. (peatoim.) Eesti Entsüklopeedia 10, Türi – Y. Eesti Entsüklopeediakirjastus. Tallinn. 672 lk.
- Aubé, M., Roby, J. 2014. Sky brightness levels before and after the creation of the first International Dark Sky Reserve, Mont-Mégantic Observatory, Québec, Canada. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 139 (2014). pp 52–63.
- Briggs, W.R., 2006. Physiology of plant responses to artificial lighting. In: Briggs, W.R., 2006. Physiology of plant responses to artificial lighting. In: Rich, C., Longcore, T. (eds.). *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press. Washington, United States. p 389–411.
- Chepesiuk, R. 2009. Missing the Dark: Health Effects of Light Pollution. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2627884/> (08.02.2017)
- Cinzano, P. 1999. The propagation of light pollution in diffusely urbanised areas. In: Cinzano, P. (ed.). *Measuring and modelling light pollution*. Memorie della societa'astronomica Italiana. p 83–92.
- Cinzano, P., Falchi, F. 2014. Quantifying light pollution. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 139 (2014). pp 3–20.
- Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C.D. 2001. The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 328. pp 689–707.
- Di Sora, M. 1999. The fight against light pollution in Italy. In: Cinzano, P. (ed.). *Measuring and modelling light pollution*. Memorie della societa'astronomica Italiana. P 271–279.
- Euroopa Kosmoseagentuur. 2012. Night Lights in Europe. http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2012/03/Night_lights_in_Europe (10.02.2016)
- Falchi, F. 2011. Campaign of sky brightness and extinction measurements using a portable CCD camera. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 412. pp 33–48.

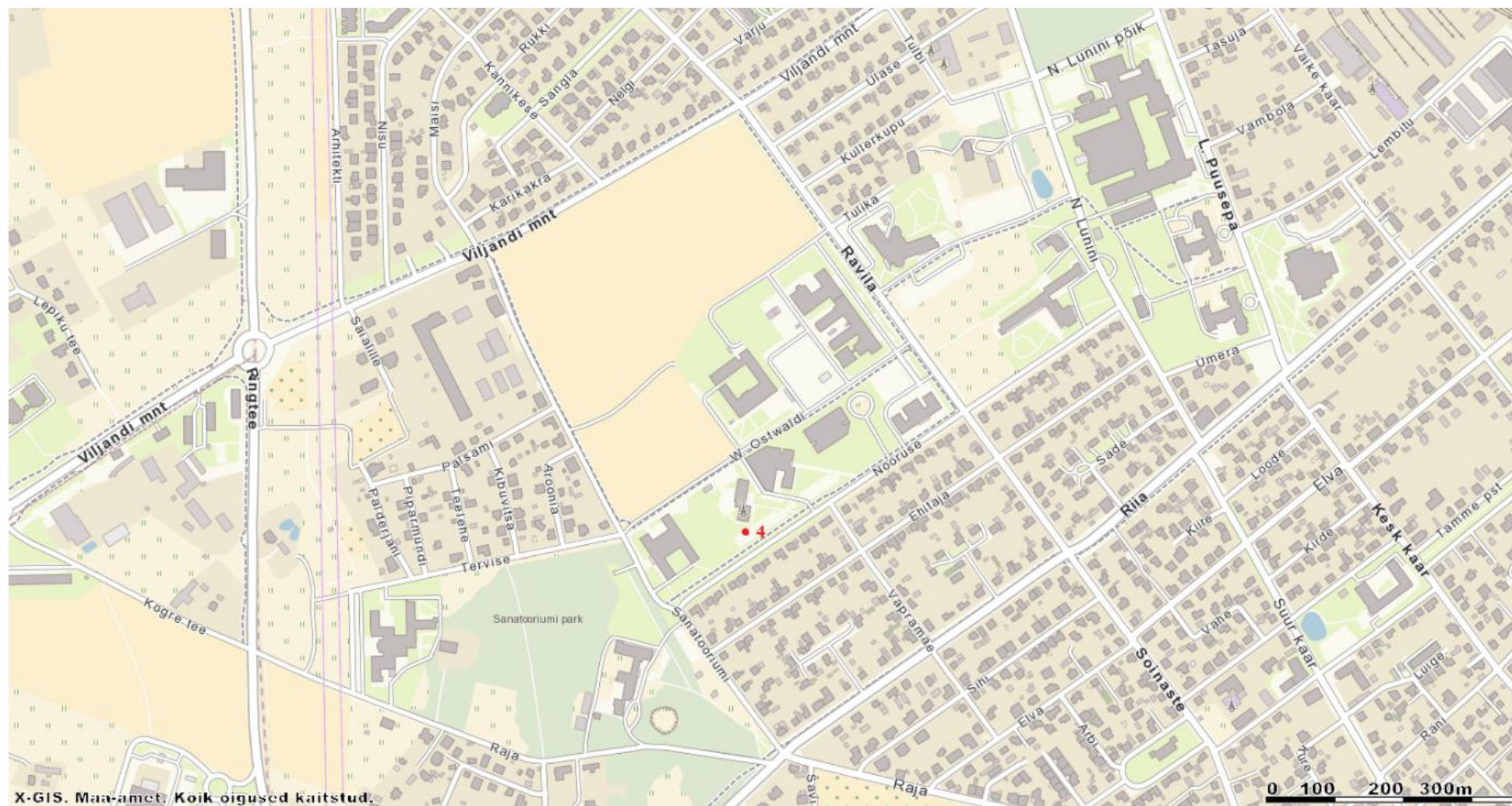
- Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C.D., Keith, D.M., Haim, A. 2011. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management* 92 (2011). pp 2714–2722.
- Gallaway, T., Olsen, R.N., Mitchell, D.M. 2010. The economics of global light pollution. *Ecological Economics* 69 (2010). pp 658–665.
- Hollan, J. 2009. What is light pollution, and how do we quantify it? http://amper.ped.muni.cz/light/lp_what_is.pdf (01.02.2016)
- Hölker, F., Moss, T., Griefahn, B., Kloas, W., Voigt, C.C., Henckel, D., Hänel, A., Kappeler, P.M., Völker, S., Schwöpe, A., Franke, S., Uhrlandt, D., Fischer, J., Klenke, R., Wolter, C., Tockner, K. 2010. The Dark Side of Light: A Transdisciplinary Research Agenda for Light Pollution Policy. *Ecology and Society* 15(4): 13. Internetis kättesaadav: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art13/> (28.02.2017)
- Kempenaers, B., Borgström, P., Löes, P., Schlicht, E., Valcu, M. 2010. Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Current Biology* 20. pp 1735–1739.
- Kuechly, H.U., Kyba, C.C.M., Ruhtz, T., Lindemann, C., Wolter, C., Fischer, J., Hölker, F. 2012. Aerial survey and spatial analysis of sources of light pollution in Berlin, Germany. *Remote Sensing of Environment* 126 (2012). pp 39–50.
- Kyba, C.C.M., Ruhtz, T., Fischer, J., Hölker, F. 2011. Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems. *PLoS ONE* 6(3): e17307
Internetis kättesaadav: <http://www.plosone.org/article/fetchObject.action?uri=info:doi/10.1371/journal.pone.0017307&representation=PDF> (20.03.2017)
- Longcore, T., Rich, C. 2004. Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 191. pp 191–198.
- Luginbuhl, C.B., Boley, P.A., Davis, D.R. 2014. The impact of light source spectral power distribution on sky glow. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 139 (2014). pp 21–26.
- Luginbuhl, C.B., Lockwood, G.W., Davis, D.R., Pick, K., Selders, J. 2009. From the ground up I: Light pollution sources in Flagstaff, Arizona. *Astronomical Society of the Pacific* Vol. 121. pp 185–203.
- Lyytimäki, J. 2013. Nature's nocturnal services: Light pollution as a non-recognised challenge for ecosystem services research and management, *Ecosystem Services* 3 (2013). pp 44–48.

- Lyytimäki, J., Tapio, P., Assmuth, T. 2012. Unawareness in environmental protection: The case of light pollution from traffic. *Land Use Policy* 29 (2012). pp 598–604.
- Maa-amet. 2017. Internetis kättesaadav: <https://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGIS> (07.04.2017)
- Marchant, P.R. 2004. A Demonstration That the Claim That Brighter Lighting Reduces Crime Is Unfounded. *British Journal of Criminology* 24 (2004). pp 441–447.
- Merkel, F.R., Johansen, K.L. 2011. Light-induced bird strikes on vessels in Southwest Greenland. *Marine Pollution Bulletin* 62 (2011). pp 2330–2336.
- Moore, M.V., Pierce, S.M., Walsh, H.M., Kvalvik, S.K., Lim, J. 2000. Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 27. pp 1–4.
- Morgan-Taylor, M. 2015. Regulating Light Pollution in Europe. In: Meier, J., Hasenöhr, U., Krause, K., Pottharst, M. (ed.). *Urban Lighting, Light Pollution and Society*. Routledge. New York. p 159–176.
- Peña-García, A., Hurtado, A., Aguilar-Luzón, M.C. 2015. Impact of public lighting on pedestrians' perception of safety and well-being- *Safety Science* 78 (2015). pp 142–148.
- Pottharst, M, Wukovitsch, F. 2015. The Economics of Night-Time Illumination. In: Meier, J., Hasenöhr, U., Krause, K., Pottharst, M. (ed.). *Urban Lighting, Light Pollution and Society*. Routledge. New York. p 203–223.
- Santos, C.D., Miranda, A.C., Granadeiro, J.P., Lourenço, P.M., Saraiva, S., Palmeirim, J.M. 2010. Effects of artificial illumination on the nocturnal foraging of waders. *Acta Oecologica* 36 (2010). pp 166–172.
- Stone, E.L., Jones, G., Harris, S. 2009. Street Lighting Disturbs Commuting Bats. *Current Biology* 19 (2009). pp 1123 – 1127.
- Tallinna Tehnikaülikool Füüsikainstituut. 2012. Valgusreostuse pikaajaliste muutuste uurimine Tallinnas ja valgusreostuse hetkeseisu määramine Eestis. 118 lk https://www.kik.ee/sites/default/files/Uuringud/aruanne_valgusreostus.pdf
- Verovnik, R., Fišer, Ž., Zakžek, V. 2015. How to reduce the impact of artificial lighting on moths: A case study on cultural heritage sites in Slovenia. *Journal for Nature Conservation* 28 (2015). pp 105–111.

LISAD



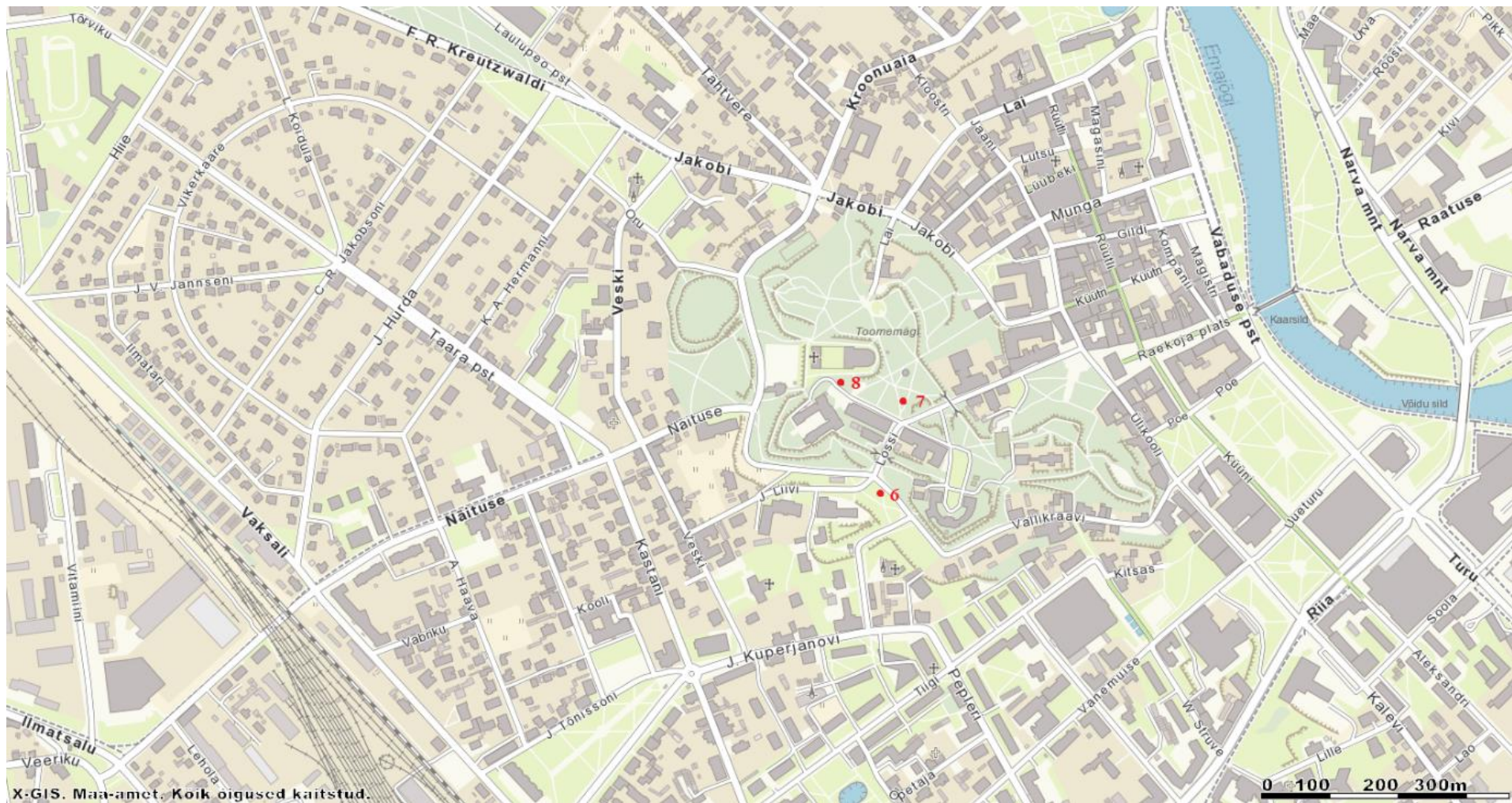
Joonis 1. Tänavavalgustite asukohad Elva linnas. Iga valgusti asukoht on tähistatud punase täpiga ning numbrid on vastavuses tabelis 2 olevate numbritega (Maa-amet, 2017)



Joonis 2. Tänavavalgusti asukoht Nooruse tn, Tartu linnas on tähistatud punase täpiga. Number on vastavuses tabelis nr 2 olevate numbritega (Maa-amet, 2017)



Joonis 3. Tänavavalgusti asukoht Muuseumi teel, Tartu vallas on tähistatud punase täpiga. Number on vastavuses tabelis nr 2 olevate numbritega (Maa-amet, 2017)



Joonis 4. Tänavavalgustite asukohad Toomemäel, Tartu linnas on tähistatud punaste täppidega. Numbrid on vastavuses tabelis nr 2 olevate numbritega (Maa-amet, 2017)



Joonis 1. Tänavavalgusti IVC Indalux öisel ja päeval ajal aadressil Kesk 38, Elva



Joonis 2 Tänavavalgusti Hard Metal öisel ja päeval ajal aadressil Pargi 2, Elva



Joonis 3. Tänavavalgusti MYRA öisel ja päevasel ajal aadressil Tamsa tee 6, Elva



Joonis 4. Tänavavalgusti IJB Indal öisel ja päevasel ajal aadressil Nooruse 7, Tartu



Joonis 5. Tänavavalgusti Philips Luma öisel ja päeval ajal Muuseumi teel, Tila külas, Tartu vallas



Joonis 6. Tänavavalgusti "Tartu" öisel ja päeval ajal aadressil Liivi 2, Tartu



Joonis 7. Tänavavalgusti Glob Thorn Jarnkonst Glob 8363 öisel ja päeval ajal Toomemäe pargis, Tartus



Joonis 8. Tänavavalgusti Glob Gewiss öisel ja päeval ajal Toomemäe pargis, Tartus

Tabel 1. Kõrgrõhunaatriumlambi mõõtmistulemused aadressil Pargi 2, Elva (lx)

Kaugus keskpunktist	Telg 1 (vertikaalne)	Telg 2	Telg 3 (horisontaalne)	Telg 4
-15 (foon)			1	
-8	4	5	4	4
-7	6	6	4	4
-6	7	9	7	8
-5	11	11	14	11
-4	19	19	19	19
-3	29	27	35	28
-2	42	40	50	47
-1	51	53	55	57
0	61	61	61	61
1	50	50	50	55
2	39	42	42	37
3	26	24	28	28
4	15	16	17	16
5	11	10	11	11
6	8	7	8	9
7	6	6	5	7
8	5	4	4	6

Tabel 2. Metallhaliidlambi mõõtmistulemused aadressil Nooruse 1, Tartu (lx)

Kaugus keskpunktist	Telg 1 (vertikaalne)	Telg 2	Telg 3 (horisontaalne)	Telg 4
-15 (foon)	1			
-8	4	3	2	4
-7	4	5	3	4
-6	4	7	4	4
-5	6	9	9	8
-4	9	12	13	14
-3	11	16	19	21
-2	14	16	25	27
-1	5	12	15	13
0	5	5	5	5
1	17	15	12	7
2	26	22	18	17
3	22	22	20	10
4	14	16	13	12
5	9	11	8	6
6	5	6	5	6
7	4	4	3	4
8	4	3	3	4

Tabel 3. Kõrgrõhunaatriumlambi mõõtmistulemused aadressil J. Liivi 2, Tartu (lx)

Kaugus keskpunktist	Telg 1 (vertikaalne)	Telg 2	Telg 3 (horisontaalne)	Telg 4
-15 (foon)			1	
-8	2	4	6	3
-7	3	5	10	3
-6	2	9	11	4
-5	2	10	13	4
-4	5	16	15	6
-3	6	24	24	10
-2	11	21	26	11
-1	11	13	12	14
0	7	7	7	7
1	12	14	12	12
2	19	13	26	22
3	19	9	27	21
4	11	7	15	16
5	5	4	11	11
6	5	4	9	11
7	5	3	7	7
8	6	2	10	6

Tabel 4. Selge klaasiga pallikujulise metallhaliidlambi mõõtmistulemused Toomemäel (lx)

Kaugus keskpunktist	Telg 1 (vertikaalne)	Telg 2	Telg 3 (horisontaalne)	Telg 4
-15 (foon)			1	
-8	3	2	2	4
-7	4	3	3	4
-6	5	4	4	5
-5	7	7	6	8
-4	11	11	10	11
-3	17	15	17	16
-2	27	27	26	27
-1	33	33	32	33
0	52	52	52	52
1	36	32	33	35
2	22	22	23	24
3	13	15	16	14
4	9	10	9	10
5	6	5	7	7
6	4	4	4	4
7	4	2	4	3
8	2	2	3	2

Tabel 5. Piimja klaasiga pallikujulise kõrgrõhunaatriumlambi mõõtmistulemused Toomemäel (lx)

Kaugus keskpunktist	Telg 1 (vertikaalne)	Telg 2	Telg 3 (horisontaalne)	Telg 4
-15 (foon)			2	
-8	2	3	3	2
-7	3	3	3	2
-6	3	4	4	3
-5	4	4	4	4
-4	5	5	4	4
-3	7	6	8	7
-2	11	10	10	11
-1	13	13	12	13
0	14	14	14	14
1	15	15	14	14
2	12	13	13	11
3	10	10	9	7
4	7	6	5	6
5	4	4	4	4
6	3	4	4	4
7	2	3	3	2
8	2	3	2	2

Tabel 6. Mõõtmistulemused kõrgrõhunaatriumlamp aadressil Kesk 38, Elva (lx)

Kaugus keskpunktist	Telg 1 (vertikaalne)	Telg 2	Telg 3 (horisontaalne)	Telg 4
-20 (foon)			0	
-15	4	1	1	1
-14	4	2	1	1
-13	5	2	2	2
-12	6	1	2	2
-11	8	4	3	3
-10	11	4	4	4
-9	12	5	4	6
-8	16	6	5	7
-7	20	9	6	8
-6	23	10	9	11
-5	29	16	12	16
-4	36	23	17	26
-3	39	31	21	33
-2	42	36	32	37
-1	41	40	37	41
0	41	41	41	41
1	38	45	43	43
2	43	49	45	48
3	39	51	39	50
4	34	50	31	47
5	27	41	20	40
6	22	34	11	30
7	16	26	8	20
8	11	20	5	15
9	9	18	5	11
10	7	15	2	8
11	4	12	2	5
12	4	10	2	5
13	3	6	1	4
14	4	4	1	3
15	4	3	0	2

Tabel 7. Mõõtmistulemused kõrgrõhunaatriumlamp aadressil Tamsa tee 6, Elva (lx)

Kaugus keskpunktist	Telg 1 (vertikaalne)	Telg 2	Telg 3 (horisontaalne)	Telg 4
-15	4	0	0	0
-14	3	0	0	0
-13	3	1	0	1
-12	5	1	0	1
-11	5	2	0	1
-10	8	2	0	2
-9	10	2	0	4
-8	12	3	1	4
-7	14	4	1	4
-6	17	4	2	7
-5	18	7	4	8
-4	19	10	7	11
-3	21	13	10	17
-2	23	16	14	19
-1	25	21	21	24
0	25	25	25	25
1	27	24	29	29
2	27	27	29	29
3	23	25	24	27
4	20	22	17	19
5	19	17	14	15
6	17	19	11	12
7	11	14	7	12
8	8	11	5	10
9	7	8	4	7
10	5	4	3	3
11	4	4	3	2
12	2	4	2	2
13	2	3	3	1
14	2	3	1	2
15	2	2	1	1
20 (foon)			0	

Tabel 8. Mõõtmistulemused LED-valgusti Muuseumi tee, Tila küla, Tartu vald (lx)

Kaugus keskpunktist	Telg 1 (vertikaalne)	Telg 2	Telg 3 (horisontaalne)	Telg 4
-15	11	1	1	1
-14	11	1	1	1
-13	14	2	1	2
-12	14	2	1	2
-11	17	2	2	3
-10	20	3	3	3
-9	22	4	3	5
-8	26	5	4	5
-7	28	8	4	5
-6	32	13	4	8
-5	35	18	5	15
-4	38	22	11	19
-3	40	27	18	23
-2	42	31	26	31
-1	42	36	34	38
0	42	42	42	42
1	42	43	44	42
2	41	42	43	43
3	39	39	42	42
4	36	36	39	38
5	33	33	34	34
6	30	30	29	30
7	27	27	22	26
8	24	20	17	22
9	21	18	13	17
10	18	17	11	13
11	17	12	9	11
12	15	9	8	10
13	13	8	4	9
14	12	7	4	8
15	11	6	2	7
20 (foon)			1	