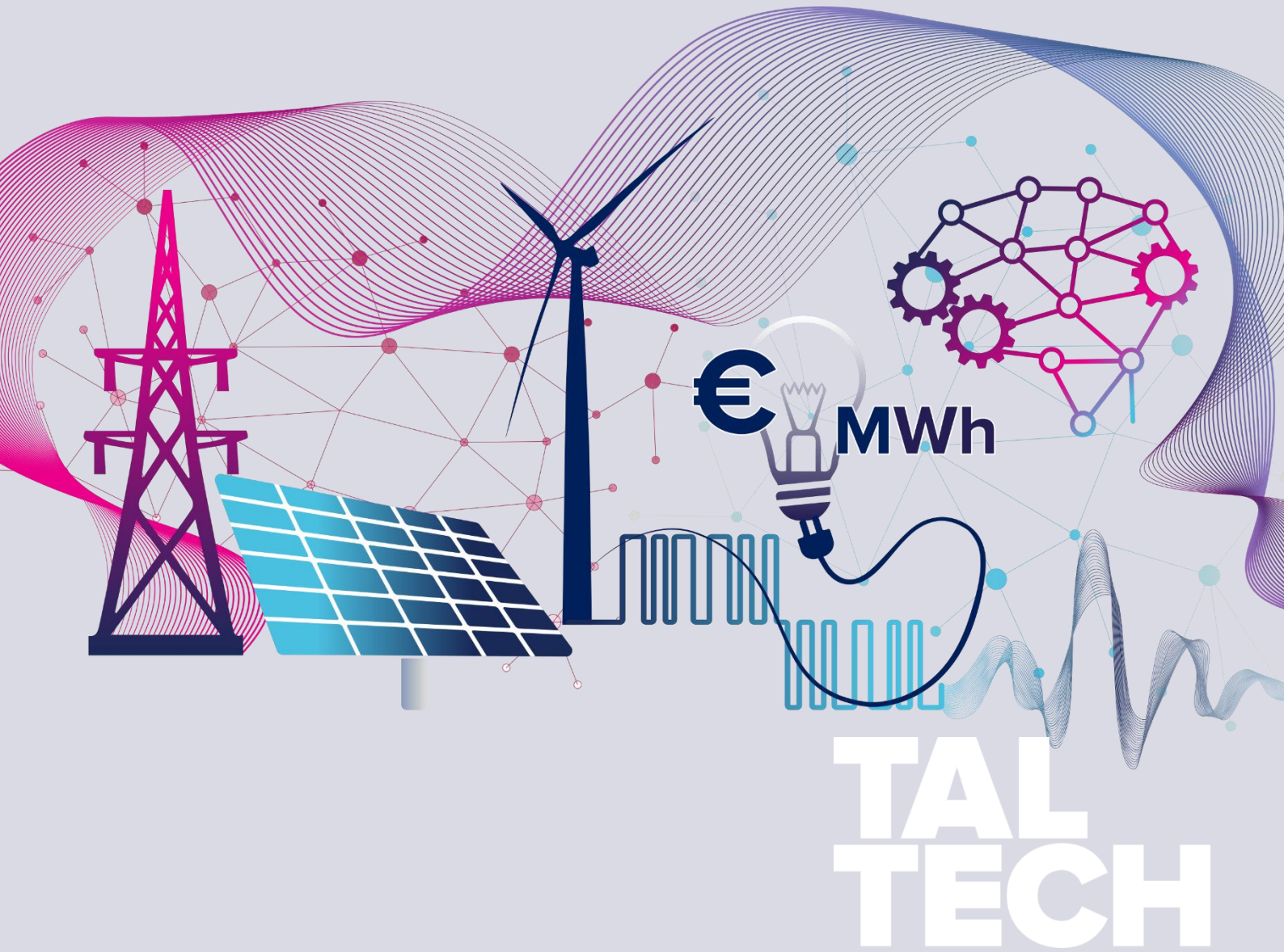




**TALLINNA LINNA
VALGUSTUSKESKKONNA
(VALGUSREOSTUSE JA RÄIGUSE)
HINDAMINE JA ANALÜÜS**

Uuringu aruanne

Elektroenergeetika ja mehatroonika instituut

**Tallinna linna valgustuskeskkonna
(valgusreostuse ja räiguse)
hindamine ja analüüs**

UURINGU ARUANNE

Tallinn 2023

RESEARCH WORK:

Assessment and analysis of the lighting environment (light pollution and glare) of the city of Tallinn

UURIMISTÖÖ:

Tallinna linna valgustuskeskkonna (valgusreostuse ja räiguse) hindamine ja analüüs

Tellijä: Enefit Connect OÜ

Reg. kood 16130213

Aadress: Veskiposti tn 2, 10138 Tallinn

Töövõtja: Tallinna Tehnikaülikool

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Reg. kood 74000323

Aadress: Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn

Algus: 23. november 2022

Lõpp: 24. märts 2023

Projekti juht: Argo Rosin, tehnikateaduste doktor

Põhitäitjad: Toivo Varjas, Martin Parker, Taavi Möller, Arvo Oorn

Sisukord

1.	Sissejuhatus.....	6
2.	Uuringu lähteülesanne.....	6
3.	Varasematest uuringutest ja regulatsioonidest ülevaade	7
3.1.	Siseriiklikud uuringud.....	7
3.2.	Rahvusvahelised uuringud	9
3.2.1.	Uuring „Review and Assessment of Available Information on Light Pollution in Europe 2022“	9
3.2.2.	Uuring „Helsinki Häiriövaloselvitys 2021“	15
3.2.3.	Uuring „Light pollution reduction measures in Europe 2022“	17
4.	Valgusreostuse ja räiguse mõju uuring keskkonna ja inimeste vaates.....	23
4.1.	Mõju keskkonnale	23
4.1.1.	Mõjud linnustikule	27
4.1.2.	Putukad, ämblikud ja muud maapealsed lülijalgased.....	28
4.1.3.	Kahepaiksed	29
4.1.4.	Nahkhiired.....	29
4.1.5.	Maapealsed taimed	30
4.1.6.	Kunstliku valguse mõjud bioloogilisele mitmekesisusele	32
4.1.7.	Helsingi valgusreostus uuring WSP 2021 [CHF21]	32
4.2.	Mõju inimestele	34
5.	Küsitlusmetoodika ja küsitlusvormi väljatöötamine.....	38
5.1.	Küsitlusmetoodika.....	38
5.2.	Sihtrühmad.....	38
5.3.	Küsitlusvorm – Valgusreostuse ja valgusräiguse uuring Tallinnas	39
6.	Valgustehniliste keskkondade kaugseire ja analüüs.....	40
6.1.	Meetodid.....	40
6.1.1.	Panoraamvaadete analüüs heledusmõõtekaamera piltidelt.....	40
6.1.2.	Satelliitpiltide analüüs.....	40
6.2.	Panoraamvaadete analüüs	41
6.2.1.	Panoraam mõõtmiste lähtekohad	41
6.2.2.	Panoraamvaate mõõtmised.....	41
6.2.3.	Haveni jahisadam.....	44
6.2.4.	Meeruse sadam.....	46
6.2.5.	Katariina kai Pikakari muul.....	50

6.2.6.	Pirita TOP	53
6.2.7.	Merivälja kai.....	54
6.3.	Satelliitpiltide analüüs.....	58
6.3.1.	Valitud Tallinna piirkondade analüüs.....	58
6.3.2.	Võrdlus teiste linnadega	63
7.	Kokkuvõte	71
8.	Kasutatud kirjandus	73
LISA 1.	Valgustusega seotud mõisted ja terminid.....	80

1. Sissejuhatus

Käesoleva uuringu koostaja on selle koostamisel kasutanud Tallinna Kommunaalameti, Enefit Connect OÜ poolt digitaalsel andmekandjal, paberkandjal, muul taasesitamist võimaldavas vormis esitatud andmekandjal ja kolmandate osapoolte poolt kättesaadavaks tehtud varasemate uuringute materjale (edaspidi Materjale). Analüüs on koostatud esitatud Materjalidest lähtudes. Uuringu koostaja ei vastuta käeolevas dokumendis vigade eest, mis tulenevad kättesaadavates andmetes olevatest vigadest või esitamata andmetest või asjaoludest, mis mõjutasid uuringu läbiviijast sõltumatult uurimistulemusi.

Käesolev uuring koosneb viiest põhiosast, üheksast peatükist ja ühest lisast.

Esimene osa – annab ülevaate varasematest siseriiklikest ja rahvusvahelistest uuringutest

Teine osa – käsitleb valgusreostuse ja räiguse mõju uuringut keskkonna ja inimeste vaates

Kolmas osa – kirjeldab tulevikus läbiviidava küsitluse metoodikat ja väljatöötatud küsitlusvormi

Neljas osa – kirjeldab valgustehniliste keskkondade kaugseiret ja analüüsi. See peatükk panoraamvaadete ja satelliitpiltide analüüsimeetodite kirjeldusest, panoraamvaadete ja satelliitpiltide analüüsist.

Viies osa – sisaldab kokkuvõtet

2. Uuringu lähteülesanne

Käesolev mõõtmiste aruanne on koostatud vastavalt töövõtulepingule nr 3-27/EE22/115 (LEEE22115, ID_6788636) ja selles esitatud lisale 3.

1. Töö teostamine on jagatud etappideks:

- Etapp 1 - Panoraamvaadete heleduse mõõtmine viies vaates vastavalt lisale 2;
- Etapp 2 - Tallinna linna valgustuskeskkonna (valgusreostuse ja räiguse) hindamine ja analüüs vastavalt lisale 3.

sisaldab järgmisi tegevusi:

- Varasematest uuringutest ja regulatsioonidest ülevaade
- Valgusreostuse ja räiguse mõju uuringut keskkonna ja inimeste vaates
- Valgustehniliste keskkondade kaugseiret ja -analüüsi
- Projekti aruande ja lühikokkuvõtte koostamine koostöös rahvusvaheliste ekspertidega
- Koondettekande tegemine projektist

3. Varasematest uuringutest ja regulatsioonidest ülevaade

3.1. Siseriiklikud uuringud

Siseriiklikult on valgusreostust uuritud suhteliselt vähe. Aastal 2012 teostas Tallinna Tehnikaülikool uuringu „Valgusreostuse pikaajaliste muutuste uurimine Tallinnas ja valgusreostuse hetkeseisu määramine Eestis“. Selles uuringus kajastati valgusreostust käsitlevat seadusandlust, valgusreostuse mõõtmise metoodikaid kui ka hetkeolukorra kaardistamist. Uuring lõpptulemusena formuleeriti ettepanekud, kuidas valgusreostust vähendada.

Nimetatud uuringus saadi Tallinna tähetornis keskmiseks taevafooni väärtuseks $1,7 \text{ mcd/m}^2$ ning aastatel 1968-1973 oli taevaheledus $4,3 \text{ mcd/m}^2$. Kahjuks ei olnud nimetatud suurused otseselt omavahel võrreldavad, kuna mõõtmised tehti erinevate valgusdetektoritega ning nende spektraalne tundlikus võis erineda. Arvestades mõõtemääramatust võis uuringu tulemusel öelda, et taevaheledus aastatel 1968-2012 jäi samaks. Kuigi põhisuurusest lähtudes võib eeldada, et taeva pimedamaks muutumine on tingitud õhusaaste vähenemisest ja looduslike takistuste, Mustamäel olev kõrghaljastus, suurenemisest. Joonisel (Joonis 3.1) on näha, kuidas on muutunud kõrghaljastus Tallinna tähetornist vaadates 50 aasta jooksul. [TAL12]



Joonis 3.1 Vaade Tallinna tähetornist 1960-test (a) kuni 2011 aastani (b) [TAL12]

Uuringus „Valgusreostuse pikaajaliste muutuste uurimine Tallinnas ja valgusreostuse hetkeseisu määramine Eestis“ toodud ettepanekud valgusreostuse piiramiseks jagunesid üldplaanis neljaks:

- o Valgustitega seonduvad soovitusel
- o Valgustatavate objektidega seonduvad soovitusel
- o Valgustusrežiimidega seonduvad soovitusel
- o Erikaitsetsoonidega seonduvad soovitusel

Näiteks soovitati rajada erikaitsetsoonid observatooriumitele, looduskaitsealadele ning muudele kohtadele, mis on määratud omavalitsuste poolt. Samuti tehti soovitusel erikaitsetsoonide suurusele ja valguspaigaldiste rajamisele. [TAL12]

Soovitatud valgustusrežiimid peavad tagama võimalikud väikese valgusreostuse ning tagama, et valgustuspaigaldist ekspuuteeritakse ainult vastavalt vajadusele. Samuti peaksid valgustatavad

objektid olema soovituslikult valgustatud ainult ülevalt alla suunas, et vältida valguse kiirgamist taevasse. [TAL12]

Aastal 2012 tehtud uuring soovitas kasutada välisvalgustiteks ainult valgusteid, mis ei kiirga horisontaaltasapinnast kõrgemale ning soovitus tagamiseks tuleks valgusteid varjestada. Samuti peaks olema võimalik valgusteid kontrollida eraldi. Valgustid ja valguspaigaldised peavad olema sellised, et ei oleks pimestamise ohtu inimestele. [TAL12]

Ülevaate valgusreostusest erinevates Eesti linnades andis Liina Tarkuse uurimustöö aastal 2015. Töös uuriti valgusreklaamide mõju öisele valguskeskkonnale ning kuidas Eesti linnad tegelevad valgustatud välireklaamide põhjustatud valgusreostuse vähendamise ja vältimisega linnaruumis. Vaatluse all olid viis Eesti linna: Tallinn, Tartu, Pärnu, Rakvere ja Jõhvi.

Nimetatud töös uuriti valgusreostuse reguleerimist järgnevatest aspektidest:

- Kuidas on praegu Eesti linnad tegelenud valgustatud välireklaamide tekitatud valgusreostuse probleemide vältimisega ja leevendamisega?
- Millised on nende linnade arengusuunad tulevikus valgusreostuse probleemiga tegelemisel, kaasa arvatud valgustatud välireklaamide linnakeskkonda paigutamise osas?

Töös vaatluse all olnud viiest linnast kahe puhul saab välja tuua valgustatud välireklaami paigaldamise regulatsiooni olemasolu linna õigusaktides. Need linnad on Tallinn ja Rakvere. Valgustatud välireklaamide paigutamisele linnaruumi on tähelepanu juhitud ka Tartu, Pärnu ja Jõhvi õigusaktides. [TAR15]

Valgustatud välireklaami linnaruumi paigutamine erinevates Eesti linnades ei olnud ühtselt reguleeritud, kuid nenditakse, et selles osas võib ilmselt tulevikus positiivseid arenguid oodata. Leiti, et valgusreostuse tekitatud probleemid mõjutavad tervisliku ja meeldiva linnakeskkonna loomist ja linnadel tuleb oma eesmärkide saavutamiseks ka nende probleemidega tegeleda. Näiteks Tallinna linnal on koostatud eraldi keskkonnakaitse arengukava, kus on otseselt märgitud ka vajadus valgusreostuse probleemidega tegeleda. Arengukavas on esitatud vajadus koostada uuring valgusreostuse mõju ja ulatuse kohta Tallinnas. Jõuti tõdemuseni, et Eesti linnades on veel liiga vähe kogemusi ja teadmisi sellest, milliseid probleeme liigne tehnilik valgus võib põhjustada. Valgus ja valgustatud välireklaamid moodustavad aina suurema ja olulisema osa linnakeskkonnast ning seetõttu on oluline selle seose suurem teadvustamine. Uuring toob välja, et vaatluse all olnud viiest linnast kõige põhjalikumalt on valgusreostuse probleemidega tegelnud Tallinn ning ka tulevikuplaanide osas saab linna pidada edumeelseks. Näiteks saab linna esile tõsta selle poolest, et ta on liitunud Rahvusvahelise Linnavalgustuse Liidu linnavalgustuse hartaga, mis samuti rõhutab valgusreostusest tulenevate probleemidega tegelemise vajadust linnaruumis. Samuti vaatamata sellele, et riiklikult seadusega valgusreostuse vähendamist ja vältimist veel ei reguleerita, on Tallinn selle probleemiga juba teatud määral tegelenud, reguleerides valgustatud välireklaami paigaldamise tingimusi. [TAR15]

Seoses hoiakute muutumisega keskkonda ning Euroopa Liidu poolt kehtestatud nõudeid, nt direktiivid 2014/23/EL, 2014/24/EL ja 2014/25/EL, on Eestis uuritud valgusreostuse vähendamiseks tehtavaid samme keskkonnahoidlike riigihangete raames. Aastal 2020 teostas Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus ja Advokaatibüroo FORT Keskkonnahoidlike riigihangete analüüsi, mille käigus

analüüsiti keskkonnahoidlike riigihangete kohustuslike valdkondade kehtestamist ning esitleti juhendmaterjale. Samuti teostati 15 erineva valdkonna turuanalüüs.

Nende valdkondade seas uuriti ka ettevõtete valmisolekut pakkuda keskkonnahoidlikele kriteeriumidele vastavat teevalgustust ning valgusfoore. Nimelt uuriti pakkujate käest muuhulgas, kas neil on võimalik pakkuda vähese valgusreostusega teevalgustusseadmeid. 15 erinevast valdkonnast valiti analüüsi käigus välja neli, mille kohta esitleti juhendmaterjale. Üks neljast, mille kohta juhendmaterjal koostati, oli teevalgustus. [STO20]

Keskkonnahoidlike riigihangete analüüsi lisa 5, Teevalgustuse Keskkonnahoidlike riigihangete kriteeriumid, soovitusel Eesti teevalgusti hangete kriteerimitele [STO20]:

- Hangitavate valgustite ülespoole suunatud osatähtsus 0,0% kogu valgusti valgusest
- Hangitavate valgustite valgusest peaks olema 97% suunatud vertikaaljoone suhtes 75,5° koonuses alla poole
- Valguse värvustemperatuur (CCT) peaks olema vahemikus 2700 K kuni 4000 K, elurajoonides alla 3000 K
- Hangetes peaks olema sissekirjutatud kohustuslikud kontrollmõõtmised akrediteeritud labori poolt
- Motoriseeritud teede puhul peaks olema kontrollmõõtmiste tulemusena esitatud vähemalt keskmine teeheledus L , pikiühtlus U_l , üldühtlus U_o , valgusallika värviesitlusindeks R_a ja valgusallika värvustemperatuur CCT

3.2. Rahvusvahelised uuringud

3.2.1. Uuring „Review and Assessment of Available Information on Light Pollution in Europe 2022“

Rahvusvaheliselt on valgusreostus uuritud erinevatest aspektidest. Alates valgusreostusele korrektsest defineerimisest, mõõtmismetoodikatest ning mõjust kuni erinevate regulatsioonideni, mida erinevad riigid ja piirkonnad on valgusreostuse vähendamiseks kehtestanud. Uuring „Review and Assessment of Available Information on Light Pollution in Europe“ on aastal 2022 teostatud uuring valgusreostuse kohta saadaoleva teabe ülevaate ja hindamise koondkokkuvõtte, mis käsitleb mitmeid uuringuid ja teadusartikleid. Selle aruande eesmärk oli kirjeldada, millised on valgusreostuse peamised mõjud inimese tervisele, bioloogilisele mitmekesisusele ja ökosüsteemidele. Lisaks uuriti, kas on olemas valgusreostuse hindamiseks tunnustatud standardeid ja seiremeetodeid ning millist rolli mängivad satelliidipildid valgusreostuse hindamisel. Samuti toodi uuringus välja, millised on EL liikmesriikide ja teiste edumeelsete riikide õiguslikud alused valgusreostuse jälgimiseks ning kontrollimiseks.

Valgusreostust, -saastet kirjeldatakse tihti kui loomuliku öötaeva heleduse suurenemist atmosfääri alumises kihis eralduva tehisvalguse tõttu [BEN15], [FAL16]. Mõnes teises definitsioonis rõhutatakse valgusreostuse nähtuse negatiivset olemust, kirjeldades kui pimeduse halvenemist, liigset või soovimatut valguse emissiooni, mis on põhjustatud energiat raiskavast kasutamisest [GAL10], [HÖL10], [LAP21]. [WID22]

Olulisemad valgusreostust soodustavad allikad on tänavalgustus, ehitusplatse ja ärihooneid valgustavad (turva)valgustid, spordirajatistel või avamere (nafta)platvormidel kasutatavad

prožektorid ja erinevad reklaamvalgustid [GAS12]. Nüüdisaegne keskkonnoaht, valgusreostus, on visuaalselt näha kui suur linnastunud aladelt taevasse kiirgav tehisvalgus, põhjustades tööstusriikide linnade kohale heleda kupli moodustumist [CIN00]. Seda olukorda võidakse nimetada ka kunstlikuks taeva laotuseks kuna tehisvalgus jääb linnade kohale just valguskiirguse peegelduse tõttu veepiiskadelt pilvedes või tolmuosakestelt [CIN00]. [WID22]

Mitme valgusti liigse konsentratsiooni puhul, kui tulemuseks on ebaühtlane ja ülemäärane valgustus, tekkibki risustumine, i.k. *clutter* (reostus). Põhjuseks võib olla ka valgustite järk-järguline lisandumine, selle asemel, et neid eesmärgi püües vältida. [WID22]

Visuaalset ebamugavust võib selgitada otsese valgusega, millele inimesed ja loomad reageerivad silmi kättades. See muudab nägemisteravust, mille tulemuseks on kohene suutmatuse silma fookuses olevaid detaile eristada ning ekstreemjuhtudel isegi põhjustada ajutist pimestamist [BUL08]. Üldiselt kvalifitseeruvad taevatingimused valgusreostuseks, kui taeva heledus on kasvanud 10 % võrreldes loomuliku heledusega [FAL16]. [WID22]

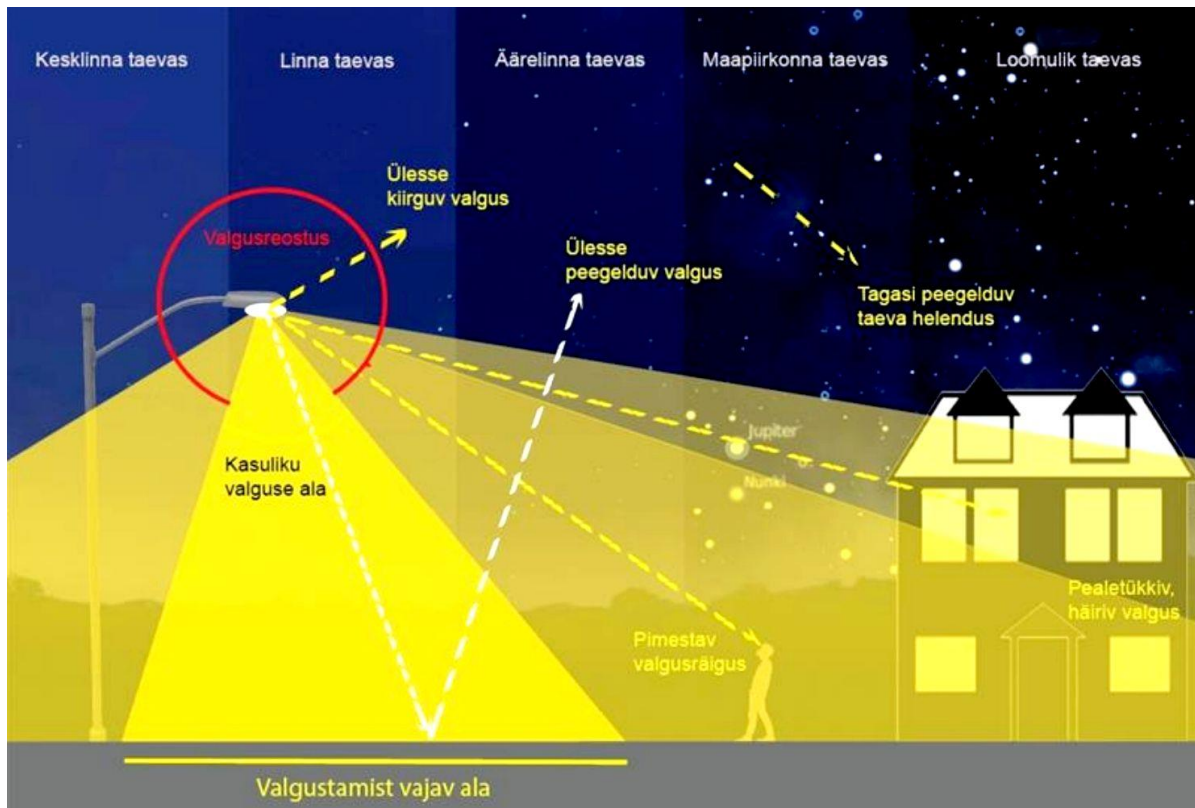
Seoses maailma rahvastiku tohutu kasvuga, inimestaristu kiire arenguga ja linnade laienemisega suurenes valgusreostuse tase 20. sajandi teisel poolel igal aastal ligikaudu 20 % [HÖL10]. Tänapäeval elab enam kui 80 % maailma elanikkonnast ning üle 99 % Euroopa elanikest valgusreostusega taeva all. Rohkem kui kolmanik inimekkonnast, sealhulgas 60 % eurooplastest ei näe oma kodust taeva valguse tõttu Linnuteed [FAL16]. Kui globaalsete kunstlikult valgustatud keskkondade pindala kasvab hinnanguliselt 2,2 % aastas, siis enim asustatud piirkondades on valgusreostuse aastane intensiivistumine olnud koguni 6 % [KYB17]. [WID22]

Suurenev taeva heledus on kaasnev suundumus globaalse majandusarenguga ning sellel on mitmeid kahjulikke mõjusid inimeste tervisele, bioloogilisele mitmekesisusele ning looduslikele ökosüsteemidele. Modernse inimekkonna laienemist saadab uute teede, ärihoonete ja eramajade valgustamine, millega kaasneb valguse hajumine ümbitsevatesse ökosüsteemidesse. [BEN12] [WID22]

Tehisvalgus peegeldub ja hajub atmosfääris olevate aerosoolide kaudu, mille tulemusele tungivad linnavalgustid ümbitsevatesse ökosüsteemidesse, maastikukaitsealadele ja maapiirkondadesse. Suurenenud linnakeskuste valgustus on sageli nähtav enam kui 160 km kaugusele. Järelikult on 18,7 % maapinnast avatud öise taeva heledusele, mis on liigitatud valgusreostuseks. [LON04] [WID22]

Tehisvalguse kasutamist ning sellega seonduvat valgusreostust illustreerib järgmine joonis (Joonis 3.2). Kasulik tehisvalgus võib endaga kaasa tuua valgusreostuse ning räiguse valgusti läheduses nt valgusti läheduses olevate inimeste pimestamine ja hoonete valgustamist aladel, mis ei olnud valgusti paigaldamise eesmärgiks. Samuti võib tehisvalgus kiirata ülespoole horisontaaltasapinnast ning kaugemal peegelduda tagasi maapinnale, põhjustades seeläbi valgusreostust.

Liigne inimekkeline valgustus ei ole ainult valgusreostuse allikaks, vaid viitab nii elektri raiskamisele kui ka suurematele süsinikdioksiidi heitkogustele, mis soodustab globaalset soojenemist. Maailmas on halvasti projekteeritud valgustusseadmete tõttu 30 % tehisvalgusest suunatud sinna, kuhu see ei peaks jõudma ja on seetõttu kasutamata ning tekitades ligi 9 miljardit USD majanduslikku kahju aastas. [GAL10] [WID22]



Joonis 3.2. Teedevalgustitega loodud tehisvalgustus ning valgustuskeskkondade muutused. [LII18]

Viimase kahekümne aasta jooksul on valgusreostuse mõju uurivate teaduspublikatsioonide arv kümnekordistunud, mis annab tunnistust kasvavast murest ja selle probleemi süvenemisest [ROD21] [WID22].

Vastusena käimasolevale kliimakriisile keskenduvad kaasaegsed valgustusstrateegiad üha sagedamini vähese süsinikdioksiidiheitega energiatõhusatele süsteemidele. Selle tulemusena lähevad paljud riigid tavapäraselt valgusallikatelt üle valge valgusega valgusdioode kasutatavatele valgustitele, mille lühema lainepikkusega valgust kiirgav väljund on spektri sinises osas suurem. [GAS12] [WID22]

Säästvad valgustussüsteemid pole mitte ainult energiatõhusad, vaid ka kulutõhusad, mis globaalses mastaabis võib viia valgustuse suurenemiseni piirkondades, mis varem on olnud pimedad, nõrgalt valgustatud või valgustatud vaid lühikese aja jooksul [KYB17]. Vaatamata sellele, et uued valgusallikad näivad heledamad ja säästvad märkimisväärselt energiat, mõjutavad nad negatiivselt loomulikku öötaeva heledust ning võivad põhjustada valgussaaste kahjulikke ökoloogilisi mõjusid linnakeskustest kaugemal [CHE10]. [WID22]

Ökoloogid, kes tunnevad muret valgusreostusest tingitud ökosüsteemide halvenemise pärast, soovivad eristada astronoomilist valgusreostust ökoloogilisest valgusreostusest. Tehisvalguse emissioonist põhjustatud taeva heledamaks muutumist astronoomilise valgusreostuse puhul käsitletakse kui taevaobjektide nähtavuse halvenemist, siis ökoloogilise valgusreostuse puhul kui öise keskkonna halvenemisest tulenev negatiivne mõju elusloodusele [LON04]. Kuna loodusliku valguse stiimulid käivitavad mitmesuguseid füsioloogilisi protsesse, keskenduvad öise tehisvalguse negatiivseid mõjusid uurivad uuringud enamasti tehisvalguse võimele kutsuda esile valesi ajastatud

või valesti suunatud reaktsioone, mis põhjustavad ebasoodsaid meditsiinilisi või ökoloogilisi tagajärgi [SAN21]. [WID22]

Seega, lisaks taevavalgusele on valgusreostust mitut tüüpi, sealhulgas valgusega risustamine, valgusega rikkumine ja pimestamine. Valgusega rikkumine defineeritakse kui inimitekkeline valgus, mis tungib piirkondadesse, kus see on tahtmatu või soovimatu. See on eriti kahjulik elumupiirkondades, kui see on suunatud eramajadesse, mille tulemuseks on magamisharjumuste muutused, ning piirkondades, kus on valgustundlik elusloodus ja/või ökosüsteem. Sellise sissetungimise põhjuseks on sageli tänavavalgustus, foorid, sõidukite esituled, hoone sisevalgustid või reklaamsildid, -ekraanid ning kõik see võib püsivalt elanikke häirida. [SCH86] [WID22]

Valgusreostust on mõõdetud ning hinnatud erinevate meetoditega. Sellised meetodid on näiteks mõõtmised luksmeetriga, heledusmõõturiga, kalasilm- ja lainurkobjektiiviga digitaalsete heledusmõõtekaameratega, taeva kvaliteedimõõturiga, *SQM* (ik. *Sky Quality Meter*), valgusmõõturiga, mis põhineb päikesepaneelidel, spektroskoopidega ning tähtede loendamise meetodikaga kui ka satelliitpiltide analüüsiga.

Käesolevas uuringus kasutatakse valgusreostuse analüüsiks kahte meetodit: horisontaalsihis valguse hindamiseks panoraamvaadetenähtud mõõteandmestikuga heleduspilte ning ülevalt vaate hindamiseks satelliitidelt tehtud mõõtmisi. Mõõtmistulemused on kajastatud peatükis 6.

Valgustustiheduse mõõteseade e luksmeeter ja **heledusmõõtur** erinevad mõõtemetodi ja mõõtmise täpsuse poolest. Enamike luksmeetrite olulisem puudus on madal tundlikkus vähesel valgusel korral. Mõõtmine toimub punkthaaval ning mitme punkti samaaegseks mõõtmiseks on vaja mitut mõõteseadet. Kalasilm- ja lainurkobjektiiviga digitaalsete heledusmõõtekaamerate mõõtmise täpsus sõltub kalibreerimisprotseduurist. Mõõtepiltide kvaliteet sõltub ka objektiivi vinjeteerimisest, lainurkobjektiivide geomeetrisest moonutusest ja kaamera värvitundlikkusest. Kaameraga saab üles võtta mõõtepildi suuremast alast, kus siis mõõdetakse ühel ajahetkel suuremat ala ning saadakse mõõtepunktide massiiv. [WID22]

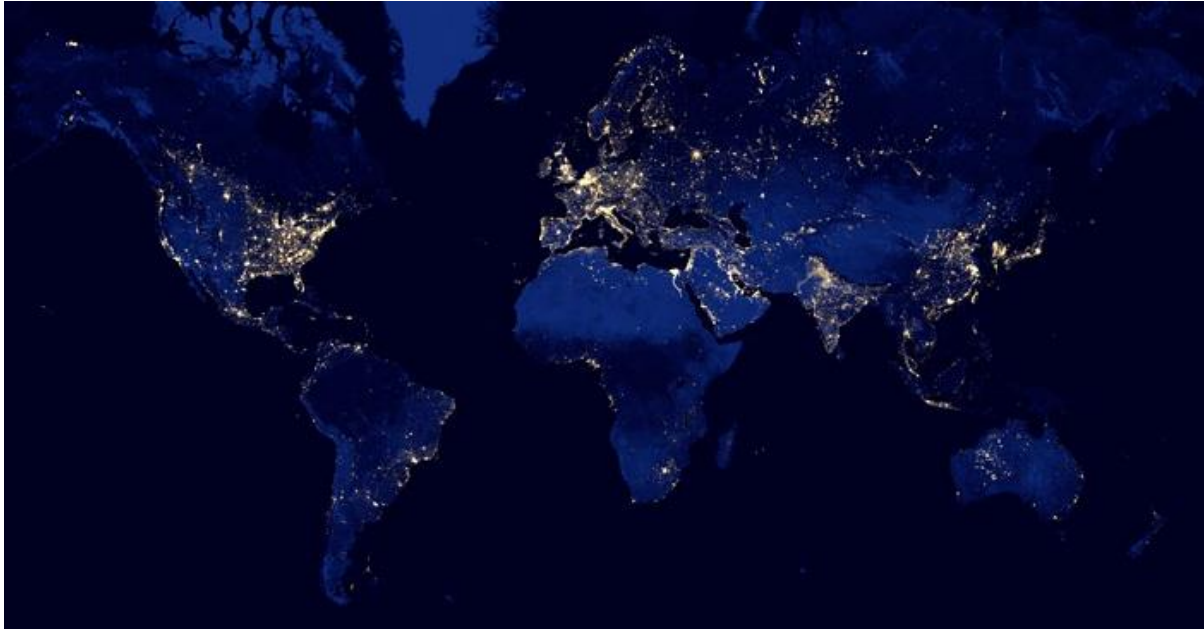
Taeva kvaliteedimõõtja, *SQM*, mõõdab öötaeva fotomeetriat. Seda seadet kasutavad peamiselt amatöörastronoomid ja tavakasutajad. Puuduseks on madal mõõtetäpsus. Mõõteanduri voolu mõõtes antakse hinnanguid nii konkreetse asukoha valgustustiheduse kui ka kiirgustiheduse kohta.

Päikesepaneelidel põhinev valgusmõõtur on ilmastikukindel ja mõeldud valguse emissioonide pikaajaliseks jälgimiseks. Sisseehitatud päikesepaneeli voolu mõõtes antakse hinnanguid nii konkreetse asukoha valgustustiheduse kui ka kiirgustiheduse kohta. [WID22]

Tähtede loendamise meetodika põhineb meetodil, kus valgusreostatud aladelt tulev heledus peegeldub taevast ja vähendab palja silmaga tuvastatavate taevaobjektide arvu ning nende loendamisel saadakse valgusreostust kirjeldav suurus. Kuna neid andmeid kogutakse ebasüsteemiliselt, on tulemuste usaldusväärsus madal.

Spektroskoopilisi mõõtmisi tehakse enamasti rahvusvahelistes astronoomilistes vaatluskeskustes ja uurimisasutustes. Igal valgusallikal on spektris ainulaadne lainepikkus, mis teeb võimalikuks erinevate valgussaastet põhjustavate emissioonide tuvastamise. [WID22]

Pimeajal (aeg päikese loojangu ja tõusu vahel) kosmosest tehtud **sateliitpildid Maa pinnast** annavad teavet valguse emissiooni ruumilise jaotuse kohta (Joonis 3.3), mida saab kasutada ruumiliste ja erinevatel aegadel tehtud mõõtmiste puhul ka pikaajaliste muutuste hindamiseks. Satelliidipilte kasutavaid teadlasi huvitab enamasti valgussaaste arengute kuvamine kasutades parimaid saadaolevaid andmeid. Seetõttu on viimase kümne aasta modelleerimiseks kasutatud peaaegu eranditult VIIRS andmeid. [WID22]



Joonis 3.3 Pimeajal tehtud sateliitpilt Maast¹

Tehtud on mitmeid katseid, et määrata heledust asukohtades, kus on tõeliselt pime. Looduslike valgusallikate tõttu ei ole öine teavas kunagi täiesti pime ning seda heleduse taset mõõdetakse mag/arcsec²-s. Üldiselt ollakse veendunud, et kuuta öö taeva tausta heledus on 22 mag/arcsec², mida käsitletakse madalaima öötaeva heledusena [FAL16]. Mõõtes öötaeva heledust erinevates kaitsealuste kohtades üle maailma, uuriti nimetatud suuruse täpsust. Tulemuseks oli, et taeva nn tausta heledus oli mõõdetud kohtades erinev ning parimaks hinnanguks soovitati 22,7 mag/arcsec² [ALA21]. Samuti leiti, et öötaeva heledus muutub vahemikus $\pm 2,7$ mag/arcsec² [HÄN18] [POS18]. Kasutades mõõtühikuid mcd/m² hinnati Poola mägedes öötaeva heledus vahemikku (0,27-1,71) mcd/m² [SCI12]. [WID22]

John E. Brotle töötas aastal 2001 välja meetodi öötaeva kvaliteedi hindamiseks, liigitades mõõdetud heleduse tasemed üheksasse kategooriasse, mida tuntakse ka Brotle'i skaala nime all. Väärtused on kohandatud NELM-ina (palja silmaga vaadatavate objekti suuruse limiit) ja peaksid astronoomidele andma infot taevakehade nähtavuse kohta. Asukoht, kus NELM on suurem kui 7, on kvalifitseeritud tüüpilise tõeliselt pimedas asukohaga, 22,4 mag/arcsec². [BRO01] [WID22]

Valgusreostuse künnis on levinud poliitiline vahend valguse emissiooni kontrollimiseks. Erinevate riikide sõnastatud eeskirjad erinevad üksteisest valguse emissiooni mõõtmise ühikute, valguspaigaldiste tüübi (mille jaoks on piirmäärad sätestatud) või lubatud valgustiheduse tasemete

¹ <https://skyandtelescope.org/astronomy-news/what-we-know-about-light-pollution/>

poolest. Näiteks **prantslased** on oma eeskirjadesse lisanud ranged mõõdikud, mis reguleerivad välisvalgustuse heleduse taset sõltuvalt asukoha linnalisuse tasemest. Valguse emissiooni mõõdetakse lm/m^2 ja määratud on kolm piirmäära (Tabel 3.1)[MIN18]. [WID22]

Teine riik, kes on sõnastanud erinevad valgusstandardid sõltuvalt konkreetsete piirkonna keskkonnaväärtustest, on **Korea**. Kõik alad on jaotatud keskkonnatsoonideks, millest madalaim on see, kus on kõige valgustundlikumad liigid või kõige väärtuslikumad ökosüsteemid ja seega ka kõige rangem heleduse lävi. Lisaks nelja keskkonnatsooni määratlusele jõustatakse ka komandanditundi väiksema lubatud heledusega aladel. (Tabel 3.1) [LIM18] [WID22]

Horvaatia poliitikakujundajad rakendasid sarnast strateegiat. Kõik piirkonnad on jagatud viieks valgustsooniks: E0 – pimedas öötaevaga ainult loomuliku valgusega alad, E1 – tumedad maastikud, mis on minimaalselt kunstlikult valgustatud, E2 – on vähese kunstliku valgustusega alad, E3 – keskmise kunstliku valgustusega alad ja E4 – kõrge kunstliku valgustusega ala. Iga tsooni jaoks on määratud maksimaalne vertikaalne valgustuse tase, mis sõltub valgustuspaigaldistest (Tabel 3.1). [MIN20] [WID22]

See eest on **Itaalias** eeskirjad spetsiaalselt sõnastatud teatud tüüpi valgustusseadmete jaoks ja mõõtühik piirsuurustel on cd/klm (Tabel 3.1). Kahjuks on need eeskirjad ise veel erinevates Itaalia piirkondades. Nimetatud lahkevused Itaalia eri piirkondade ja erinevate riikide vahel demonstreerivad vajadust ühtlustada valgusreostuse piiramise eeskirju kogu Euroopa Liidus. [WID22]

Tabel 3.1 Erinevates eeskirjades toodud lävetasemed [WID22]

Valguspaigaldise tüüp/valgustatud ala, millele künnis on määratletud	Eeskirjas määratletud lävetase (ühik)	Riik	Viide
Astronoomiliselt ja ökoloogiliselt väärtuslikel aladel	20 (lm/m^2)	Prantsusmaa	[MIN18]
Madalasustusega aladel	25 (lm/m^2)	Prantsusmaa	[MIN18]
Tiheasustusega aladel	35 (lm/m^2)	Prantsusmaa	[MIN18]
Tsoon E1	50 (cd/m^2)	Korea	[LIM18]
Tsoon E2	400 (cd/m^2)	Korea	[LIM18]
Tsoon E3	800 (cd/m^2)	Korea	[LIM18]
Tsoon E4	1000 (cd/m^2)	Korea	[LIM18]
Tsoon E0 (päikese tõusul ja loojangul /pimeajal)	0.5 (lx) / 0 (lx)	Horvaatia	[MIN20]
Tsoon E1 (päikese tõusul ja loojangul /pimeajal)	1 (lx) / 0 (lx)	Horvaatia	[MIN20]
Tsoon E2 (päikese tõusul ja loojangul /pimeajal)	2 (lx) / 0.5 (lx)	Horvaatia	[MIN20]
Tsoon E3 (päikese tõusul ja loojangul /pimeajal)	3 (lx) / 1 (lx)	Horvaatia	[MIN20]
Tsoon E4 (päikese tõusul ja loojangul /pimeajal)	8 (lx) / 2 (lx)	Horvaatia	[MIN20]
Eramajad	1 (cd/klm)	Itaalia, Lazio regioon	[CON00]
Tänavavalgustus	5 (cd/klm)	Itaalia, Lazio regioon	[CON00]
Prožektorid	10 (cd/klm)	Itaalia, Lazio regioon	[CON00]
Dekoratiivvalgustus	35 (cd/klm)	Itaalia, Lazio regioon	[CON00]

Valgusreostuse taset Nature 2000 maismaa- ja veealade ökoloogilistes võõndites on hinnatud VIIRS öiste andmete põhjal [HÜG21]. Uuringus pakuti lävitasemeks $2 \text{ nW/cm}^2/\text{sr}$, mis vastab tüüpilisele väikesele külale või hajaasustusega elamupiirkonna valguse emissiooni tasemele. Heleduse väärtus $10 \text{ nW/cm}^2/\text{sr}$ vastab tavalistele suurematele linnadele, kus on üsna tihe asustus. Suurtes asulates,

kus kasutatakse mitmeid erinevaid valgustuslahendusi, jäävad mõõtetulemused umbes 20 nW/cm²/sr juude. Valgusemissioonid üle 2 nW/cm²/sr omavad juba mingisugust mõju ökosüsteemile ja selle elusloodusele. [HÜG21] [HAL18] [HAL19] [WID22]

Hetkel töötavad teadlased valgusreostuse jälgimiseks välja uusi indikaatoreid. Selleks, et hõlbustada poliitikakujundajate jaoks valguse maksimumväärtuste määratlemist, planeeritakse luua kõrge geograafilise eraldusvõimega näitajad koos otsese seosega konkreetsete heiteallikatega. [BAR21] [BAR22] [FAL22] [WID22]

- Valgusreostust on defineeritud erinevalt astronoomilisest ja ökoloogilisest vaatepunktist
- Valgusreostuse mõõtmise meetodikaid on mitmeid, alustades heleduse ja valgustustiheduse mõõtmisest ning lõpetades tähtede loendamise meetodika ja satelliitpiltide analüüsiga
- Taeva tausta heleduse parimaks hinnanguks on soovitatud 22,7 mag/arcsec²
- Osades riikides on olemas piirnormid valgustusele valgusreostuse vähendamiseks (Prantsusmaa, Korea jt)

3.2.2. Uuring „Helsinki Häiriövaloselvitys 2021“

Soome pealinnas Helsingis läbi viidud uuringu eesmärgiks oli välja selgitada häiriva valguse kahjulikud mõjud linnakeskkonnas, leida probleemile lahendused ning loetleda võimalikud edasised meetmed häiriva valguse vähendamiseks. Taustauuringu faasis tutvuti tööstusliitude nagu CIE (Rahvusvaheline Valgustuse Komisjon), IDA (Rahvusvaheline Tumeda Taeva Assotsiatsioon) ja ILP (Valgustusspetsialistide Institutsioon) koostatud valgustusstandardite ja valgusreostuse piiramise juhistega. Lisaks tutvuti Prantsuse valgusreostuse seadusega ning otsiti infot häiriva valguse mõju kohta loodusele (sh erinevatele looma- ja taimeliikidele). Ametnike ja ekspertide intervjuudega koguti infot Helsingi häiriva valguse olukorra, muudatuste vajaduse ja häiriva valguse mõjude kohta loodusele. [CHF21]

Uuring selgitas valgusreostusega seotud infot ning, et seda infot saab senisest paremini rakendada valgustusdisainis. Uuringust tulenes, et häirivat valgust on võimalik vähendada või ära hoida, kui sellega tegeleda juba projekteerimisetapis. Samuti on võimalik olemasolevaid paigaldisi parendada. Näiteks, vältida tuleks külma tooni valgust, sest on teada, et sinise valguse lainepikkust hajutavad õhuosakesed rohkem kui punaseid lainepikkusi. Lisaks võimaldab öösel valgustuse intelligentne juhtimine valgustuse õigele tasemele hämardamist sh madala liiklustihedusega aladel täiendavat hämardamist. [CHF21]

Kliimamuutuste vastane võitlus, säästva arengu põhimõtted ja kogukonna tegutsemisviiside analüüs on alati linnaplaneerimises olulised. Valgusreostust vähendades on võimalik parendada keskkonda, tõsta turvatunnet ja vähendada energiakulu. Valgustite disaini eesmärk peaks olema luua valgustuslahendus, mis toob valguse õigel aja õigesse kohta. Häiriva valguse uuringu raames tehti SQM mõõtmised, mis mõõdavad taeva heledust (Unihedron Sky Quality meter SQM-L), mille skaala on vahemikus (16-22) mag/arcsec². Mõõtmised tehti pilvitust taevast. Satelliitpiltidelt valgusreostuse analüüsi tehes täheldati, et kõige rohkem valgust emiteerivad Helsingi ümbruses keskuse- ja piirkonnakeskused ning suurimad sadamad. Pimeajal tekitab see oma väljakutse kaitsealusele merele, mille läheduses tuleks valgussuundade ja valgustussuuruste osas olla eriti tähelepanelik. [CHF21]

Töös korraldati linnakodanikele valgustusuuring. Küsitluses uuriti elanikelt, kas nad on kogenud häirivat valgust ja millised on hea valgustusega kohad. Küsitlutel paluti välja tuua kohad, mis võivad jääda hämaraks ilma turvatunnet mõjutamata või täiesti pimedaks, et võimaldada pimeajal vaadelda näiteks tähistaevast, maastikku ja loodust. Taustauuringu, välikülastuste ja valgustusuuringu põhjal koostati häiriva valguse kategooriad ning selgitati välja suurimad Helsingis täheldatud häiriva valguse allikad. Olemasolevatest juhenditest otsiti ja arendati Helsingis kohaldamiseks sobivad põhimõtted ja piirangud ning uuriti juhendi uuendamise vajadust. [CHF21]

Uuring kirjeldas, et Helsingis on tõdetud, et inimesed tahavad ja vajavad kohti, kus rahuneda, ning kohti, kus kogeda loodust, vaikust ja pimedust. Nende tumedamate kohtade tuvastamist on Helsingis tehtud juba „Kaupungi valot“ - aruande päevist (valminud 2003) ning kaldaalade jaoks valminud väljaandes „Helsingi kaldavalgustuse põhimõtted (2020:28)“. Helsingi uuringus koondati juba olemasolev ning valgustusuuringust ja riigiteenistusest saadud piirkondlik info, mille põhjal koostati Pimedaks jäetud alade - kaart. Edasiarendamise aluseks tehti häirevalguse piirkonnaklasside (E-klasside) kavand (Tabel 3.2). Reklaamiekraanide heleduse mõõtmiste põhjal koostati soovitusel ekraanide maksimaalseks heleduseks kesklinna ning erinevates (sh ärikeskuste) piirkondades. [CHF21]

Tabel 3.2 Häirevalguse piirkonnaklasside kavand [CHF21]

Klass	Piirkond	Keskkonna tajutav heledus
E1	Looduskaitseala, asustamata maakoht	Pime
E2	Väheasustusega elamupiirkond, rohe- ja puhkealad	Madal ala valgustus
E3	Linnapiirkond, väikeelamurajoonid	Mõõdukas ala valgustus
E4	Linnapiirkond, elamurajoonid, kõrghoonete piirkond, äri- ja teeninduskeskused	Tugev ala valgustus
E5	Kesklinna piirkond	Väga tugev ala valgustus

Uurimustöö lõpus korraldati töötuba Helsingi linna töötajatele. Eesmärgiks oli tuua kokku linna erinevate valdkondade eksperdid, et arutada häiriva valguse haldamisega seotud küsimusi ning koguda infot, mis toetab häirivate valgusalade kategooriate määramist. Töötoas kommenteerisid osalejad pimedaks jäetavate alade ja häirevalguse alakategooriate kavandeid ning arutlesid ette antud küsimuste põhjal erinevaid häirevalguse juhtimise mudelite üle. Töö on aluseks tulevikueesmärgile, mille kohaselt on Helsingi võimalikult valgusreostuse vaba linnakeskkond. Praktikas tähendab see, et Helsingis on väiksemad valguskontrastid, harmoonilisem öömaastik ja linnaruum ning heledam tähistaevas. See eeldab vastutustundliku valgustustava järgimist nii avalikus kui ka eraomanikkudele kuuluvas linnaruumis. [CHF21]

Helsingi uuringu tulemusena kujundati selged juhised valgusreostuse vähendamiseks [CHF21]:

- Linnavalgustuse rühma loomine teadmiste ja vastutuse jagamiseks
- Valgustusstrateegia koostamine (mis kirjeldab ka häiriva valguse või valgusreostuse vähendamise eesmärgi)
- Valgusreostuse kaart linnaruumi juhendis
- Häirevalgustuse piirkonnaklasside (E-klassid) lisamine kaarditeenusesse
- Välisvalgustuse disaini juhendi värskendus seoses interferentsivalgustusega
- Sidusrühmade teavitamine
- Linna omandis olevate hoonete ja alade välisvalgustuse projekteerimisjuhiste koostamine (nt lasteaedade ja koolide funktsionaalsed hoovid, spordialad, elamud ja muud kinnistud)
- Avalikes kohtades tuleb kasutusele võtta järgnevad meetmed seoses olemasolevate paigaldistega
 - Y-trosskanduril valgusti lambitehnoloogia uuendamine pimestamise vähendamiseks
 - Avalikes kohtades häirivavalguse objektide tuvastamine ja parandamine
 - Valgusfoori hämardamine öösel
 - Lasteaedade ja koolihoovide valgustuse parandamise projektid
- Valgusdisaini suunamise ja jälgimise valdkonna vahendid ja koolitus
- Objekti- ja fassaadivalgustuse loaprotsess
- Fassaadi- ja õuevalgustuse juhendi uuendamine terviklikumaks ja jagamine kaheks osaks:
 - siht- ja fassaadivalgustus
 - õue ja ala valgustus
- Reklaamiseadmete juhendite ajakohastamine ja vastavuse jälgimine, samuti valdkonna eneseseire.

3.2.3. Uuring „Light pollution reduction measures in Europe 2022“

Tšehhi Vabariik 2022 aasta EL-is eesistujariigina on uuringuga „Light pollution reduction measures in Europe 2022“ seadnud eesmärgi kaardistada erinevate Euroopa riikide lähenemisviisid valgusreostuse ennetamisele ning algatada arutelu, mis viib edasiste Euroopa tegevusteni ning poliitika kujundamiseni, et öise kunstvalguse normid kehtestada, mis vähendaks valgusreostust või hoiaks seda tasemel, mis ei kahjusta elurikkust, kuid samas tagab piisava ohutuse liikluskeskkonnas ja avalikus ruumis.

Uuring annab ülevaate valgusreostuse olukorrast erinevates Euroopa riikides ning selle vastu võetud meetmetest ja see oli aluseks edasiseks suhtluseks huvitatud sidusrühmadele valgusreostuse seminaril, mis toimus 26. oktoobril 2022 Brnos, Tšehhi Vabariigis.

Dokument sisaldab teavet Euroopa Liidu algatuste kohta valgusreostuse vallas ja 32 riigipõhist peatükki. Antakse ülevaate olukorrast nii Euroopa Liidu piires, Ühendkuningriigis kui ka Euroopa Vaba Majanduse Tsooni riikides (Island, Liechtenstein, Norra ja Šveits). Peatükid sisaldavad seega teavet järgmise kohta:

- **Vastuvõetud või kavandatavad õigusaktid**, mis käsitlevad valgusreostust. Mõnes riigis on valgusreostuse eest kaitsmiseks kehtestatud riiklikud (Prantsusmaa, Horvaatia) või piirkondlikud (Hispaania) õigusaktid. Teistes riikides (Sloveenias) antakse selleks välja dekreete.
- **Olemasolevad (nt Austria) või kavandatavad (nt Tšehhi Vabariik) tehnilised standardid**, mis juhivad valgustite valikut koos valguse vähendamise parameetritega, valgusvärvsuse temperatuuri (CCT) või muude parameetritega. Üldiselt on need mittesiduvad dokumendid, millele viidatakse juriidilises dokumendis, mis muudab standardi kohustuslikuks.
- **Käsiraamatud või juhised**, mis on tavaliselt ametiasutuse välja antud mittesiduvad dokumendid. Sellised dokumendid aitavad valida sobivat valgustusseadet ja kirjeldava selle õiget seadistamist (nt Rootsis või Šveitsis).
- **Muud riigis eksisteerivad dokumendid, algatused, veebilehed või sätestatud tumeda taeva alad**. Nimetatud tumeda taeva alad ei viita Rahvusvahelise Dark Sky Places Programmi (IDSP) poolt Rahvusvahelise Dark-Sky Association'i poolt määratud aladele (nn pimealadele), kuna paljudes riikides moodustatakse tumeda taeva alad iseseisvalt piirkondliku või kohaliku tasandi vabatahtliku algatusena.

Antud uuringus rõhutatakse, et **valgus on inimeste, loomade ja taimede evolutsiooniprotsessides oluline tegur**. Suhteliselt odavate elektriallikate kättesaadavus – vähemalt kuni viimase ajani – ja eriti leedide (Light emitting diodes) areng on võimaldanud valgutuse laialdast kasutuselevõttu. Teisest küljest on tõeline pimedus muutumas üha napimaks ressursiks. Leedide toodetud tehisvalgus on spektraalse koostise poolest võrreldav päevalgusega, milles on sinise ja roheline spektri lainepikkused domineerivad. Uuring toob esile, et sellised **valgusallikad annavad elusorganismidele ekslikult märku, et on päev, häirides nii nende ööpäevast elurütmi** (looduslik biorütm, mis sünkroniseerib erinevaid olulisi protsesse organismis). Teisisõnu, **rikkalikud valgusallikad desünkroniseerivad inimese keske bioloogilise kella, mis kontrollib mitmete hormoonide taset veres (muuhulgas melatoniini, tugeva antioksidanti, millel on otsene mõju immuunsüsteemile) ja põhjustab paljusid muid probleeme, nagu unehäired, peavalud, tööväsimus, stress, ülekaalulisus ja võimalik, et teatud tüüpi vähke**. Selline valguskeskkond ei mõjuta mitte ainult inimesi. **Valgusreostus kujutab tõsist ohtu öisele elusloodusele, avaldades negatiivset mõju taimede ja loomade füsioloogiale**. See võib rändloomi segadusse ajada, muuta loomade omavahelist konkurentsi, muuta kiskjate ja saakloomade suhteid ning põhjustada füsioloogilist kahju. Valguse ja pimeduse mustrite häirimine mõjutab ökoloogilist dünaamikat ja ohustab terveid ökosüsteeme. Uuring kirjeldab samuti, et valgus toimib ka paljude taimedes toimuvate protsesside olulise näitajana. Näiteks võib kunstliku valgusega kokkupuude tekitada segadust puude jaoks, näiliselt pikeneb päeva pikkus, simuleerides vegetatsiooniperioodil looduslikult toimuvat. See võib **muuta öitsemise mustreid ja soodustada jätkuvat kasvu, takistades puude puhkeseisundit**, mis võimaldab neil talve üle elada. Näiteks joonisel (Joonis 3.4) on toodud kuidas võib ühe puu lehtede langemine olla seotud valgustusega. Viimane, kuid mitte vähem tähtis on see, et **valgusreostus ei sega ainult astronoomilisi vaatlusi (taevasära), vaid ka inimeste kontakti tähistaevaga**. Ligikaudu kolmandik maailma elanikkonnast elab piirkonnas, kus Linnutee pole kunstliku valguse tõttu öösel nähtav. [MIN22]



Joonis 3.4 Puu lehetede langemise mõju tulenevalt valgustist²

Aastal 1992 tunnistas UNESCO öötaeva ja tähed kaitse alla kuuluvaks maailmapärandiks. Mõnes riigis on öise kunstliku valguse kahjuliku mõjuga seotud mured juba käivitanud meetmed – alates riikliku, piirkondliku või kohaliku tasandi seadusandlusest, tehniliste standardite sõnastamiseni õigete valgustusparameetrite jaoks kuni üldsuse harimise juhenditeni. Teadlaste ja öise kunstliku valguse ohu kohta käivate aruannete põhjal on valitsused ja kodanikud hakanud mõistma, et valgusreostuse tagajärjed on laialt levinud ja sekkumine on soovitatav. Teades, et kohalikust allikast eralduv valgusreostus võib oma olemuse tõttu avaldada tõsist mõju piirkondlikul, riiklikul ja rahvusvahelisel tasandil, tuleb valgusreostusega tegeleda mitte ainult kohalikul või riiklikul, vaid ka rahvusvahelisel tasandil. [MIN22]

Sellest uuringus on esitatud ka info Eesti kohta. Uuringus viidatakse, et Eestis puudub riiklik valgusreostuspoliitika. Positiivne on see, et Tallinna tasandil astutakse aga juba samme adaptiivse valgustuse suunas. Tallinn on seadnud tänavavalgustuse arendamisele prioriteetidid, sealhulgas püüdlused valgusreostuse minimeerimiseks. Koos Tallinnaga tegeleb valgusreostuse teemadega ka Eesti suuruselt teine linn Tartu, kes on ka LUCI (Light Urban Community International) liikmed ja osalevad erinevates valgustust puudutavates projektides. Tallinnal on linnavalgustuse osas oma põhimõtted, mis seavad esikohale linna turvalisuse ja esteetilise aspekti. Tänavavalgustuse haldamine toimub GSM võrgu kaudu, andes hoolduseks reaajas ülevaate tänavavalgustuse olukorrast. Valgusreostuse vältimine on üks linna valgustuskorralduse eesmäärke. [MIN22]

Tallinna arengustrateegias „Tallinn 2035“ tunnistatakse, et „läbimõeldud valgustus aitab luua turvalist ja meeldivat linnaruumi“ ning „Tänu linnaruumi heale valgustusele tunnevad inimesed end pimedal ajal sõites turvalisemalt. Valgusreostus on minimaalne.“ Tallinnas on läbi viidud LUCIA projekti raames pilootprojekt eesmärgiga luua kaasaegseid valgustusvõimalusi, mille käigus rekonstrueeriti Kanuti aia pargi valgustus (Joonis 3.5). Füüsika Instituudi poolt on Keskkonnainvesteeringute Keskuse rahastusel

² <https://cescos.fau.edu/observatory/lightpol-Plants.html>

läbi viidud projekt "Tallinna valgusreostuse pikaajaliste muutuste uurimine ja valgusreostuse hetkeseisu määramine Eestis". [MIN22]



Joonis 3.5 Rekonstrueeritud Kanuti aia valgustuslahendused³

Uuringus kirjeldati, et näiteks 2020. aastal algatati Tartu linna avaliku valgustuse üldplaneeringu koostamine tänavavalgustuse säästlikumaks muutmiseks, mis pidi valmima 2022. aastal. Projekt ENLIGHTENme näitab, kuidas välis- ja sisevalgustus mõjutab inimeste tervist ning leiab seoseid tervise, heaolu, valgustuse ja sotsiaal-majanduslike tegurite vahel. Projekti raames on elanikke aktiivselt kaasatud oma elurajooni välisvalgustuse arendamisse. [MIN22]

Illustreerimaks Eesti valgusreostuse olukorda on joonisel (Joonis 3.6) toodud öötaeva heledus (a) ning öine valgustus pildistatud satelliitidelt (b).



Joonis 3.6. Eesti öötaeva heledus (a) ja öine valgustus (b) [MIN22]

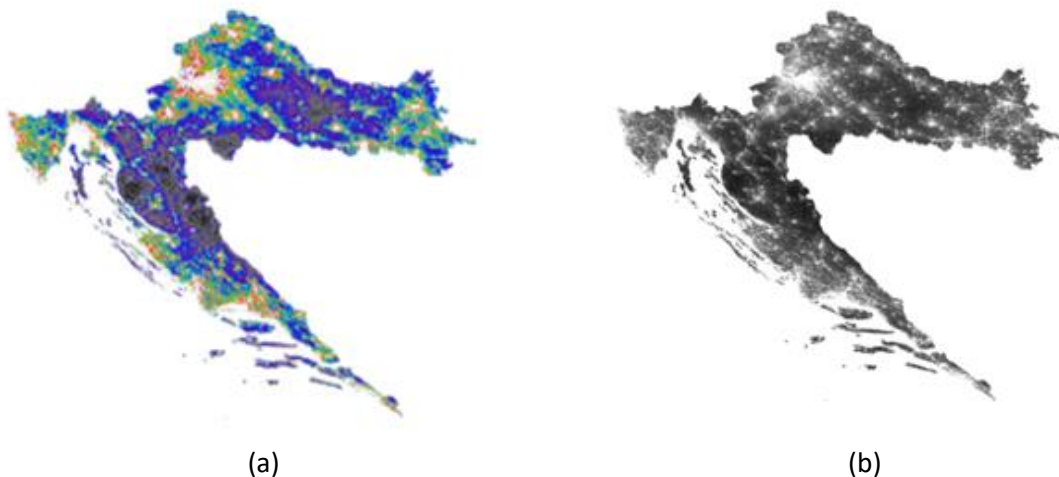
³ <https://www.silman.ee/wp-content/uploads/2021/12/untitled-0430-1376x917.jpg>

Tšehhis on seadusandlikul tasandil kasutanud terminit valgusreostus juba aastast 2002 õhu kaitseseaduses, Act No. 86/2002. Kahjuks rakendsmeetemete hulgas ei olnud enam valgusreostust ning õhu kaitseseaduse muudatustega kaasnes valgusreostuse eemaldamine õhu kaitse seadusest. 2017 aastal keskkonnaministeeriumis loodi ministeeriumi sisene töögrupp, kes koostasid informatiivse materjali Tšehhi Vabariigi valitsusele valgusreostuse mõjudest ja neid mõjusid vähendatavate meetmete puudumisest. Samuti pakkus nimetatud töögrupp välja lahenduste lähtekohad ning 2017 aastal muudeti looduse ja maastike kaitseseadust, Act No. 114/1992, rahvusparkide valgustuslahenduste tingimustega valgusreostuse vähendamiseks. Samal aja avaldati ka esimene *Simple Lighting Manual*, mis uuendati aastal 2021. Nimetatud käsiraamat pakub soovitusi avalike ja ka eraisikute valgustuslahendustele ning välisvalgustusele. [MIN22]

2017 aastal toetab Tšehhi Vabariik valgustuslahenduste moderniseerimist rahaliselt valgus reostuse vähendamiseks. Hetkel on toetust võimalik saada valgustite kasutamisel, mille lähim valgustemperatuur, CCT, on alla 2700 K. 2022 aastal on ettevalmistamisel uus standard vähendamaks välisvalgustuse mitte soovitud mõjusid. Samuti valmistatakse ette uut Hoonete seadust, mis peaks spetsifitseerima valguspaigaldiste tehnilised parameetrid. [MIN22]

Aastast 2020 on Tšehhis korraldatud mitmeid seminaare ja konverentse valgusreostuse teemal. Samuti on valgusreostuse teadlikkuse kasvule kaasa aidanud nelja tumeda taeva ala loomine (Bystřická, Manětínská, Jizerská ja Beskydská). [MIN22].

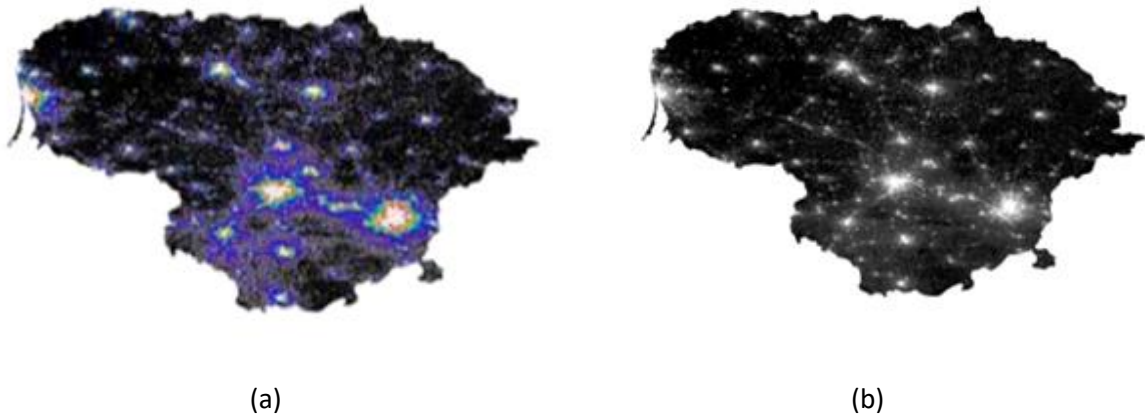
Illustreerimaks Tšehhi valgusreostuse olukorda on joonisel (Joonis 3.7) toodud öötaeva heledus (a) ning öine valgus pildistatud sateliitidelt (b).



Joonis 3.7. Tšehhi öötaeva heledus (a) ja öine valgustus (b) [MIN22]

Leedus ei ole ühtegi üleriigilist eeskirja, mis reguleeriks valgusreostust. Omaavalitsuste tasemel, aga on tehtud samme valgusreostuse reguleerimiseks. Vilnius on üks uutest LUCI liikmetest. 2019 aastal Vilniuse linnavalitsus alustas tänavavalgustuse renoveerimise projektiga. Selle projekti eesmärk oli parandada valgustuse kvaliteeti ja vähendada kuluvat energiat. Projekti raames olemas olevad tänavavalgustid asendati LED lampidega ning kasutusele võeti kaugjuhitavad reguleeritavad valgustuse juhtseadmed. [MIN22]

Illustreerimaks Leedu valgusreostuse olukorda on joonisel (Joonis 3.8) toodud öötaeva heledus (a) ning öine valgus pildistatud sateliitidelt (b).



Joonis 3.8. Leedu öötaeva heledus (a) ja öine valgustus (b) [MIN22]

Kokkuvõte:

- Aastal 1992 tunnistas UNESCO öötaeva ja tähed kaitse alla kuuluvaks maailmapärandiks
- Eesti, Tšehhis ja Leedus on võetud samm valgusreostuse vähendamiseks (tänavavalgustuse renoveerimise projektid)
- Tšehhis valmistatakse ette seadust valgustuspaigaldiste tehniliste parameetrite spetsifitseerimiseks
- Eestis ja Leedus puudub üleriigiline eeskiri valgusreostuse kohta

4. Valgusreostuse ja räiguse mõju uuring keskkonna ja inimeste vaates

4.1. Mõju keskkonnale

Valgusreostuse mõju keskkonnale on analüüsitud uuringus *Influence of Artificial Light at Night (ALAN) on the Outstanding Universal Value (OUV) of Wadden Sea World Heritage*.

Kunstliku valguse mõju pimedal ajal on inimtekkelises keskkonnas kasvav. Ehkki valgust peetakse üldiselt positiivseks, on olemas tõendeid selle kohta, et kunstliku valguse mõju pimedal ajal muudab peaaegu kõigis organismides, sealhulgas taimedes ja mikroorganismides käitumist, ruumi kasutamist, rännet, füsioloogiat, arenemist ja paljunemist. [AKB22]

Siiani on valdavalt teadusuuringud keskendunud mõjuga lindudele ja putukatele. [BAL09]

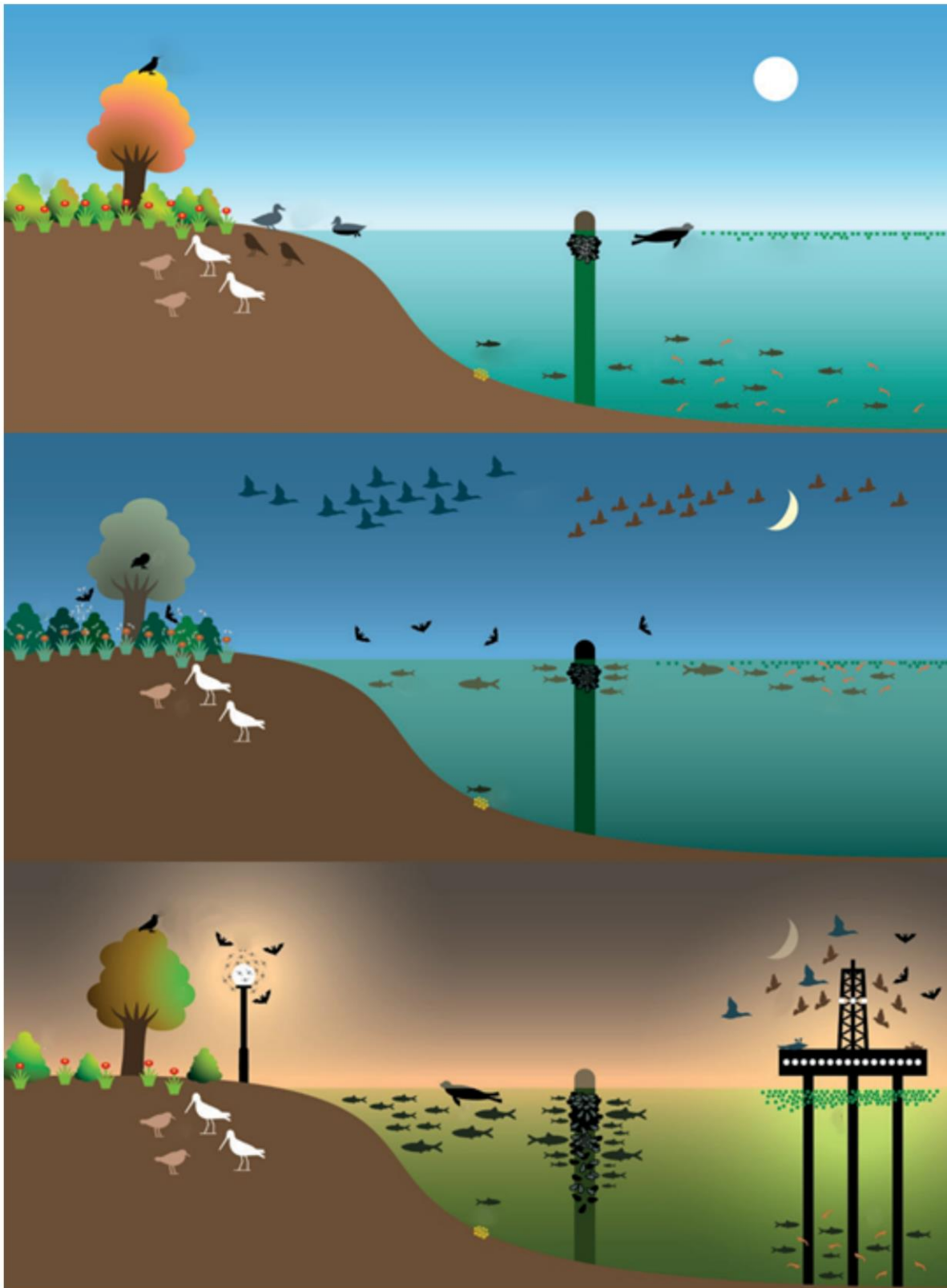
Kunstliku valguse mõju uurimine on näidanud, et see meelitab linde lennuteest kõrvale, tekitades sellega igal aastal miljonitele lindudele suuri riske, mis võib lõppeda nende surmaga. Putukate reproduktiivset käitumist muudavad ka nõrga kunstliku valguse allikad. Tulemuseks on putukate populatsioonide kohalik vähenemine. Kõigis maapealsetes ökosüsteemides mängivad putukad nii olulist rolli, et mõju tagajärjed ulatuvad tervete ökosüsteemideni. Kunstlikul valgusel on oluline mõju ka rannikualade kesksetele elupaikadele. [BAL09]

Pole selge, kuidas loomad on mõjutatud kuuvalgusest ja päeva pikkuse hooajalistest muutustest. Kuuvalgus sisaldab veidi vähem lühema lainepikkusega (sinist) valgust kui päikesevalgus. Mõju avaldavad nii kuuvalguse intensiivsuse kui ka kuufaasi vahetuse rütm. Võimalik, et see aitab loomadel eristada kuuvalgust öötundidest ja pikkadest suvepäevadest [RAB17]. Pimedal ajal võib kunstlik valgus neid looduslikke rütme pikendada. Täiskuu stsenaarium, mis häirib endogeenseid kuu- ja hooajatsükleid. Eriti tungivad sügavamale roheline ja sinine valgus, mis on nii kunstliku kui ka kuuvalguse olulisemad komponendid. [AKB22]

Öise kunstliku valguse mõjudest mereökosüsteemidele on uuringutega kogutud vähem teavet. Selgunud on siiski, et sellel on tuntav mõju. Isegi valguse madal tase on piisav kalahormooni tootmise häirimiseks, planktoni liikumise mahasurumiseks ja vetikate kasvu mõjutamiseks. Merealade osas tuleb veel paljudele küsimustele vastuseid leida, kuid käesolevaks ajaks on selge, et kunstlik valgus on tõsine keskkonnastressi tekitaja (Joonis 4.1). Tõenäoliselt nõrgendab see omakorda üksikisendite ja ökosüsteemide vastupanuvõimet teistele stressoritele, nagu kliimamuutused või keemilised saasteained [DAV14], [DAV14], [DAV20].

Umbes kolmandik selgroogsetest ja kaks kolmandikku selgrootutest on öised. Looduslik valgustase on iga elupaiga oluline omadus ja loodusliku pimeduse kaotamine võib põhjustada elupaikade kvaliteedi langust [GAS17].

Vaatamata püüetele energiatarbimist vähendada kasvab öise kunstliku valguse poolt tekitatav valgusreostus hinnanguliselt 2–6% aastas [MIG21].



Joonis 4.1. Loodusliku ja kunstliku valguse mõjud looduskeskkonnale [AKB22]

Tegelik mõju võib olla suurem, kuna need hinnangud põhinevad VIIRS -i satelliidi andmetel. Selle sensorite tundlikkus on väga nõrk tuvastamaks alla 500 nm lainepikkusega (sinise) valgust. Viimastel

aastatel on toimunud laiaulatuslik valgusallikate vahetus halogeniid-, elavhõbe- ja kõrgrõhunaatriumlampidest kõrgema sinise valguse komponenti sisaldavate leedideni. VIIRS-id neid aga eeltoodud põhjusel ei mõõda. Seega on praegused andmed valdavalt alahinnatud, sest osa valguse heitkoguseid jääb määratlemata. Need kogused on siiski märkimisväärsed, kuna leedvalgustust soositakse energiatõhususe tõttu ja see asendab juba praegu enamikke muid valgusallikaid [MIG21].

Kuna jooksvad/käidukulud leedvalgustusega vähenevad, toob see kaasa valgustuse lisamise, mis läbi suureneb ümbritseva keskkonna heledus ja valgustatud alade pindala [KYB11].

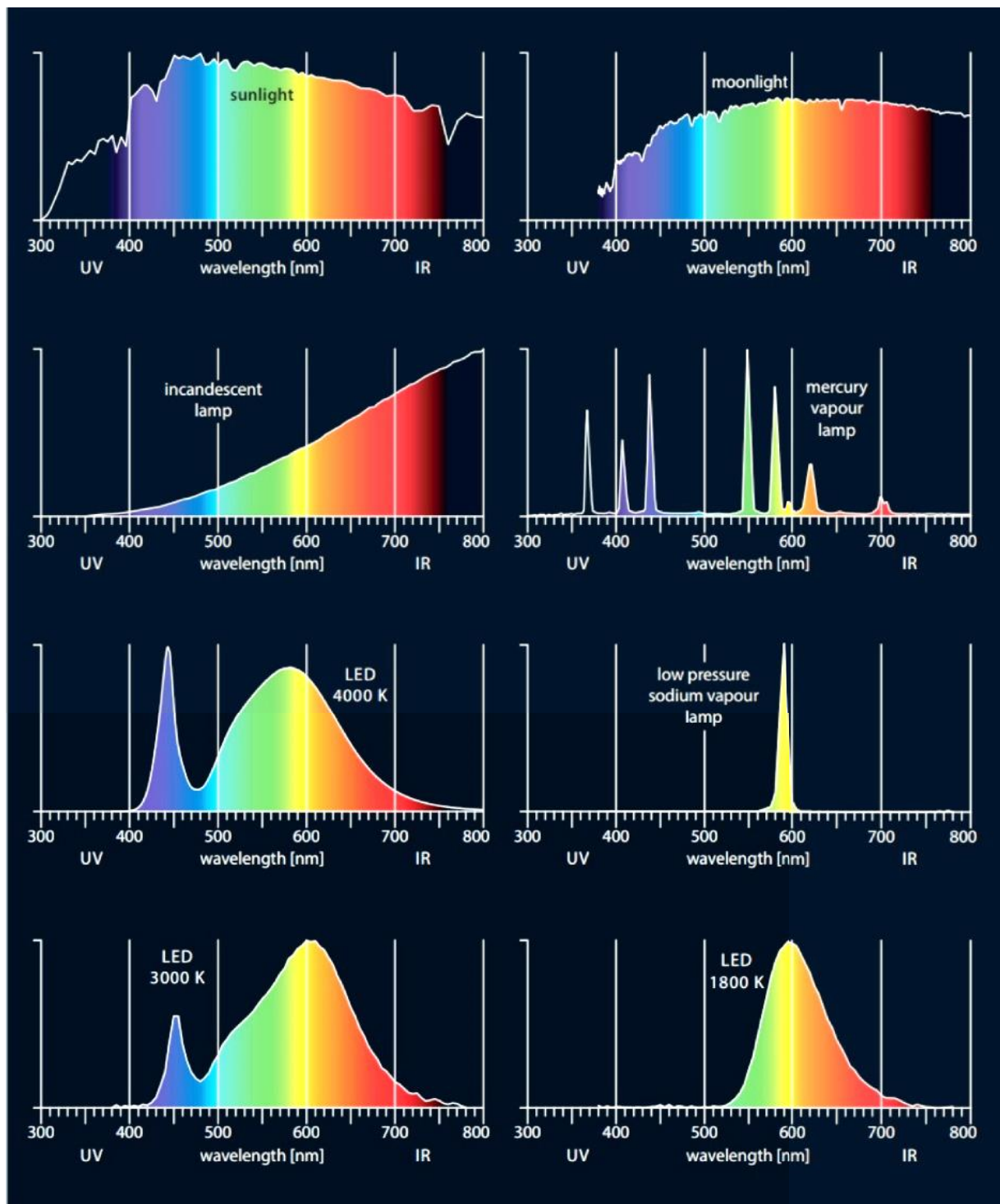
Pimeda aja kunstliku valguse negatiivseid mõjusid nimetatakse sageli kergeks reostuseks. Suurendades lokaalselt valguse taset võib see reostusvorm toimida otse paljudele organismidele. Öise taeva hajutatud helenemisel võib olla mõju ka pikkade vahemaade taha, mida inimesed enamasti ei tuvasta, kuid mis häirib mõne öise eluviisiga organismi orientatsiooni ja füsioloogiat. [KYB11], [KYP20].

Öise kunstliku valgustuse mõju kasv loodusmaastikele on muutnud teadlased ja organisatsioonid murelikuks. [IUA21], [IUB21]

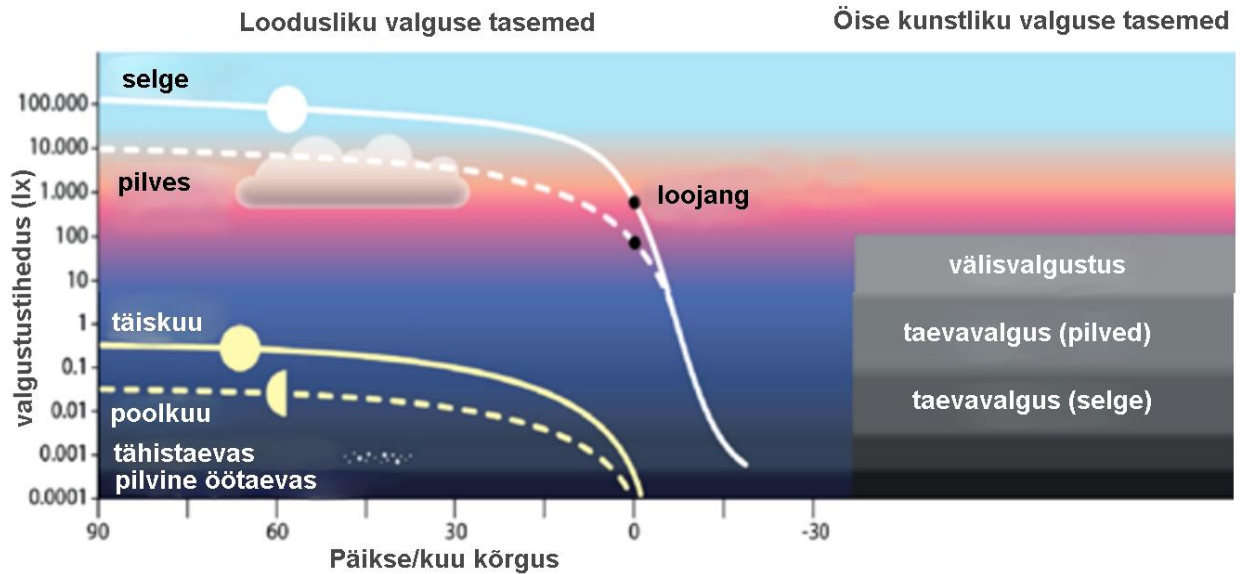
Viimase kahe aastakümne jooksul on üha enam uuringuid tuvastanud pimeda aja kunstliku valguse kahjulikku mõju põhimõtteliselt kõigile taksonoomilistele rühmadele ja elupaikadele. Kunstlik valgus segab orienteerumist, elupaikade kasutamist, bioloogilisi rütme, käitumist, füsioloogiat, paljunemist ja tervist. Individuaalsed mõjud toovad kaasa kogu ökosüsteemi muutusi, sealhulgas liikide koostises ja elupaikade killustatuses. See kehtib nii öiste kui ka ööpäevaste liikide kohta. Päevaliikidele võib olla kasu pimeda aja kunstliku valguse kasutamisest söödaaja pikenemiseks, kuid teiselt poolt võib see ka nende uneaega mõjutada. [GAS17], [SAN21]

Kunstlik valgus erineb looduslikust valgusest selle spektraalkoostiselt. Päikesevalgus, mida peetakse valgeks valguseks, sisaldab kõiki nähtavaid värve, ultraviolettkiirgust ja infrapunakiirgust. Kuuvalgus peegeldab päikesevalgust, milles on vähem kiirgusspektri lühikese lainepikkusega osi. Hõõglampide valgusspektris on palju pikema lainepikkusega osi ja väga vähe lühikese lainepikkusega osi. Selle tulemuseks on tüüpiline kollakas valgus. Kõrgrõhu- ja madalrõhunaatriumlambid kiirgavad enamasti pikema lainepikkusega (oranži) ja infrapunalaanepikkusele lähedast valgust. Metallhalogeniid- ja elavhõbelahenduslambid kiirgavad valgust mitmes lainelas, milles on mitu piiki sh ultraviolettkiirguse ja lühikese lainepikkuse (sinise) alas. Leedidel on erinevad spektrid, milles enamasti esinevad erineva lühikese lainepikkusega valguse ("sinise valguse spektri") komponendid (Joonis 4.2). Pimeda aja kunstliku valguse mõju sõltub valguse spektrist. Enamus loomi mõjutab lühikese lainepikkusega valgus, kuid mõned liigid reageerivad ka pikema lainepikkusega valgusele [LAN18]. Taimed reageerivad nii lühema lainepikkusega kui ka pikema lainepikkusega valgusele [BEN16], [SCH16].

Mõned loomad saavad abi polariseeritud valgusest, milles on suurem osa valguslainetest üksteisega ühes kindlas suunas paralleelsed. Nii annab valgus teavet valgusallika asukoha kohta ja seda kasutavad loomad orienteerumiseks. Mitmed putukad, koorikloomad ja mõned kalaliigid kasutavad kuu, tähtede ja Linnutee polariseeritud valgust [SCH16]. Kunstlik valgus võib seda teavet segada, vähendades öiste loomade võimet navigeerida. Seda on täheldatud rändlindudel, kellel on magnetilise kompassi jaoks vaja looduslikku polariseeritud valgust [MUH16]. Siit võib järeldada, et kunstlik valgus mõjutab enamikke liike (Joonis 4.3) [GRU19].



Joonis 4.2. Looduslike ja kunstlike valgusallikate valguse (kiirguse) spektraalne jaotus



Joonis 4.3. Loodusliku ja kunstliku valguse tasemete ulatus ning nende muutus kunstliku valgustuse korral [GRU19]

4.1.1. Mõjud linnustikule

Eestis on mitmeid lindude looduskaitsealasid ja seetõttu tuleb valgusreostuse uurimisel arvestada ka rändlindude lennuteedega. Aastas kasutavad miljonid rändlinnud rikkalikku elupaikade võrgustikku, sealhulgas suudmealasid, väikeseid märgalasid, liivarandu, kivised kaldaid, märgi rohumaid ja lühiajaliselt mageveealasid.

Rannikutuled võivad meelitada linde inimasustustesse paljude kilomeetrite kauguselt sh meelitada neid maapinnale. Tänu oma suurele kehakaalule ja gabariitidele ei suuda mõned maandunud merelinnud uuesti startida. [ROD2019]

Enamik rändlindudest lendab pikemaid vahemaid öösel pärast hämara aja saabumist. Rände ajal viibivad nad sageli avamere kohal. Ehkki nende orientatsioonimehhanismid pole teadlastele täielikult mõistetavad, võib siiski öelda, et nad kasutavad selleks vaatamisväärsuste valgustuse, taevatulede ja Maa magnetvälja kombinatsiooni. Pole ka selge, kas nende mehhanismide vahel valitseb hierarhia või koostoime. Öistel teekondadel on täheldatud, et mõned rändlinnud kasutavad päikeseloojangu kuma, teised kompassina tähtkujude orientatsiooni. [BAL09]

Lindude magnetiline kompass tugineb ka valgusele. See ei toimi täieliku pimeduse korral, vaid vajab kuuvalguseta ööl looduslikke valgustustingimusi (tähevalgus). Öise tehisvalguse mõju segab nende mehhanismide koostööd, muutes valguse polaarsust või ületades tähekujuliste valgusallikate kiirgusintensiivsust. On ka tõendeid selle kohta, et sinist valgust on vaja. Samas võib ühevärviline punane valgus põhjustada lindude desorientatsiooni. Hele värvist sõltumatu tugev valgus võib põhjustada lindude vales suunas lendamist, seda eriti pimedatel öödel [BAL09], [CHE16].

Arvestades lindude orientatsioonimehhanisme, pole üllatav, et sageli teatatakse rändlindude öistest kokkupõrgetest valgustatud objektidega [ROD19]. Pole teada, kui palju linde selle tõttu Euroopas hukkub. [RON15]. Kokkuvõttes köidavad öösel lendavaid linde erinevatel põhjustel eredad valgusallikad, mis põhjustab rändlindude lennuteekonnas muutusi. Ehkki selle laiem mõju pole teada,

võib eeldada, et valgusreostusega Eesti veekogud võivad märkimisväärselt mõjutada rändlindude ja merelindude lennuteekonda.

4.1.1.1. *Laululindude füsioloogias täheldatud muutused*

Laululindudel on täheldatud pimedaja kunstliku valguse mõju füsioloogiale, paljunemisele ja tervisele. Kõige märgatavam on mõju erinevate liikide koidikuaegse linnukoori algusele ja öhtuse laulu pikenemisele valgustatud piirkondades. On ka paljunemismuutusi: paljunemine algab mõne linnuliigi puhul varem ja lõppeb teistel edasi. Mõjud paljunemisele võivad olla nii positiivsed kui ka negatiivsed. [KEM10][DOM13][SEN20].

On täheldatud, et valgustustihedus alla 0,3 lx pärsib melatoniini tootmist mustadel lindudel (*Turdus merula*) [GRU19]. See hormoon kontrollib lindude bioloogilisi rütme ja seega peaaegu kogu nende füsioloogiat. Rasvatihastel avaldub mõju vähenenud või suurenenud stressihormoonide tasemes ja vähenenud immuunkaitstes [OUY17], [RAA18], [GRU20] ja [ZIE21].

Mitmed uuringute tulemused viitavad sellele, et pimedaja kunstlikul valgusel võib olla pikaajaline mõju paljude linnuliikide sobivusele antud keskkonda. See võib vähendada nende vastupidavust teiste stressorite jaoks, näiteks keemilised saasteained, haigused või kliimamuutused. Lindude populatsioonidele mõju hindamiseks on vaja pikaajalisi uuringuid [WAL19].

4.1.2. Putukad, ämblikud ja muud maapealsed lüliljalsed

Ehkki keskkonnas on putukaid üldiselt vähe, on putukatel rannikualade ökosüsteemides võtmepositsioonid. Paljud taimed ei sõltu mitte ainult putukate tolmeldamisest, vaid putukad soodustavad surnud taimede ja loomade lagundamist ning on saagiks paljudele selgrootutele ja selgroogsetele, olles väärtuslikuks toiduallikaks. Seetõttu on putukate arvukuse langus suur murekoht. [BOY21]

Pimedaja kunstliku valguse kõige ilmekam mõju putukatele on valgusallikate ligitõmme. Putukad tõmmatakse eemale looduslikust elupaigast, nad raiskavad aega ja energiat, nad ei suuda täita oma ökoloogilist funktsiooni. Neid võib tappa kas kiskjad (nahkhiired ja ämblikud) või lambi kuumus, kui nad jäävad valgustisse sisse. Mitmed uuringud on näidanud, et kõige atraktiivsem on ultraviolettküllastusega valgusega metallhalogeniid- ja elavhõbevalgusallikad. Vähem on selge, kui atraktiivsed on naatriumvalgustid (HPS ja LPS) või leedvalgustid. [HUE10]

Mõnedes uuringutes leiti, et kõrgrõhunaatriumvalgustitel on tugevam ligitõmme [VGR14], teistes uuringutes on kinnitust leidnud leedide tugevam ligitõmme [WAK17]. Erinevad leedlambid erinevad oma valgusspektrite poolest, eriti sinise komponendi osas. Euroopas kasutatakse tavaliselt 4000–3000 K värvsüsteemtemperatuuri ("neutraalne" ja "soe valge"), mõnes kohas on kasutusel ka 1750 K ("kollane") värvsüsteemtemperatuuriga leedid. Mida kõrgem on leedide värvsüsteemtemperatuur, seda enam lühikese lainepikkusega valgust nad emitteerivad. On täheldatud, et leedide ligitõmme tugevneb nii värvsüsteemtemperatuuri kasvades kui ka sinise valguse lisandumisega [SON13][HAL21][BRE21].

Muud olulised tegurid on valguse intensiivsus ja jaotus. Mida suurem on valguse intensiivsus, seda rohkem putukaid meelitatakse ligi (Joonis 4.4). Putukate ligitõmme väheneb, kui valgus suunatakse allapoole [SON13][BRE21][BOL20].



Joonis 4.4. Putukad ümber tänavavalgusti⁴

4.1.3. Kahepaiksed

Kahepaiksed leiavad elupaiku märgaladel ning on paljudele rannikulindudele saagiks. IUCNi sõnul on kahepaiksed kõige ohustatumad selgroogsete klass: 40 % liike ähvardab väljasuremine [IUB21].

Kahepaiksete toidulaud sõltub enim putukate hulgast elukeskkonnas. Nende arvukuse langusele avaldab omakorda olulist mõju kunstlik valgus pimedal ajal. Enam kui 90% kahepaiksetest on öise eluviisiga ja nende silmad on valguse suhtes väga tundlikud. Pimeduses vajavad mõne konnaliigi silmad täielikuks kohanemiseks enam kui tunni [SCH16].

Seejuures võivad valgustatud laigud olla mõne kahepaikse jaoks segavad. Pimedal ajal kunstlik valgus mõjutab nende paljunemist ja arengut. On täheldatud, et see muudab hooajaliste konnade paaritumissaagu, muudab partneri valikut ja vähendab viljastamiskiirust. Siiani on kahepaiksete kohta üsna vähe taolisi uuringuid, kuid needki kinnitavad pimedal aja kunstliku valguse negatiivseid mõjusid. Kahepaiksete kohta on vaja teha rohkem uuringuid, kuid tõenäoliselt on sobivaim elukeskkond nende jaoks looduslikud tumedad öömaastikud. [TOU20]

4.1.4. Nahkhiired

Nahkhiired on peaaegu eranditult öise eluviisiga, veetes päevi uinakus ja kattes pikki vahemaid öösel toitudes. Kõik Euroopa nahkhiirte liigid on kaitse all. Nad kannatavad päevaste peidukohtade kaotamise, elupaikade killustatuse ja tõenäoliselt putukate arvukuse vähenemise tõttu. Pimedal aja kunstliku valguse märkimisväärne mõju nahkhiirte bioloogiale on käsitletud väga mitmetes uuringutes. Pimedal aja kunstlik valgus mõjutab mitmete nahkhiirte liikide jahipidamist. Kui kiire lennuga nahkhiired näitavad tänavavalgustite ümber aktiivsemat jahipidamist, siis aeglaselt lendavad nahkhiired on valgustatud aladel haruldased või puuduvad üldse. Põhjused pole veel selged. Valguse ligitõmmet seletatakse enamasti saagikuse arvukusega. Valguse vältimine olla põhjustatud suurenenud kiskjaga kohtumise riskist või pimestamisohust. [MAT15], [SPO15], [AZA18], [RUS19]

⁴ <https://www.birdsarepeople.org/letters/birds-sleep-outdoors-please-demand-wildlife-friendly-led-streetlights-below-3000k/>

Mõned nahkhiirte liigid on aktiivsemad just metallhalogeniidvalgustite ümber ja vähem naatriumlampide või leedlampide ümbruses. See korreleerub nende valgusallikate putukate külgetõmbega [HAD19].

Teisest küljest näib, et mõned valgustundlikud liigid taluvad punast valgust paremini. [SPO17], [ZEA18], [STR19]. Punase värvusega tänavavalgusteid on edukalt katsetatud just nahkhiirte populatsioonide kaitsmiseks Hollandis (Joonis 4.5). Tänavavalgustustest lähtuva valguse mõju nahkhiirte aktiivsusele on täheldatud kuni 50 m kaugusel. Valgustatud tänavad või hekkides olevad tühimikud võivad muutuda nahkhiirte elupaikade ja populatsioonide killustumine põhjuseks. Mõju nahkhiirte lennule on tähele pandud isegi kuni ühe kilomeetri kaugusel valgusallikast. Puude vari võib seda mõju vähendada, kaitstes nahkhiiri valguse eest ja pakkudes turvalisi tumedaid lennukäike. [AZA18][STR19].



Joonis 4.5. Nahkhiirte sõbralik valgustus Hollandis⁵

4.1.5. Maapealsed taimed

Nagu mereökosüsteemides, on ka maapealsed taimed toiduvõrgustiku biomassi peamised tootjad, mis ulatub imetajate ja lindudeni, röövlomadeni ja lõpuks inimesteni. Negatiivne mõju taimedele mõjutab lõpptulemusena kogu ökosüsteemi. Kuigi taimefüsioloogia ja valguse vahel on tihe seos, on üllatavalt vähe uuringuid kajastanud välistingimustes asuva pimedaja kunstliku valguse mõju taimedele. Kõige ilmsemat efekti võib näha kevadel ja sügisel. Päeva pikenemine vallandab pungade tekkimise kevadel ja lehtede langemise sügisel. Tänavavalgustide otseses läheduses või üldiselt heledamates piirkondades arenevad puude pungad varem, lehed langevad aga hiljem. See muudab nad külmakahjustuste suhtes haavatavamaks [MAZ36], [FFR16], [MAS18].

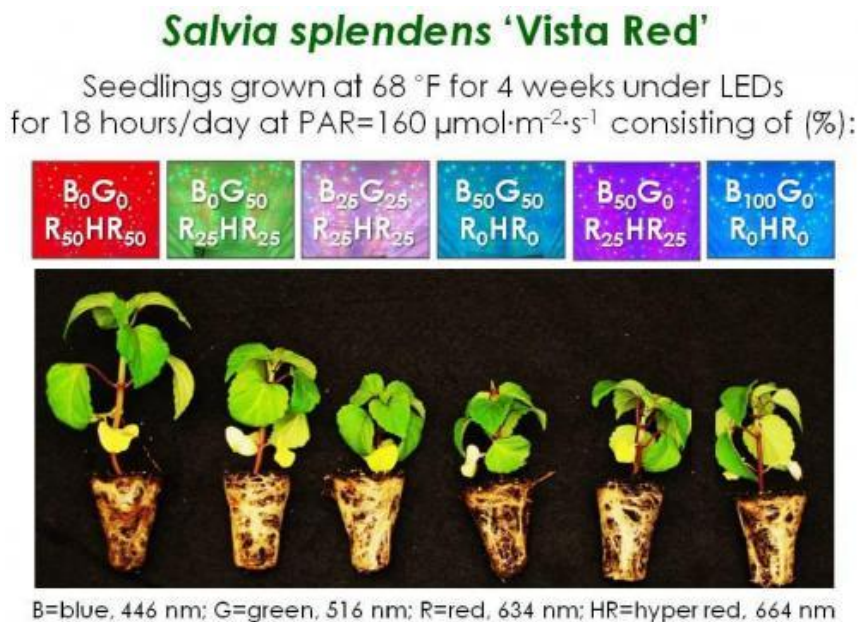
Päevapikkuse muutused mõjutavad ka lillede arengut. Taimed saavad kasutada pimedaja kunstliku valguse mõju fotosünteesi pikendamiseks öösel ja suurendada biomassi tootmist [SPE21]. See võib

⁵ <https://www.fastcompany.com/90179848/these-bat-friendly-lights-show-how-to-make-cities-safe-for-nature>

aga kahjustada taime fotosünteesi aparaati, vähendada tärglise tootmist ja põhjustada lõpuks lehtede enneaegset surma. [KWA18]

Samuti saab pimedaja kunstliku valguse mõju vähendada ultraviolettkiirguse regenereerimisega [VOL09]. Näib, et võime kasutada pimedaja kunstliku valguse sünteesi või sellest põhjustatud kahjustuste hulka, erinevate taimeliikide vahel. Ligikaudu 85 % taimedest sõltub tolmeldajatest, enamik neist on putukad. Pimedaja kunstlik valgus võib taimede tolmeldajad meelitada kunstlikele valgusallikatele, vähendades tolmeldamise ja paljunemise edukust [MAG17], [KNO17]. See vähendab taimtoiduliste toiduressursse, põhjustades muutusi kogu toiduahelas ja mõjutades kogu ökosüsteemis biomassi tootmist. [BEJ15]

Siiani on vähestes uuringutes leidnud käsitlemist pimedaja kunstliku valguse mõju taimedele. Pimedaja kunstlik valgus segab otseselt taimefüsioloogiat ja paljunemist bioloogiliste rütmide ja fotosünteesi muutumise tagajärjel. Põhjalikumalt on uuritud valguse värvsuse mõju taimede kasvutingimustele, kus on kindlaks tehtud, et punane valgus mõjutab taime kasvu soodustavalt (Joonis 4.6)



Joonis 4.6. Valguse värvsuse mõju taimede kasvule⁶

Tänased teadmised rõhutavad kiireloomulist vajadust pimedaja kunstliku valguse vähendamiseks. Valguse päevase, öise-, kuu- ja hooajaliste komponentide keeruka rütmilisuse tõttu võib eeldada, et pimedaja kunstlik valgus mõjutab enamikku mereäärset looduskeskkonda. Ehkki pimedaja kunstliku valguse mõju kohta on palju lahtisi küsimusi, on ilmne, et öine kunstlik valgus pole kunagi neutraalne, vaid segab paljusid organisme mitmel tasandil. Uuringud näitavad, et üldist soovitusi kunstliku valguse mõju vähendamiseks ei saa anda. Erinevate valguste spektrite mõju ümbruskonnale on selleks liiga spetsiifiline. Ühtegi spektrit ei saa absoluutselt keskkonnasõbralikuks pidada. Parim eesmärk on vähendada pimeaja kunstliku valguse mõju, luues keskkonnasõbraliku valgustuse, ühendades erinevad parameetrid.

⁶ https://www.canr.msu.edu/news/green_light_is_it_important_for_plant_growth

Kunstlikku valgust peaks kasutama ainult siis, kui seda on vaja. Iga tänava, jalakäijate tee, pargi, ranna jne valgustamine ei ole vajalik ega kohustuslik. Valgus ei pea tingimata ohutust parandama ega ole vajalik kõigile inimestele. Eriti tundlikes looduslikes piirkondades ei tohiks mõned alad olla valgustatud ja neid ei tohiks öösel külastada. Hämarad paigad võivad pakkuda organismidele varjupaika. Seepärast on öistes elupaikades vaja jätta tumedaid koridore. Enne valgustusobjekti planeerimist, lubamist ja projekteerimist tuleb väga hoolikalt kaaluda selle keskkonnamõjusid, eriti dekoratiiv-, äri- ja reklaamvalgustuse kasutamise korral. Valguse levikut on vaja piirata: valgus tuleb suunata ainult nõutavale alale. Seda saab saavutada valgustide varjestamisega, valguse suunamisega allapoole ja piisava valguse kavandamisega. Kui horisontaalset valgustust ei saa vältida, nt. dekoratiivse fassaadi valgustamisel, võivad ekraanid/filtrid vähendada valguse ebasoovitavat levikut. Ülevalgustamine on sagedane valgusreostuse allikas. Tuleks kasutada madalaimat lubatavat valgustustaset, mis ei tohi ületada soovitatud väärtusi. Dünaamiline valgustus sh hämardamise ja valguse värvsuse muutmisega võimaldab paremini kohandada valgustust nõutavate keskkonnatingimustega, võttes arvesse erinevate looma- ja taimeliikide eripärasid. Hämardamine või isegi väljalülitamine vähendab valguse heitkoguseid ohutust vähendamata. Liikumisandurid võivad pakkuda vajalikku valgusnõudlust harvakasutatavates piirkondades. Oluline on valguse sinise komponendi vähendamine, kuna uuringud on näidanud, et lühikese lainepikkusega (sinine) valguse negatiivne mõju on kõige suurem [LON18]. Selle efekti vähendamine on võimalik valgusallika sobiva spektri valikuga, milles domineerib suurema lainepikkusega valgus või vähendades sinise valguse intensiivsust. Valguse spektri koostist tuleks seetõttu kaaluda ja vajadusel kombineerida muude leevendusmeetmetega.

4.1.6. Kunstliku valguse mõjud bioloogilisele mitmekesisusele

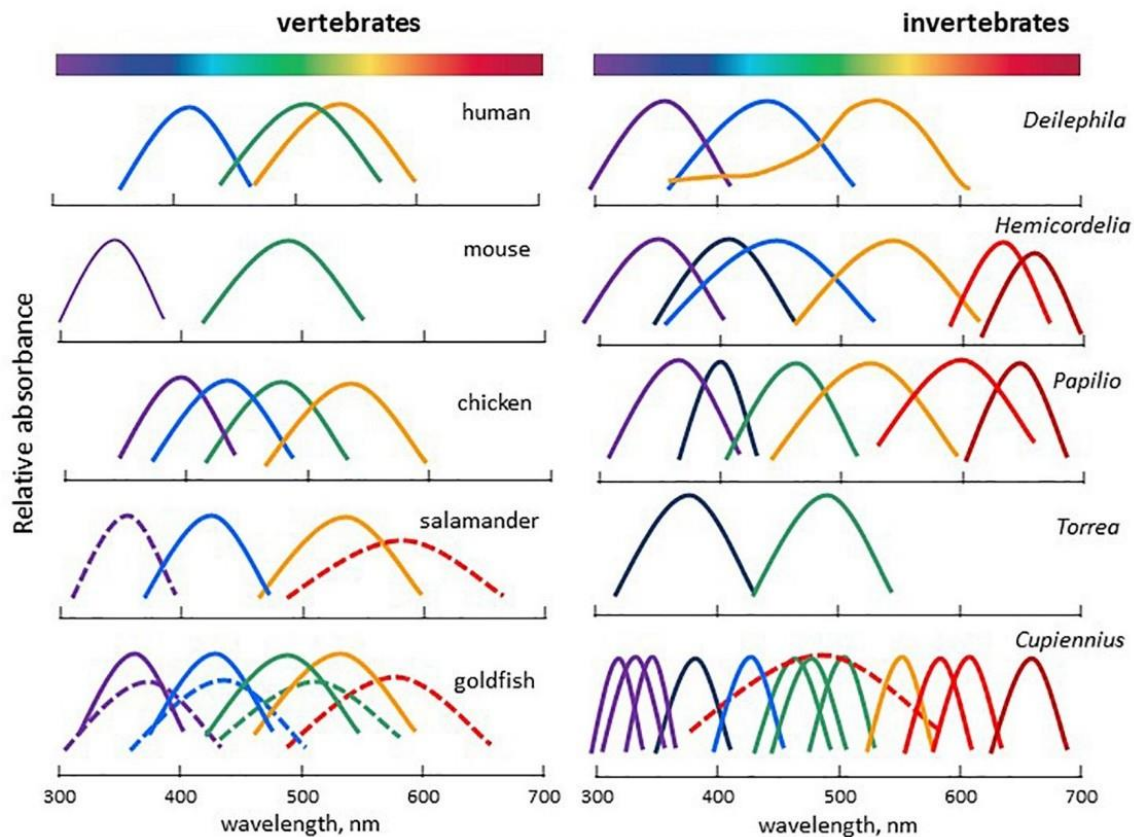
Mitmed bioloogilised liigid sõltuvad loomulikust päeva-öö tsüklist. Seetõttu võib kasvav kokkupuude häirivate tehisvalgusallikatega muuta liikide käitumist, aktiivsust ja füsioloogiat. Valguse muutuse häired mõjutavad eriti liike, mille käivitavad hooajalised päevapikkuse stiimulid või öised muutused, mistõttu on negatiivne mõju öösel aktiivsetele loomadele tugevam. Seda võib seletada asjaoluga, et linnapiirkondade valgustamiseks kasutatavad valgustussüsteemid on kohandatud inimese päevasele nägemisele. Öise aktiivsusega organismidel on aga silmad kohanenud pimedaga, mis tajuvad selliseid valgusallikaid oluliselt eredamalt. Ülemaailmselt on 30% selgroogsetest ja 60% selgrootutest öised ja kuuluvad seetõttu liigirühma, mis kannatab oluliselt valgusreostuse mõju all [HÖL10]. Võrreldes inimestega tajub enamik loomi valguskiirgust laiemas spektri ulatuses, mistõttu on keeruline kirjeldada, kuidas liigne valguse emissioon neid mõjutab. Mõned loomad näevad tundlikumalt pikki lainepikkusi (punane või kollane), teised on võimelised tuvastama lühemaid lainepikkusi (valgeid või siniseid), mis jäävad spektri sinilillasesse ossa. Need loomad on eriti tundlikud leedvalgusallikate suhtes, mis kiirgavad peamiselt valget ja sinist valgust. [WID22]

Seoses valgusreostusega on ökoloogid leidnud tõendeid halvenenud rändemustrite, toitumisstrateegiate, paljunemis- või suhtlusharjumuste kohta, mis on seotud suurenenud suremuse ja muutunud kogukonna struktuuridega. Sellest tulenevalt mõjutab liigne kunstlik valgustus negatiivselt globaalset bioloogilist mitmekesisust ja mõjutab oluliselt ökoloogilist keskkonda. [SAN21].

4.1.7. Helsingi valgusreostus uuring WSP 2021 [CHF21]

Uuring käsitleb hajuvalguse ja valgusreostuse mõju loodusele ja inimestele. Tehisvalgus pimedal ajal häirib hämaras ja pimedas aktiivseid liike. 28% selgroogsetest ja 64% selgrootutest on öised. Märkimisväärne hulk tolmeldajaid on ka öiste eluviisidega. [HÖL10].

Allaolev joonis (Joonis 4.7) illustreerib erinevaid liigirühmi ja nende tundlikkust spektri teatud lainepikkuste suhtes võrreldes sellega, mida tajub inimsilm. [FAL20].



Joonis 4.7. Erinevate liigirühmade tundlikkus spektri teatud lainepikkuste suhtes

Öine kunstvalgus rikub hämaras ja pimedas aktiivsete liikide bioloogilist kella ning põhjustab ka muid kahjulikke mõjusid. Kõige levinumad neist on [CHF21]:

- Kunstlik valgus meelitab teatud liike, põhjustades isendite surma.
- Kunstlik valgus häirib loomulikke rändekäitumist ja orienteerumist, põhjustades surmajuhtumeid.
- Kunstlik valgus põhjustab röövlomade käitumise häireid ja muutuseid toidu tarbimises (vähenemist või suurenemist) ning mõjutab seega populatsioonide suurust.
- Kunstlik valgus soosib mõnda liiki teiste liikide arvelt, põhjustades otsest või kaudset konkurentsi.

Kunstvalgus pimedal ajal häirib taimede päeva- ja aastarütmi nii otseselt kui kaudselt, häirides paljude lilli tolmeldavate loomade elu. Valguse suuna, koguse ja kvaliteedi varieeruvus on kui kellaaeg taimedele. Taimed jälgivad muuhulgas päeva pikkust ja aastaegade vaheldumist ning reguleerivad seeläbi näiteks lehtede langemist ja pungade puhkemist. Taimekell on eriti tundlik punaste lainepikkuste suhtes. Enamik liike on eriti tundlikud violetse, sinise ja rohelse valguse lainepikkuste suhtes. Välditavad lainepikkused on toodud järgneval joonisel (Joonis 4.8).[CHF21]

Uuring käsitleb ka valguse mõju inimeste ööpäevarütmile, mis mõjutab ka inimese sisemist kella. Inimestel mõjutab kunstlik valgus ja valgusrütm häire melatoniini sekretsiooni tsükli, segades nt.

ainevahetus, muutused immuunsuses ja vastuvõtlikkus vähile. Kunstliku valguse mõju vähi vastuvõtlikkusele on täheldatud vahetustega töötajate ja inimestega, kes reisivad palju ajavööndites.

	UV	Violet	Sinine	Roheline	Kollane	Oranz	Punane	IR
Lainepikkus (nm)	<400	400-420	420-500	500-575	575-585	585-605	605-700	>700
Mageveekalad	x	x	x	x	x	x	x	
Merekalad	x	x	x	x				
Koorikud (zooplankton)	x	x	x					
Kahepaiksed ja roomajad	x	x	x	<500 ja >550	x	x	x	x
Linnud	x	x	x	x		x	x	x
Imetajad (v.a nahkhiired)	x	x	x	x			x	
Nahkhiired	x	x	x	x				
Putukad	x	x	x	x				

Joonis 4.8. Välditavad lainepikkused⁷

Uuring toob esile, et Inimene saab end häirivate linnatulede eest kaitsta pimendavate kardinatega, mida ööloomadel ei ole. Hajavalguse ja valgusreostuse ohjeldamine linnakeskkonnas on tasakaalustamine keskkonnakaitse ja piisava välisvalgustuse vahel.

4.2. Mõju inimestele

Ökoloogiline valgusreostus mõjutab suurt osa maailmast, sealhulgas ka inimesi. Võib öelda, et valgusreostuse negatiivseid mõjusid ei teadvustata osalt seetõttu, et neid ei ole veel piisavalt uuritud. Valgusreostuse mõju inimesele on seni uuritud pigem vaatluste põhjal või üksikuid juhtumeid analüüsid. Seepärast on teadmised valgusreostuse mõjudest üsna pealiskaudsed [HÖL10].

Kuigi inimesed on harjunud ja ise ei märka, et öösel on linnas valge, mõjub öine kunstlik valgustus inimeste loomulikule elurütmile halvasti. Elusorganismid on kohastunud elama bioloogilise kella järgi, mis on seotud päeva ja öö vahetumise kindla tsükliga. Tänapäeval aga pikendavad inimesed tehisvalguse abil kunstlikult päeva, muutes seega valge ja pimedat aja looduslikku tasakaalu. Senini tehtud valgusreostuse mõjude uurimise põhjal on selge, et öine tehisvalgus mõjutab psüühikat, hormonaalset tasakaalu ja käitumist ning nõrgestab immuunsüsteemi. Seetõttu võib kunstlik päeva ja öö tsükli muutmine lõpuks põhjustada tõsiseid psühholoogilisi ja füsioloogilisi tagajärgi ning ühtlasi soodustada vähi teket. [NAV07]

Näiteks on uuringud näidanud, et liigsal öisel valgusel on seos rinnavähki haigestumisega, ehk siis piirkondades, kus öösel on rohkem tehisvalgust, haigestub suurem osa naisi rinnavähki, kui piirkondades, kus öösel on looduslikult pime. [KLO10]

Uuringute tulemused on koondatud alljärgnevasse tabelisse ülevaatega valgusreostusega seotud tervisemõjude uuringutest, tabel 4.1.

⁷ Allikas: Virginie Nicholas, loeng DARC seminar 09/2020;

Tabel 4.1. Ülevaade valgusreostusega seotud tervisemõjude uuringutest

Viide	Riik	Uuringu ülesehitus	Tulemus	Peamised tulemused	Meetod
[KLI01]	Norra	Cohort uuring	Rinnavähk	Täiesti pimedate naiste rinnavähi risk oli 0,64 (95% CI = 0,21–1,49) ja enne 65. eluaastat pimedaks jäänud naistel vaid 0,51 (95%), CI = 0,11–1,49)	Osalet 15736 Norra naist Norra pimedateregistri andmetest, määrati 5 erinevat nägemispuude kategooriat, tervislikku seisundit jälgiti kogu elu
[LAM22]	Slovakkia	Juhtumi kontroll- uuring	Rinnavähk	Positiivne seos suureneva valgusreostuse ja rinnavähi vahel, keskmine rinnavähijuhtude suurenemine 10,9 võrra 100 000 inimese kohta aastas (95% CI = 7,0-14,8)	Vähijuhtumeid hinnati maal vs linnapiirkondades (25025 rinnavähi juhtu, 16119 eesnäärmevähi juhtu), valgussaaste taset hinnati satelliidi ülemaailmsete öövalguse koguste põhjal (1999–2012)
[PAR12]	Kanada	Juhtumi kontroll- uuring	Erinevad vähitüübid	Vähk oli seotud öötöõga: kopsuvähk (OR = 1,76, 95% CI = 1,25-2,47), käärsoolevähk (OR = 2,03, 95% CI = 1,43-2,89), põievähk (OR = 1,74, 95% CI = 1,22-2,49), eesnäärmevähk (OR = 2,77, 95% CI = 1,96-3,92), pärasoolevähk (OR = 2,09, 95% CI = 1,40-3,14), kõhunäärmevähk (OR = 2,27, 95% CI = 1,24–4,15), lümfoom (OR = 2,31, 95% CI = 1,48–3,61)	Osalet 3137 meest (512 kontrollrühma), kellel oli vähijuhtum (1979–1985), tööajalugu ja töötunnid, pikad öised töötunnid, mis olid seotud suurema valguse kokkupuutega
[BAU13]	Gruusia	Juhtumi kontroll- uuring	Rinnavähk	Üldine rinnavähi esinemissagedus oli seotud kõrge valgusega öisel kokkupuutel (OR = 1,12, 95% CI (1,04–1,20)	Gruusia tervikliku vähiregistri andmetel (2000–2007) osales 34053 rinnavähiga patsienti (juhtum) ja 14458 kopsuvähiga patsienti (kontroll), öise valguse taset hinnati DMSP-OLS Nighttime Light Time Series satelliidipiltide (1992–) põhjal. 2007), iga aasta kohta enne juhtumi/kontrolli diagnoosimist ekstraheeritud valguse kokkupuude
[CHO13]	Korea	Ekспери- mentaalu- uuring	Unehäire	Öine kokkupuude valgusega suurendas 1. staadiumi und ($p < 0,05$), vähendas aeglase une osakaalu ($p < 0,001$), vähendas une säilitamise parameetreid ($p < 0,1$) ja suurendas une erutusi tunnis ($p < 0,01$)	Osalet 10 tervet magajat (rühmad: valgus sisse lülitatud vs. valgus väljas), 2 polüsomnograafia (PSG) seanssi, unekvaliteeti mõõdeti silmade kiire liikumisega, REM/mitte-REM une tsüklid
[PAT19]	USA	Ristlõike- uuring	Magamatus	Öise valguse ($nW/cm^2/sr$) 10 ühiku võrra lühenes une kestus 5,59 minutit päevas, ebapiisava une (< 7 tundi) teatamise tõenäosus suurenes MMSA tasemel (13,77%) ja maakonna tasandil (2,19%).)	282 403 enesehinnangut unetundide ja ebapiisava une kohta 2014. ja 2016. aasta suurlinna ja väikepiirkonna statistika käitumise riskitegurite seiresüsteemist ja ebapiisava une levik 2014. aastal 2823 USA maakonnas maakonna tervise andmeist, ver. öiste andmetega. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (USA riiklik ookeani- ja atmosfääriamet)
[PAT19]	USA	Ristlõike- uuring	Magamatus	Öise valguse ($nW/cm^2/sr$) 10 ühiku võrra lühenes une kestus 5,59 minutit päevas, ebapiisava une (< 7 tundi) teatamise tõenäosus suurenes MMSA tasemel (13,77%) ja maakonna tasandil (2,19%).)	282 403 enesehinnangut unetundide ja ebapiisava une kohta 2014. ja 2016. aasta suurlinna ja väikepiirkonna statistika käitumise riskitegurite seiresüsteemist ja ebapiisava une levik 2014. aastal 2823 USA maakonnas maakonna tervise andmeist, ver. öiste andmetega. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (USA riiklik ookeani- ja atmosfääriamet)

Viide	Riik	Uuringu ülesehitus	Tulemus	Peamised tulemused	Meetod
[ESA19]	Jaapan	Ekspri- mentaaluuring	Madalam unekvaliteet	Une parameetrid näitasid oluliselt madalamat une efektiivsust (80,1 % vs. 83,4 %, $p = 0,01$), pikemat logaritmiliselt teisendatud une alguse latentsust (2,9 vs. 2,6 min, $p = 0,01$) ja suuremat ärkvelolekut pärast une algust (51,4 vs 41,6). min, $p = 0,02$) valgemas rühmas kui pimedas rühmas	Osales 175 bipolaarse häirega ambulatoorset patsienti (rühmad: valges - >5 luksit vs pimedas - <5 luksit), keskmine LAN-i intensiivsus magamistoas mõõdeti kaasaskantava fotomeetriga 7 öö jooksul, uneparameetreid hinnati unetuse raskusastme indeksiga, segavate muutujate korrigeerimisega.
[VIO08]	Inglismaa	Ekspri- mentaaluuring	Madalam unekvaliteet, madalam kontsentratsiooni vahemik	Võrreldes valge valgusega (4'000 K) parandas sinisega rikastatud valge valgus (17'000 K) erksuse ($p < 0,0001$), positiivse meeleolu ($p = 0,0001$), jõudluse ($p < 0,0001$), õhtuse oleku subjektiivseid näitajaid. väsimus ($p = 0,0001$), ärrituvus ($p = 0,004$), keskendumisvõime ($p < 0,0001$) ja ebamugavustunne silmades ($p = 0,002$). Päevane unisus vähenes ($p=0,0001$) ja subjektiivse öise une kvaliteet ($p=0,016$) paranes sinisega rikastatud valge valguse all.	94 kontoritöötaja töökoha olemasolevate valgustingimustega, osalejad puutusid kokku 2 uue valgustusega, millest igaüks kestis 4 nädalat (sinisega rikastatud valge valgus - 17000 K, valge valgus - 4000 K), järgnevad küsimustikud, et hinnata erksust, meeleolu, une kvaliteeti, jõudlust, vaimset pingutust, peavalu ja silmade pinget ning meeleolu kogu 8-nädalase uuringu kestvuse ajal.
[HAR15]	USA	Kohort- uuring	Psühhiaatrilised häired, depressiivsed sümptomid, madal unekvaliteet	Kortisooli tase ($p = 0,008$, "aknata" = 3,10-4,92, "aknaga" = 2,80-3,40) ja melatoniini tase ($p = 0,009$, "ilma aknata" = 2,94-4,14, "aknaga" = 20,962-28).) olid rühmade vahel oluliselt erinevad, kõrgem kortisoolitase oli positiivses korrelatsioonis alaealistega psühhiaatrilised häired ja depressiivsed sümptomid, madalam melatoniini tase oli korrelatsioonis depressiivsete sümptomite ja halva une kvaliteediga	Osales 20 töötajat (rühmad: "aknaga" vs "ilma aknata"), aktiivsust ja ümbritsevat valgust mõõdeti Actiwatchiga 7 päeva jooksul, melatoniini ja kortisooli kontsentratsiooni mõõdeti sülgtest, psühhiaatriliste häirete kvantifitseerimist küsimustike alusel, depressiooni sümptomid Montgomery-Asbergi skaalal, unekvaliteet Pittsburghi unekvaliteedi indeksi alusel
[CIS17]	USA	Loomkatse	Depressiooni taoline käitumine (pärilik)	Vanemate krooniline kokkupuude valgusega öösel avaldab mitut põlvkonda hõlmavat mõju järglaste depressiivsele käitumisele, vanemlik valgustus muutis järglaste saharoosi tarbimist ($p < 0,05$), "hämär" - järglased suurendasid ujumisaega ($p < 0,05$), ema kokkupuude vähendas hipokampuse GR ekspressiooni ($p < 0,01$)	Täiskasvanud siberi hamstrid (Phodopus sungorus), kes on öösiti valguse käes 9 nädala jooksul (rühmad: tüme - 0 luksit vs. Dim - 5 luksit), paaritud isased ja emased isased ja emased täisfaktoripõhises asetuses ning järglaste tiinus, täiskasvanueas testitud hipokampuse ekspressiooni suhtes. glükokortikoid (GR), melatoniini (MT1) retseptori ekspressiooni jaoks, Porsoli ujumistestis hõljumiseks kulunud aeg
[MIJ18]	Korea	Ristlõike- uuring	Depressiivsed sümptomid suitsidne käitumine	Võrreldes täiskasvanutega, kes elasid öösel kõige väiksema välisvalgusega piirkondades, esines kõrgeima valgustasemega piirkondades elavatel inimestel suurem tõenäosus depressiooni sümptomiteks (OR = 1,29, 95% CI = 1,15–1,46) või suitsidaalseks käitumiseks (OR = 1,27, 95% CI= 1,16–1,39)	Osalesid Korea elanikud ($n = 113$ 119 depressioonisümptomite korral, $n = 152$ 159 suitsidaalse käitumise korral), välisvõrk, mis on hinnanguliselt riiklike keskkonnateabe keskuste satelliidiandmete põhjal, depressioon kvantifitseeritud depressiooni skaala alusel, suitsidaalne käitumine, mis on määratletud kui enesetapumõtete kogemus või katse

Viide	Riik	Uuringu ülesehitus	Tulemus	Peamised tulemused	Meetod
[RYB16]	Israel	Ristlõike- uuring	Suurem kehamass, rasvumine	Kunstlik valgus öösel oli ülekaalususe ja rasvumise statistiliselt oluline positiivne ennustaja ($p < 0,05$)	Öise valgustuse satelliidipildid (USA kaitsemeteoroloogiline satelliitprogramm) koos riigi tasandi andmetega naiste ja meeste ülekaalususe ja rasvumise esinemissageduse kohta (WHO poolt teatatud), korrigeerimine segavate muutujate jaoks
[FON10]	Israel	Loomkatse	Suurem kehamass, rasvumine	Hiirte hoidmine heledas tsüklis suurendas kehamassi ja vähendas märkimisväärselt glükoositaluvust võrreldes hiirtega pimedas tsüklis. Hiirte toidutarbimine heledas tsüklis oli 55,5%, võrreldes 36,5%- ga pimedas tsüklis.	30 isast Swiss-Websteri hiirt, kes puutusid kokku erinevate valguse/pimeduse tsüklitega (rühmad: 16:8 valgustsüklil vs. 12:12 pimedustsüklil), mõõdeti rasvumist määravaid tegureid
[OBA19]	Jaapan	Cohort uuring	karotiitse ateroskle- roosi kohta	Kõrgeima öise valguse kvartiili rühmas suurenes märkimisväärselt unearteri intima media paksus (IMT) ($0,028$, 95% CI = $0,005-0,052$, $p = 0,019$), võrreldes madalaima valgusega rühmaga. - öine kokkupuude, leitud seos öise valguse ja unearteri maksimaalse IMT vahel ($0,083$, 95% CI = $0,037-0,129$, $p < 0,001$)	Osales 989 eakat, hinnatud öise valguse keskmist intensiivsust (4 rühma), unearteri intima-meedia paksus (IMT), mõõdetuna unearteri ateroskleroosi riski proksiina, kohandamine segavate muutujate jaoks
[KIM18]	Korea	Loomkatse	Alzheimeri tõbi	Hämaras lenduvate kärbe eluiga oli pimed keskkonnaga valgusega võrreldes oluliselt madalam ($p < 0,001$), neuronites spetsiifilisi valke üleekspresserivad kärbsed näitasid oluliselt lühemat eluiga võrreldes kontrollidega ($p < 0,001$), häiritud ööpävarütmid, muutunud une- ärkveloleku tsüklid. valkude suurenemise ja neurodegeneratsiooni tõttu	<i>Drosophila</i> lendab öösel hämaras valguses (rühmad: hämar – 10 luksi vs pimeaeg – 0 luksi) 3 päeva jooksul, fosforüülitud tau valkude agregatsioon ajus, liikumisregulatsiooni häired, mäludefektide suurenemine, mida mõõdetakse vaevuste riski protsentina. Alzheimeri tõbi

Kokkuvõte:

- Kunstliku valguse mõju pimedal ajal muudab peaaegu kõigis organismides, sealhulgas taimedes ja mikroorganismides käitumist, ruumi kasutamist, rännet, füsioloogiat, arenemist ja paljunemist.
- Pimedal aja kunstliku valguse kõige ilmekam mõju putukatele on valgusallikate ligiõmme. Eemaldudes looduslikust elupaigast, ei suuda nad täita oma ökoloogilist funktsiooni. Kunstlik valgus segab otseselt taimefüsioloogiat ja paljunemist fotosünteesi muutumise tagajärjel.
- Inimestel mõjutab kunstlik valgus ja valgusrütm häire melatoniini sekretsiooni tsüklit, segades nt. ainevahetust, muutused immuunsuses ja vastuvõtlikkus vähile.
- Öise kunstliku valguse poolt tekitatav valgusreostus kasvab hinnanguliselt 2–6% aastas.
- Kuna jooksvad/käidukulud leedvalgustusega vähenevad, toob see kaasa valgustuse lisamise, mis läbi suureneb ümbritseva keskkonna heledus ja valgustatud alade pindala.
- Enne valgustusobjekti planeerimist, lubamist ja projekteerimist tuleb väga hoolikalt kaaluda selle keskkonnamõjusid, eriti dekoratiiv-, äri- ja reklaam- valgustuse kasutamise korral.

5. Küsitlusmetoodika ja küsitluse vormi väljatöötamine

5.1. Küsitlusmetoodika

Küsitlusmetoodika eesmärgiks on uurida Tallinna elanikelt ja Tallinna külastajatelt, kuidas nemad hindavad valgusreostuse ja räguse olukorda meie pealinnas. Väljatöötatud metoodika toetab küsimustikule järgnevat analüüsi, selgitamiseks välja Tallinnas valgusreostuse ning tehisvalguse räguse ulatust ning neid mõjutavaid olukordi/objekte.

Lisaks ülaltoodud aspektidele peab küsitlusmetoodika tagama, et küsitlus oleks kompaktne ning üheselt arusaadav. Nimelt võimaldab kompaktne küsitlus vähendada tõenäosust, et küsitletav tüdineb seda täites ja jätab vastused edastamata. Üheselt arusaadav küsitlus võimaldab saada objektiivsemat tagasisidet hilisemaks analüüsiks. Küsitlusmetoodika kompaktsuse tagab väheste küsimuste hulk, selgitused ning selgelt eristatavad vastuse variandid koos visuaalsete viidetega.

Küsitlus koosneb kuuest peaküsimusest ja neljast alaküsimusest. Esimesed kolm küsimust on vanuse, soo ja asukoha kohta. Asukoha fikseerimiseks on kaks võimalust, GPS koordinaatide alusel või aadressi alusel. Kuna GPS koordinaatide kasutamine ja edastamine eeldab iseseisval täitmisel väikest tehnikaalast teadmist, teostatakse asukoha identifitseerimine selles küsitluses aadressi alusel.

Neljas küsimus koosneb neljast alaküsimusest. Neljas küsimus uuritakse, mis küsitletavat kirjeldatud asukohas valgusreostuse ja räguse aspektist enim häirib. Sellele küsimusele vastamise lihtsustamiseks on esitatud kolm standard olukorda koos illustratsiooniga. Juhul kui küsitletavale ükski standardolukordadest ei sobi, saab küsitletab ise konkreetset olukorda kirjeldada.

Viiendas punktis palutakse küsitlajal olukorrast pilt teha ja see üles laadida.

Kuuendas punktis palutakse küsitlaval hinnata, kuidas ta vaadeldavas asukohas näeb tähistavast. Selleks on kasutusel skaala 1-8, kus vastaja saab pilvitu ilma korral hinnata kui hästi ta näeb Linnutee galaktikat või tähistavast.

5.2. Sihtrühmad

Küsitluse sihtrühmaks on kõik inimesed, kes elavad Tallinnas või kes on külastanud Tallinna. Kuigi küsitluse täitmine eeldab mõnda tehnilist võtetundmist, ei ole see piiranguks küsitlusele vastamisel. Samuti on võimalik lähedase inimese või küsitlaja abiga küsitlust täita kõikidel inimestel, kellel on võime valgust tajuda. Küsitlust võib tulevikus laiemalt Eestis või välismaal linnade/asulate valgusreostuse ja räguse kaardistamiseks kasutada.

5.3. Küsitlusvorm – Valgusreostuse ja valgusräguse uuring Tallinnas

1. Vanus
2. Sugu
3. Asukoha aadress
4. Mis teid antud asukohas valgusreostuse ja räguse aspektist häirib (vali alloleva hulgast):

- 4.1. hoonete ja rajatiste välisvalgustused



- 4.2. LED reklaamid



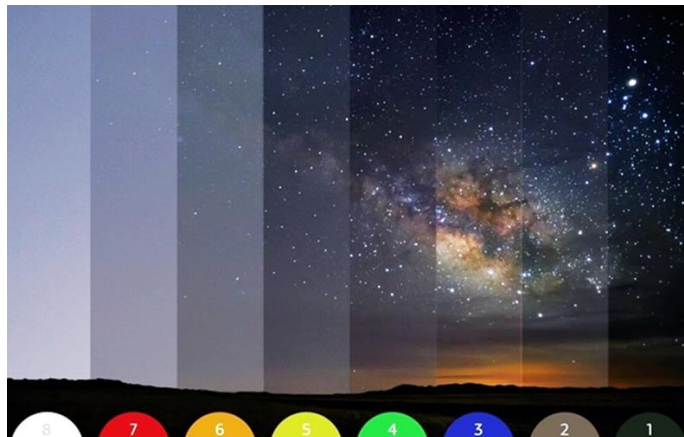
- 4.3. tänavavalgustid või tänavavalgustuse lahendused



- 4.4. Muu (palun kirjeldage häiringu allikat):

5. Palun tehke häirivast valgusreostuse või -räguse allikast foto ja laadige see üles

6. Palun kirjeldage skaalal 1-8 kuidas Teie asukohas on võimalik näha selge ilmaga Linnutee galaktikat tähistaevas



6. Valgustehniliste keskkondade kaugseire ja analüüs

6.1. Meetodid

Käesolevas uuringus kasutatakse kahte kaugseiremeetodit: panoraamvaadete ja satelliitpiltide analüüsi. Vertikaalsihis valguse hindamiseks kasutatakse panoraamvaadetenähtud heledusmõõtepilte ning ülevalt vaate hindamiseks kasutatakse satelliitidelt tehtud mõõtmisi valgustatud keskkondadele.

6.1.1. Panoraamvaadete analüüs heledusmõõtekaamera piltidelt

Valguslahendust ja selle tekitatavat valgusreostust saab hinnata panoraamvaadetenähtud valitud asukohtadest, kuhu uuritavast lahendusest paistab liigselt valgust või tekib rägus. Samuti saab seda teha, kasutades sõidukeid või kõrgema vaatenurga saamiseks droone.

Enamasti mõeldakse Tallinna panoraampildist rääkides vaadet merelt linnale valgel ajal. Pimedal ajal hooned ja looduslikud objektid ilma tehisvalgustusest nähtavad ei ole. Tervikpildi ning selle detailide nähtavuse määrab ära see, millised objektid ning kuidas on need valgustatud. Seejuures tuleb arvestada asjaoluga, et lisaks valgustatud objektidele jäävad sageli nähtavaks ka valgustid ise ning need on tihti peale muust taustast kordades heledamad. Objektide heledus sõltub valdavalt valgusallikate valgustugevusest ja objekti valgustatud alade peegeldusest.

Panoraamvaadete heleduspilti uurides ja analüüsides saab tuvastada muu taustaga võrreldes liiga heledalt valgustatud objektid või merele suunatud valgus(tid). Kogu pildist heledamalt valgustatud objektid põhjustavad rägust ning seetõttu halvendavad öist linnapanoraami nähtavust. Samas peab säilima piisav kontrast, et panoraamvaate olulised piirjooned oleksid tajutavad.

6.1.2. Satelliitpiltide analüüs

Ülevalt pilvedelt ning atmosfäärist tagasipeegelduv valgus segab tähistaeva vaatlusi, kosmoseuuringud jne. Kuna tagasipeegelduv valgus ka hajub, kandub valgusreostus nõnda ka suuremale alale. Üles kiirgavat valgusreostust saab analüüsida satelliitidelt teostatud mõõtmistest. Seni valguse emissiooniandmeid kogutud kahe satelliidisüsteemiga:

- a) Aastatel 1992–2013 pärinesid andmed kaitsemeteoroloogilise satelliitprogrammi DMSP/OLS (*Defense Meteorological Satellite Program Operation Linescan System*) satelliitidelt.
- b) Alates 2012. aastast kuni tänaseni edastab andmeid VIIRS-i (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) süsteem.

Neil kahel mõõtesüsteemil on mitmeid olulisi erinevusi ja seetõttu ei saa neid otseselt kasutada 1992. aastast kuni praeguseeni toimunud muutuste hindamiseks. Kui DMSP/OLS-i pakutavad globaalsed öised satelliidipildid ulatuvad ajaliselt kõige kaugemale ja on seetõttu võimelised näitama valgussaaste kõikumisi ajas, siis VIIRS kogub andmeid suurema ruumilise eraldusvõimega. National Polar-orbiting Partnership satelliit, mis lendab VIIRS-i abil, tiirleb ümber maakera 14 korda päevas ja pildistab Maad eraldusvõimega 15 kaaresekundit ja umbes 750 meetrit. Võrdluseks, DMSP mõõtmised toimusid 40–90 korda harvem [BEN15].

Iga kiirgav valgusallikas eraldab iseloomuliku lainepikkuste komplekti, mis on oma spektraalse koostise poolest eripärane. Varasemalt traditsioonilised naatriumist sõltuvad tänavavalgustid kiirgavad lainepikkusi kitsas vahemikus umbes 598,3 nm, mida inimsilm tajub oranžina või kollasena. Uuemad valgustustehnoloogiad, nagu LED-lambid, võivad kiirata valgust erineva lainepikkusega laias

ribalaiuses umbes 400 ja 700 nm valgest kuni spektri ultravioletvalguseni ja neid tajutakse palju heledamate valgusallikatena [KYB14]. VIIRS süsteemi üheks puuduseks loetakse selle puudulikku tundlikkust madalatel vähem kui 500 nm lainepikkustel, mis tähendab, et külmema värvustemperatuuriga (rohkem sinist spektriosa) LED valgustite mõõtetulemus võib tulla umbes 30% madalam tegelikust. Seetõttu võivad trendidelt paistvad valgusreostuse madalamaks muutumised näidata ka lihtsalt LED valgustite kasutuselevõttu [KUE12].

Valguskiirgus otse ülespoole suunatud allikast annab sattelit mõõtmisel tavaliselt kümne korda heledama signaali kui sama kogus valgust, mis on suunatud maapinnale ja peegeldub sellelt. Sarnaselt ei ole satteliidipildidel selgelt eristatavad ka horisontaalselt suunatud valgustid [KYB15].

6.2. Panoraamvaadete analüüs

6.2.1. Panoraam mõõtmiste lähtekohad

Uuringutes, milles samuti kirjeldatakse heleduse andmestiku mõõtmist kaameratega tuuakse sageli esile, et tegemist on kalasilm-objektiiviga kommerskaameratega. Sellist tüüpi kergete CCD-sensoritega peegelkaameratega on lihtne mõõtmisi läbi viia ning andmeid salvestada. Suurimaks probleemiks on mõõtmiste täpsus kuna see sõltub kalibreerimisprotseduurist ning kaamerast endast. Kaasaegsed digikaamerad on valdavalt CMOS-sensoriga ning analoog-digitaalmuundus pakub lineaarset mõõtmisvõimalust ühes määratud dünaamilises vahemikus ühe säritusaja kestel. Heleduspiltide salvestamiseks puudub tarkvara ning kalibreerimine on fotomeetria raskeim osa. Hindamist vajab samuti kaamerate objektiivide vinjeteerimine, geomeetiline moonutus, kaamera (värvi-)tundlikkus. Kaamerate värviülekanne võimaliku vea hindamiseks kasutatakse standardseid valgusallikaid, nende spektrijaotust ning RGB filtrite jaoks loodud keskmise tundlikuse kõveraid. Kaamerate mõõtemääramatus ainuüksi kaamerate fotomeetriast lähtuvalt võib ulatuda enam kui 10 protsendini. Enamike kaamerate pikim lubatud säriaeg on 30 sekundit, mis ei võimalda alati vajalikus ulatuses keskkonna heledust mõõta. Kaamerad vajavad valgusreostuse mõõtmiseks tavaliselt kuni 2-3 minutist säriaega. Kaamerad salvestavad andmestikud jpg vormingus, mis ei sisalda algväärtusi. Vajalik on kindlasti pakkimata raw-vormingus andmestikku. Lõppväljundina on vajalik andmete esitamine näiteks värvvärvides, milleks on vajalik leida sobiv tarkvara [HÄN17].

Antud uurimustöös on teostatud mõõtmised samuti CMOS-sensoriga peegelkaameraga kuid selle põhiline erinevus seisneb kalibreerimises. Mõõtmistel kasutati heleduse mõõtmiseks peegelkaamerat Technoteam LMK Air tarkvaraga LMK LabSoft4, mis on välja töötatud firma Technoteam Bildverarbeitung GmbH poolt heledusandmetike kalibreeritud mõõtmisteks. [LKM22]

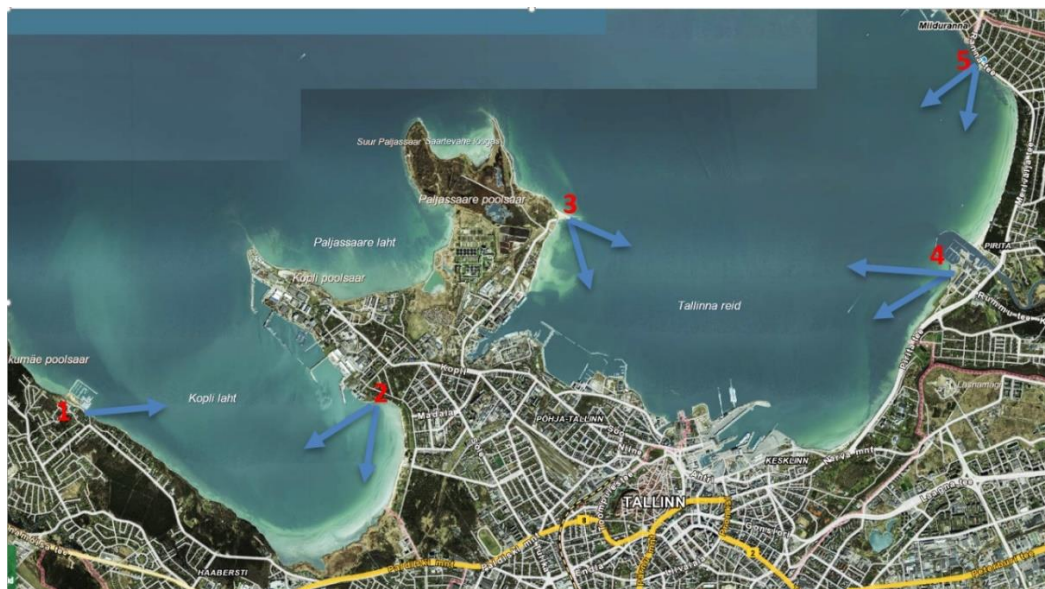
Panoraamvaadete heleduse mõõtmine toimus kalibreeritud mõõtevahendiga, mille ohje vastab standardile EVS-EN ISO/IEC 17025:2017 "Üldnõuded katse- ja kalibreerimislaborite kompetentsusele".

Mõõtmiste tulemusena esitatakse Tallinna linna panoraamvaadete heleduse mõõteandmestik taasesitataval kujul ja värvvärvides kirjeldavas skaalas ning parameetrites. Mõõtmised viidi läbi vähemalt viies vaates mere poolt, lisaks esitatakse võrdlusmomendiks ka linna panoraami heleduse, ümbritseva keskkonna heleduse ja tausta keskkonna heleduse andmestikud.

6.2.2. Panoraamvaate mõõtmised

Hindamaks linnavalgustuse heleduse keskkonda on Tallinna panoraam kõige paremini vaadeldav mere suunalt, vaadet varjavad takistused puuduvad. 24. oktoobrist kuni 18. novembrini 2022 viidi läbi

Tallinna panoraami heledusmõõtmised. Joonis 6.1 on esitatud Tallinna kaart mõõtmiste asukohtadega ning vaadete suundadega. Tabel 6.1 on esitatud mõõtmisandmestik. Alljärgnevatel joonistel on mõõteandmestikust toodud kõikidelt objektidelt iseloomustavad üldvaated, Tabelis 1 jämedalt märgitud pildi numbrid. Kõigist nendest vaadetest (mõõteandmestikest) saab analüüsiks valida tööde II etapi jaoks erinevaid olulisemaid alasid veelgi detailsemalt. Soovi korral on võimalik mõõte(pildi)andmestiku ja vastavat eritarkvara LMK LabSoft (http://www2.technoteam.de/LMK_LabSoft/12_Demo_Color_ActiveX) kasutades materjali vaadelda.



Joonis 6.1. Tallinna kaart mõõtmiste asukohtadega

Tabel 6.1. Mõõtmiste andmestik

Vaade	Asukoht	Kuupäev	Kella-aeg	Pildi nr	Märkus
1	Haven Kakumäe jahisadam	24.10.2022 ($t=(6\pm3)^\circ\text{C}$, $rh=(54\pm20)\%$)	22:54 22:56 22:57 22:59 23:01	IMG_6716.CR2 – IMG_6718.CR2 IMG_6719.CR2 – IMG_6721.CR2 IMG_6722.CR2 – IMG_6724.CR2 IMG_6725.CR2 – IMG_6727.CR2 IMG_6728.CR2 – IMG_6730.CR2	
		12.11.2022 ($t=(11\pm3)^\circ\text{C}$, $rh=(69\pm10)\%$)	22:07 22:08 22:09	IMG_6812.CR2 – IMG_6814.CR2 IMG_6815.CR2 – IMG_6817.CR2 IMG_6818.CR2 – IMG_6820.CR2	
2	Meeruse	24.10.2022 ($t=(6\pm3)^\circ\text{C}$, $rh=(54\pm20)\%$)	22:09 22:10 22:12 22:13 22:16 22:17 22:19 22:21	IMG_6692.CR2 – IMG_6694.CR2 IMG_6695.CR2 – IMG_6697.CR2 IMG_6698.CR2 – IMG_6700.CR2 IMG_6701.CR2 – IMG_6703.CR2 IMG_6704.CR2 – IMG_6706.CR2 IMG_6707.CR2 – IMG_6709.CR2 IMG_6710.CR2 – IMG_6712.CR2 IMG_6713.CR2 – IMG_6715.CR2	
		12.11.2022 ($t=(11\pm3)^\circ\text{C}$, $rh=(69\pm10)\%$)	21:20 21:21 21:22 21:22 21:36 21:37 21:40 21:41	IMG_6788.CR2 – IMG_6790.CR2 IMG_6791.CR2 – IMG_6793.CR2 IMG_6794.CR2 – IMG_6796.CR2 IMG_6797.CR2 – IMG_6799.CR2 IMG_6800.CR2 – IMG_6802.CR2 IMG_6803.CR2 – IMG_6805.CR2 IMG_6806.CR2 – IMG_6808.CR2 IMG_6809.CR2 – IMG_6811.CR2	

Vaade	Asukoht	Kuupäev	Kella-aeg	Pildi nr	Märkus
		18.11.2022 ($t=(2\pm3)^\circ\text{C}$, $rh=(67\pm10)\%$)	21:28 21:30 21:30 21:33 21:34 21:34 21:35 21:35 21:36 21:37	IMG_6821.CR2 – IMG_6823.CR2 IMG_6824.CR2 – IMG_6826.CR2 IMG_6827.CR2 – IMG_6829.CR2 IMG_6830.CR2 – IMG_6832.CR2 IMG_6833.CR2 – IMG_6835.CR2 IMG_6836.CR2 – IMG_6838.CR2 IMG_6839.CR2 – IMG_6841.CR2 IMG_6842.CR2 – IMG_6844.CR2 IMG_6845.CR2 – IMG_6847.CR2 IMG_6848.CR2 – IMG_6850.CR2	Promenaad valgustatud Promenaad valgustatud Promenaad valgustatud Promenaad valgustatud Promenaad valgustuseta Promenaad valgustuseta Promenaad valgustuseta Promenaad valgustuseta Promenaad valgustuseta Promenaad valgustuseta Taastuv valgustus Stroomi pr
3	Pikakari	24.10.2022 ($t=(6\pm3)^\circ\text{C}$, $rh=(54\pm20)\%$)	21:22 21:23 21:24 21:27 21:29 21:31 21:33 21:35	IMG_6668.CR2 – IMG_6670.CR2 IMG_6671.CR2 – IMG_6673.CR2 IMG_6674.CR2 – IMG_6676.CR2 IMG_6677.CR2 – IMG_6679.CR2 IMG_6680.CR2 – IMG_6682.CR2 IMG_6683.CR2 – IMG_6685.CR2 IMG_6686.CR2 – IMG_6688.CR2 IMG_6689.CR2 – IMG_6691.CR2	Lainurk vaade Lainurk vaade Lainurk vaade valgusreostuseta taust
		12.11.2022 ($t=(11\pm3)^\circ\text{C}$, $rh=(69\pm10)\%$)	20:51 20:52 20:53 20:53 20:54	IMG_6773.CR2 – IMG_6775.CR2 IMG_6776.CR2 – IMG_6778.CR2 IMG_6779.CR2 – IMG_6781.CR2 IMG_6782.CR2 – IMG_6784.CR2 IMG_6785.CR2 – IMG_6787.CR2	
4	Pirita TOP	12.11.2022 ($t=(11\pm3)^\circ\text{C}$, $rh=(69\pm10)\%$)	20:17 20:17 20:18 20:19 20:20	IMG_6758.CR2 – IMG_6760.CR2 IMG_6761.CR2 – IMG_6763.CR2 IMG_6764.CR2 – IMG_6766.CR2 IMG_6767.CR2 – IMG_6769.CR2 IMG_6770.CR2 – IMG_6772.CR2	valgusreostuseta taust
5	Merivälja kai	24.10.2022 ($t=(6\pm3)^\circ\text{C}$, $rh=(54\pm20)\%$)	20:20 20:22 20:24 20:25 20:26 20:27 20:28 20:30 20:31 20:34 20:38	IMG_6635.CR2 – IMG_6637.CR2 IMG_6638.CR2 – IMG_6640.CR2 IMG_6641.CR2 – IMG_6643.CR2 IMG_6644.CR2 – IMG_6646.CR2 IMG_6647.CR2 – IMG_6649.CR2 IMG_6650.CR2 – IMG_6652.CR2 IMG_6653.CR2 – IMG_6655.CR2 IMG_6656.CR2 – IMG_6658.CR2 IMG_6659.CR2 – IMG_6661.CR2 IMG_6662.CR2 – IMG_6664.CR2 IMG_6665.CR2 – IMG_6667.CR2	Lainurk vaade
		12.11.2022 ($t=(11\pm3)^\circ\text{C}$, $rh=(69\pm10)\%$)	19:52 19:54 19:55 19:56 19:58 19:59 20:00	IMG_6737.CR2 – IMG_6739.CR2 IMG_6740.CR2 – IMG_6742.CR2 IMG_6743.CR2 – IMG_6745.CR2 IMG_6746.CR2 – IMG_6748.CR2 IMG_6749.CR2 – IMG_6751.CR2 IMG_6752.CR2 – IMG_6754.CR2 IMG_6755.CR2 – IMG_6757.CR2	

Järgnevates alapeatükkides on esitatud 5 objektil tehtud ülesvõtted ja mõõtmisandmestik. Kõik mõõtmisandmestikud on esitatud heleduse väärvärvide skaalas 0 – 10 cd/m².

6.2.3. Haveni jahisadam

Käesolevas peatükis on esitatud kaks Haven jahisadamast tehtud fotot (Joonis 6.2, Joonis 6.4) suunaga Kopli poolsaarele. Nendes vaadetes on teostatud ka mõõtmised, mis on esitatud värvvärvides mõõteandmestikuna (Joonis 6.3, Joonis 6.5). Haven jahisadama vaadetes teostatud ülesvõtted ning nende alusel loodud mõõteandmestik võimaldab detailsemalt analüüsida mereäärset valgustust ning linnaosade taustvalgustust ning mõju linna valgusreostusele.



Joonis 6.2. Vaade Haven jahisadamast suunaga Kopli poolsaarele (foto: IMG_6716.CR2)



Joonis 6.3. Värvvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6716.CR2 – IMG_6718.CR2) Haven jahisadamast suunaga Kopli poolsaarele



Joonis 6.4. Vaade Haven jahisadamast suunaga Kopli poolsaarele (foto: IMG_6815.CR2). Detailsem vaade Kopli promenaadile ning taustal Tallinna vanalinn ja kesklinn.



Joonis 6.5. Värvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6815.CR2 – IMG_6817.CR2) Haven jahisadam suund Kopli poolsaarele.

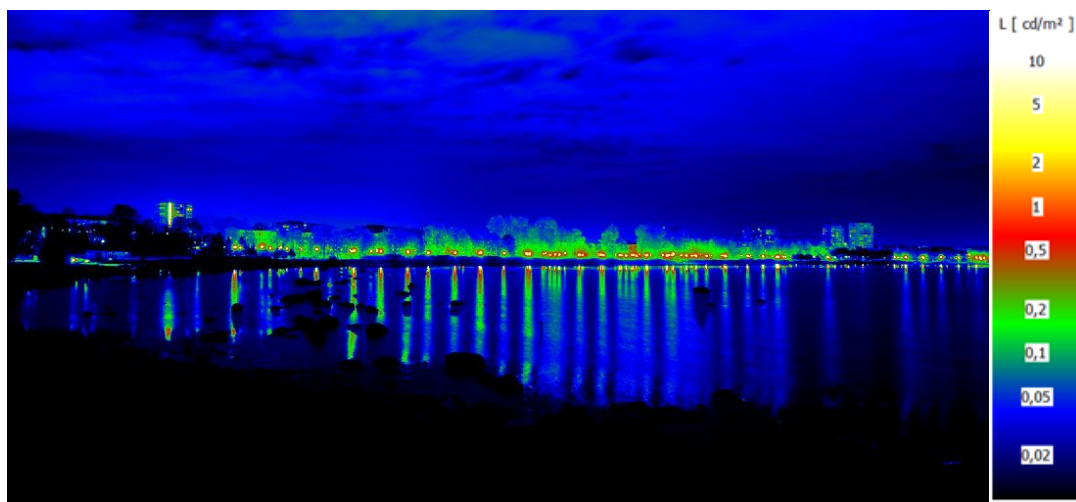
Joonisel 6.3 on esitatud värvärvides mõõteandmestik Haven jahisadamast suunaga Kopli poolsaarel asetsevale sadamale ning Kopli ranna promenaadile. Värvärvides andmestik annab üksikasjaliku ülevaate sadama valgustusest, milles on tuvastatav heledamalt valgustatud objektid ning valgustid. Need valgustatud objektid on panoraamvaates selgelt eristuvad ja heledustasemelt enam kui 50 kordselt heledamad taustafoonist tekitades räigust ja valgusreostust. Joonisel 6.5 on välja toodud detailsem vaade Kopli rannapromenaadile. Selles vaates esitatud mõõteandmestik kirjeldab detailselt promenaadi kergliiklustee valgustite valgusreostust. Tegemist on „kuppel“-tüüpi valgustitega, mis kiirgavad valgust kõigisse suundadesse sh taevasse ning tekitades sama tugeva valgusfooni kui promenaadi taustale jääv kesklinna valgustus. Oluliselt eristub ka paremale jääv uusehitiste ala, mis vajab hiljem detailsemat uuringut.

6.2.4. Meeruse sadam

Meeruse sadam asetseb Kopli lahe kirdeosas Kopli poolsaare edelarannikul Bekkeri sadama kõrval. Meeruselt avanevad vaated Stroomi ja Rocca Al Mare promenaadile, millede taustale jääb Kopli ja Õismäe linnaosa. Käesolevas peatükis on esitatud ülesvõtted ning mõõteandmestiku väärvärvides pildid Meeruse sadama tulepaagi kõrvalt. Vaated on esitatud joonistel 6.6, 6.8, 6.10, 6.12 ja 6.14. Nendes vaadetes on teostatud ka mõõtmised, mis on esitatud väärvärvides mõõteandmestikuna joonistel 6.7, 6.9, 6.11, 6.13 ja 2.10. Joonistel 6.6 ja 6.8 olevatel fotodel on esitatud Stroomi promenaad. Joonisel 6.10 on toodud vaade Stroomi promenaadile, millel on jalgteed valgustav tänavavalgustus välja lülitatud ning joonisel 6.8 vaates sisse lülitatud olekus. Meeruselt vaadetes teostatud ülesvõtted ning nende alusel loodud mõõteandmestik võimaldab detailsemalt analüüsida mereäärset valgustust ning linnaosade taustvalgustust ning mõju linna valgusreostusele.



Joonis 6.6. Vaade Meeruselt suunaga Stroomi promenaadile (foto: IMG_6692.CR2)

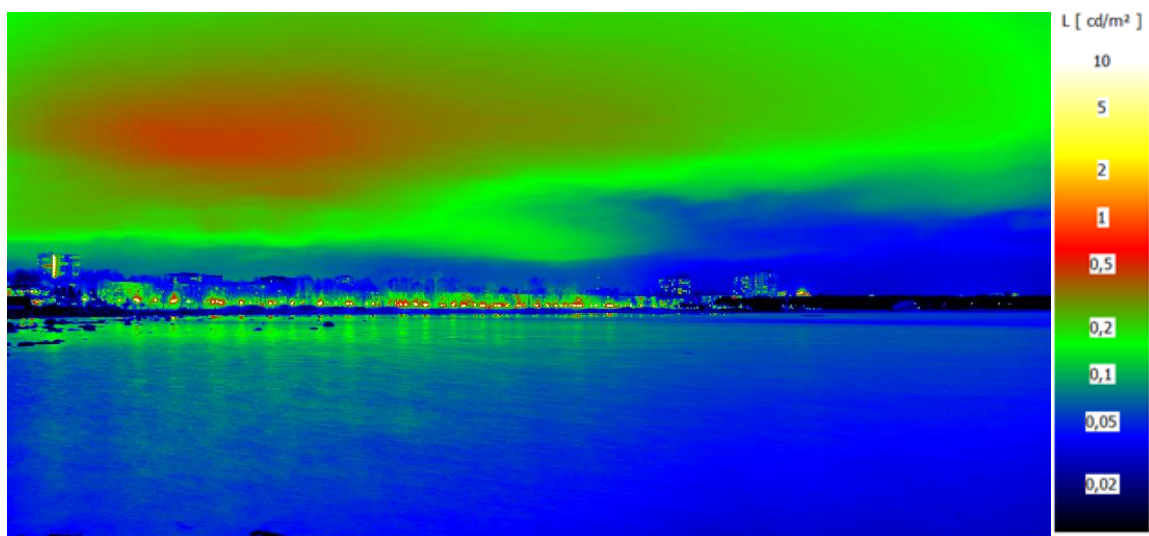


Joonis 6.7. Väärvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6692.CR2 – IMG_6694.CR2) Meeruse sadamast suunaga Stroomi promenaadile

Joonisel 6.7 on esitatud väärvärvides mõõteandmestik Meeruse sadamast suunaga Kopli ranna promenaadile. Väärvärvides andmestik esitab üksikasjaliku ülevaate Kopli rannapromenaadi valgustusest ning kinnitab Haveni jahisadamast tehtud vaate analüüsi. Kergliiklustee valgustus, mis kiirgab valgust kõigisse suundadesse tekitab valgusreostust ka hoolimata kõrghaljastusest. Pargi- ja kergliiklustee valgustusega on valgustatud laheala, rannaala ning lähimad hoonete fassaadid.



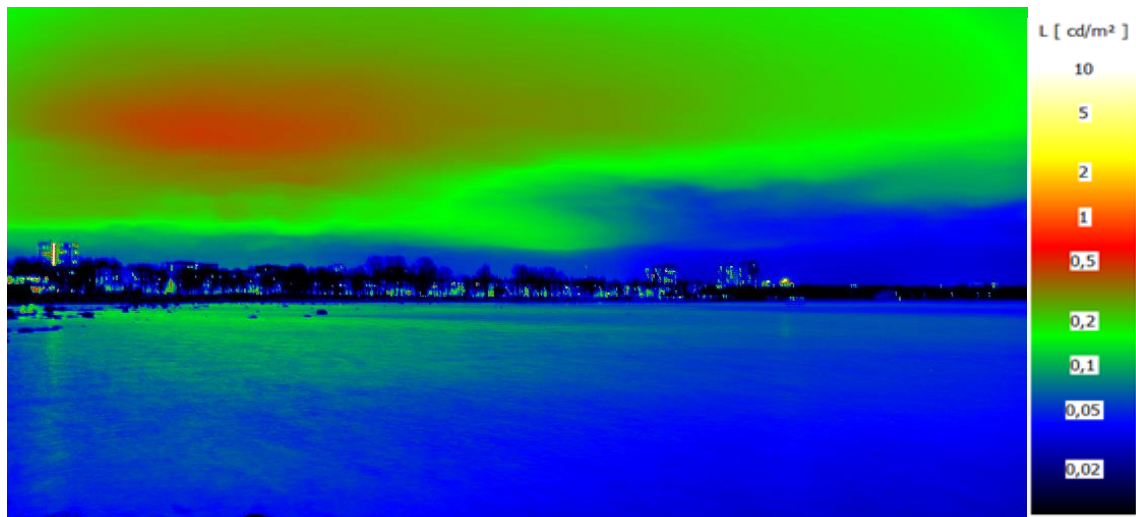
Joonis 6.8. Vaade Meeruselt suunaga Stroomi promenaadile (foto: IMG_6830.CR2), kus kergliiklustee valgustus on sisse lülitatud, valgustuse sisse- ja väljalülituse katsel.



Joonis 6.9. Väärvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6830.CR2 – IMG_6832.CR2) Meeruse sadamast suunaga Stroomi promenaadile, kus kergliiklustee valgustus on sisse lülitatud



Joonis 6.10. Vaade Meeruselt suunaga Stroomi promenaadile (foto: IMG_6833.CR2), kus kergliiklustee valgustus on välja lülitatud



Joonis 6.11. Värvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6833.CR2 – IMG_6835.CR2) Meeruse sadamast suunaga Stroomi promenaadile, kus kergliiklustee valgustus on välja lülitatud

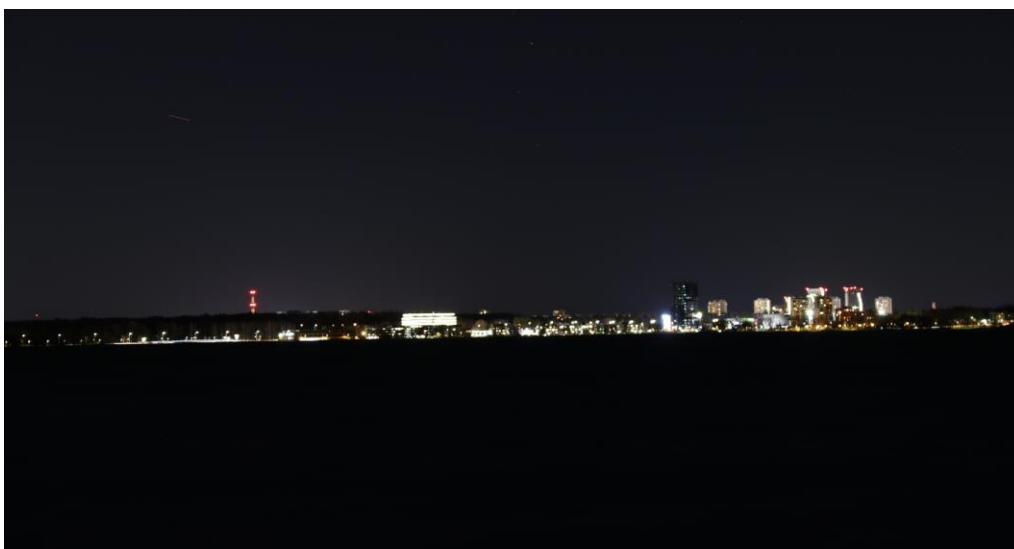
Joonisel 6.11 on esitatud värvärvides mõõteandmestik Meeruse sadamast suunaga Kopli ranna promenaadile kui kergliiklustee valgustus oli lülitatud täielikult välja. Värvärvides andmestik esitab üksikasjaliku ülevaate, et valgustuse välja lülitamine vähendas keskkonna heledust enam kui 50 korda. Toodud mõõtmiste tulemusel võib kinnitada, et valgusreostus väheneb oluliselt ainult ühe kergliiklustee väljalülitamisega antud piirkonnas. Kindlasti vajab uurimist antud keskkonnas asetsevate kergliiklusteede kasutustihedus ning võimalus asendada valgustid sellistega, mis on suunatud vaid kergliiklustee alale või on hämardatavad kui kergliiklusteed ei kasutata.



Joonis 6.12. Vaade Meeruselt suunaga Stroomi- ja Rocca Al Mare promenaadile (foto: IMG_6713.CR2)



Joonis 6.13. Väärvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6713.CR2 – IMG_6715.CR2) Meeruse sadamast suunaga Stroomi promenaadile ja Rocca Al Mare promenaadile



Joonis 6.14. Vaade Meeruselt suunaga Rocca Al Mare promenaadile ning keskusele (foto: IMG_6806.CR2).



Joonis 6.15. Värvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6806.CR2 – IMG_6808.CR2) Meeruse sadamast suunaga Rocca Al Mare promenaadile ning keskusele.

Joonistel 6.13 ja 6.15 on esitatud värvärvides mõõteandmestik toob esile Rocca Al Mare promenaadi ning Rocca Al Mare keskuse. Ranna joonele jääv promenaadi valgustus on suunatud alla ning merelt vaates olulist reostust ei tekita. Valgusreostust tekitavad mitmed hoonete välisfassaadide valgustused ja reklaamvalgustid Paldiski maanteel. Mitmed objektid on heleduse tasemega, mis selgelt eristuvad enam kui 50 korda taustast ning tekitavad seega räigust. Mõõtmised on teostatud veel enne valgusreklaamide välja lülitamist ehk enne kella 23:00. Uurimustöodes kirjeldatult langeb linnakeskkondade valgustustase peale keskööd kuni 15%. Antud mõõteandmestikku analüüsides võib öelda, et ka 15% madalama heledusega on antud vaatesse jääv linnaala ehk panoraam märgatava valgusreostusega.

6.2.5. Katariina kai Pikakari muul

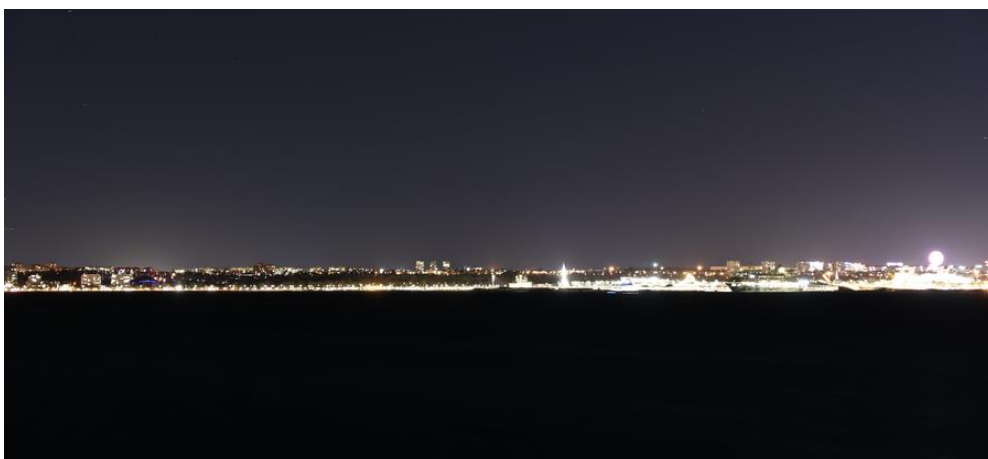
Paljassaare poolsaarel asub Pikakari ja Katariina kai. Pikakari muulilt avanevad vaated linna kesklinna ja vanalinna osale. Samuti on vaade Pirita promenaadile. Käesolevas peatükis on esitatud ülesvõtted ning mõõteandmestiku värvärvides pildid, mis on tehtud Katariina kailt. Vaated on esitatud joonistel 6.16, 6.18 ja 6.20. Nendes vaadetes on teostatud ka mõõtmised, mis on esitatud värvärvides mõõteandmestikuna joonistel 6.17, 6.19 ja 6.21. Joonisel 6.16 oleval fotol on esitatud kesk- ja vanalinna suund. Joonisel 6.18 on toodud vaade Pirita promenaadile, millel on jalgteed valgustav tänavavalgustus sisse lülitatud olekus. Joonisel 6.20 on toodud vaade kesklinnale. Vaadetes teostatud ülesvõtted ning nende alusel loodud mõõteandmestik võimaldab detailsemalt analüüsida mereäärset valgustust ning linnaosade taustvalgustust ning mõju linna valgusreostusele.



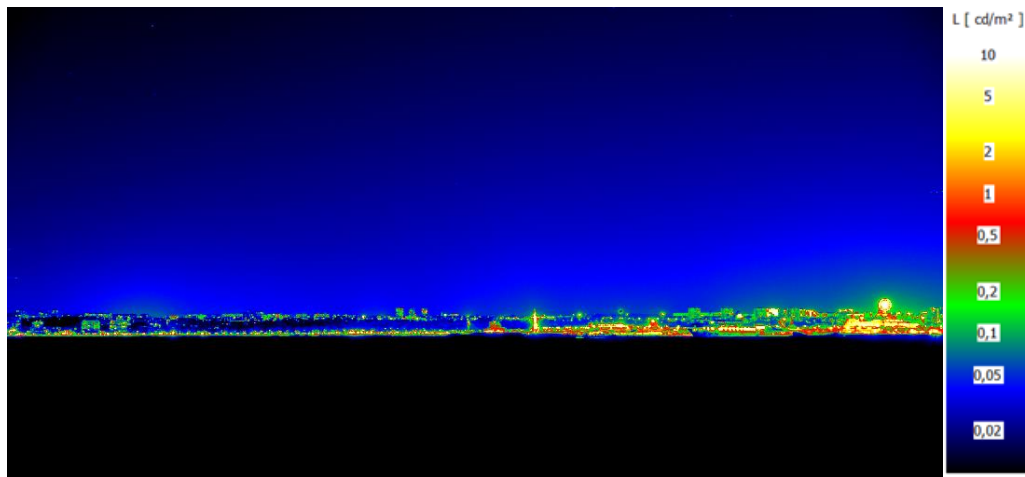
Joonis 6.16. Vaade Katariina kait suunaga Tallinna sadamale ning kesklinnale (foto: IMG_6677.CR2).



Joonis 6.17. Värvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6677.CR2 – IMG_6679.CR2) Katariina kait suunaga kesklinnale ning Tallinna sadama alale.



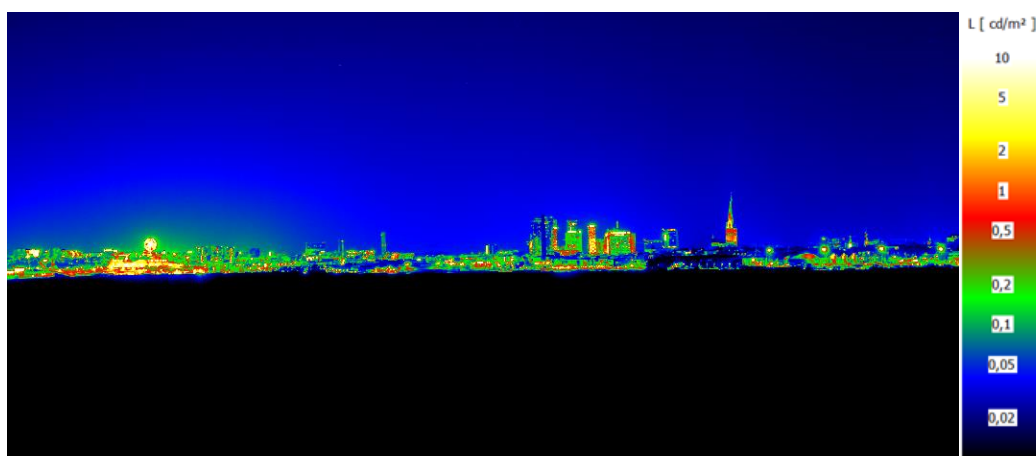
Joonis 6.18. Vaade Katariina kait suunaga Pirita promenaadile ning Tallinna sadama alale (foto: IMG_6773.CR2).



Joonis 6.19. Väärvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6773.CR2 – IMG_6775.CR2) Katariina kailt suunaga Pirita promenaadile ning Tallinna sadama alale.



Joonis 6.20. Vaade Katariina kailt suunaga Ülemistele, Tallinna sadama alale ja kesklinnale (foto: IMG_6776.CR2)

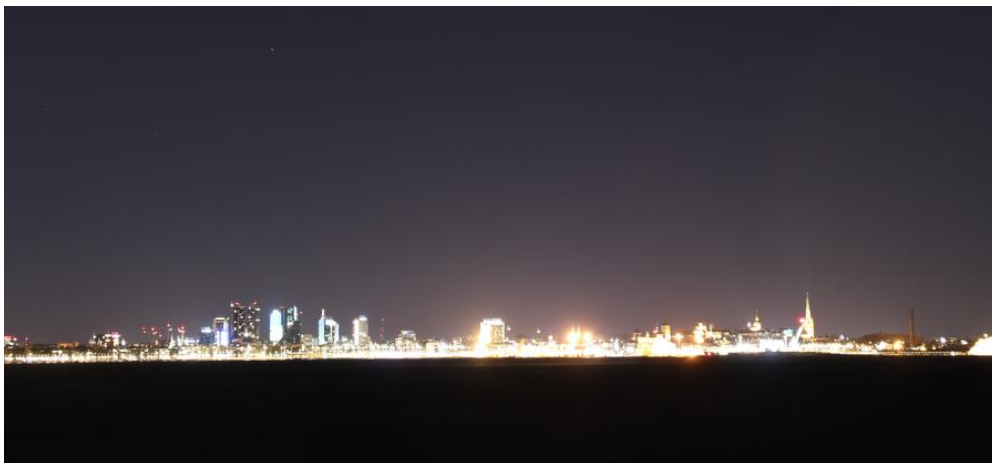


Joonis 6.21. Väärvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6776.CR2 – IMG_6778.CR2) Katariina kailt suunaga Ülemistele, Tallinna sadama alale ja kesklinnale.

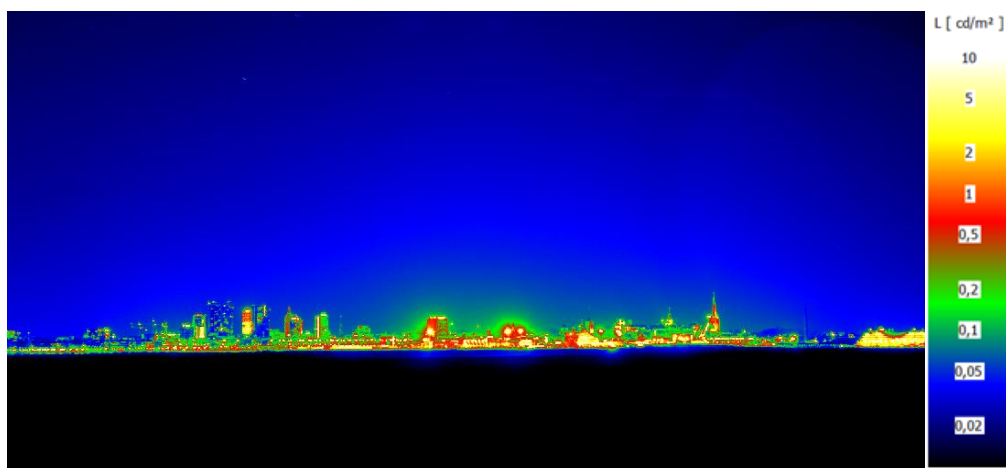
Joonistel 6.17 ja 6.20 on esitatud värvärvides mõõteandmestik on vaatega Katariina kailt ning kirjeldab Tallinna linna kõrghoonete keskuse ja Tallinna vanalinna heleduskeskkonda. Eristuvad üksikud hoonete fassaadid ning reisisadama ala kuid oluliselt suurem valgustusreostus ning kõrgem heledustase jääb Ülemiste keskuse suunda. Ülemistel on selgelt eristuv vaateratas ning seda ümbritsev ala on rohkem kui 100 korda heledam. Tegemist on antud vaates ühe kõige suurema valgusreostuse alaga ning sellelt panoraampildilt võib leida mitmeid räigust tekitavaid objekte. Antud piirkond vajab tulevikus täpsemat kaardistamist, kohtmõõtmisi ning analüüsi.

6.2.6. Pirita TOP

Tallinna Olümpiapurjespordikeskuse (TOP) juurest avanevad vaated Tallinna sadamale, kesklinna ja vanalinna osale. Käesolevas peatükis on esitatud ülesvõtted ning mõõteandmestiku värvärvides pildid, mis on tehtud Pirita sadama lõunamuuli linna poolsest küljelt. Vaated on esitatud joonistel 6.22 ja 6.24. Nendes vaadetes on teostatud ka mõõtmised, mis on esitatud värvärvides mõõteandmestikuna joonistel 6.23 ja 6.25. Joonisel 6.22 oleval fotol on esitatud Tallinna sadama, kesk- ja vanalinna suund. Joonisel 6.24 on toodud vaade Kadriorust Paljassaare poolsaareni. Vaadetes teostatud ülesvõtted ning nende alusel loodud mõõteandmestik võimaldab detailsemalt analüüsida mereäärset valgustust ning linnaosade taustvalgustust ning mõju linna valgusreostusele.



Joonis 6.22. Vaade Pirita TOP-st suunaga Tallinna sadama alale ja kesklinnale (foto: IMG_6764.CR2)



Joonis 6.23. Värvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6764.CR2 – IMG_6766.CR2) Pirita TOP-st suunaga Tallinna sadama alale ja kesklinnale.



Joonis 6.24. Vaade Pirita TOP-st suunaga kesklinnale ja Paljassaare alale (foto: IMG_6761.CR2)



Joonis 6.25. Värvvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6761.CR2 – IMG_6763.CR2) Pirita TOP-st suunaga kesklinnale ja Paljassaare alale.

Vaatega Pirita TOP-st suunaga Tallinna sadamale ja kesklinnale kirjeldab joonis 6.25 üldvaadet ja joonis 6.23 detailsemalt värvvärvides heleduse mõõteandmestikku. Samuti Katariina kaitl tehtud vaatele eristuvad Pirita TOP-st tehtud vaates Tallinna linna kõrghooned, Tallinna sadama ala ja Tallinna vanalinna piirkond. Eristuvad üksikud hoonete fassaadid ning reisisadama ala. Antud vaates ühe kõige suurema valgusreostusega alana on reisisadama piirkond. Antud piirkond vajab tulevikus täpsemat kaardistamist, lokaalseid mõõtmisi ning analüüsi.

6.2.7. Merivälja kai

Merivälja kai juurest avanevad vaated Lasnamäelt kesklinnani. Käesolevas peatükis on esitatud ülesvõtted ning mõõteandmestiku värvvärvides pildid, mis on tehtud Merivälja kaitl Tallinna suunas. Vaated on esitatud joonistel 6.26 ja 6.28. Nendes vaadetes on teostatud ka mõõtmised, mis on esitatud värvvärvides mõõteandmestikuna joonistel 6.27 ja 6.29. Joonisel 6.26 oleval fotol on esitatud ala Pirita promenaadist kesklinnani. Joonisel 6.28 on toodud vaade Lasnamäelt kesklinnani. Vaadetes teostatud ülesvõtted ning nende alusel loodud mõõteandmestik võimaldab detailsemalt analüüsida mereäärset valgustust ning linnaosade taustvalgustust ning mõju linna valgusreostusele.



Joonis 6.26. Vaade Merivälja kait suunaga Pirita promenaadile ja kesklinnale (foto: IMG_6647.CR2).

Joonisel 6.29 on esitatud üldvaade Merivälja kait vaatega Tallinna panoraamile heledusandmestikuna värvvärvides ja joonisel 6.27 on detailsem vaade heledusandmestikuga. Need kirjeldavad Tallinna linna kõrghoonetega keskuse ja Tallinna vanalinna heledusjaotust. Selgelt eristuvad reisisadama ala üldalavalgustid, Pirita promenaadi kergliiklustee valgustid ning Ülemiste keskus (sh Vaateratas) mis on suurema valgustusreostusega ning kõrgema heledustasemega. Ülemistel on selgelt eristuv vaateratas ning seda ümbritsev ala on rohkem kui 100 korda heledam. Samuti on enam kui 50 kordse heledusega sadama ala. Valgusreostus nendelt objektidelt ulatub kaugele merele ning samuti pilvedesse, millelt tagasipeegeldumisel tekib kogu linna alale kaugele nähtav valguskuma.

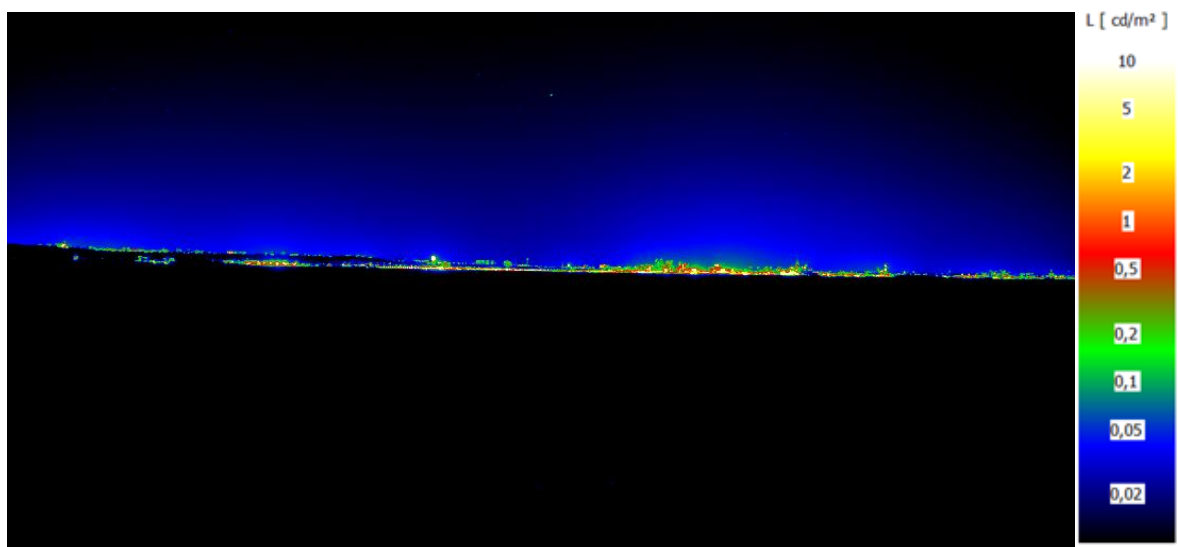


Joonis 6.27. Värvvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6647.CR2 – IMG_6649.CR2) Merivälja kait suunaga Pirita promenaadile ja kesklinnale.



Joonis 6.28. Vaade Merivälja kaitl suunaga Lasnamäelt kesklinnani (foto: IMG_6755.CR2)

Tallinna sadama ja Ülemiste keskuse näol on tegemist antud panoraam vaates kõige suuremate valgusreostusega aladega ning siit on leitavad mitmed räigust tekitavad objektid. Antud piirkonnad vajab tulevikus täpsemat kaardistamist ning analüüsi. Pirita tee kergliiklustee valgustusega promenaad on samuti kõrgema heledustasemega kuid ei tekita olulist räigust juba kõrgema heledusega tausta tõttu. Samas võib kinnitada, et Stroomi ranna kergliiklustee väljalülitamise näitel on võimalik oluliselt vähendada ümbritseva keskkonna valgusreostust.



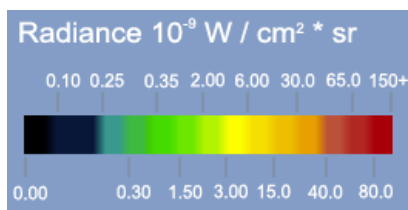
Joonis 6.29. Väärvärvides mõõteandmestik (fotod: IMG_6755.CR2 – IMG_6757.CR2) Lasnamäelt kesklinnani

Kokkuvõte:

- Panoraamvaadete heleduse mõõtmine toimus kalibreeritud mõõtevahendiga, mille ohje vastab standardile.
- Mõõtmiste tulemusena on esitatud Tallinna linna panoraamvaadete heleduse mõõteandmestik taasesitataval kujul ja väärvärvides kirjeldavas skaalas ning parameetrites. Mõõtmised viidi läbi mere poolt erinevates vaadetes, milles on esitatud linna panoraami heleduse ja ümbritseva keskkonna heleduse andmestikud.
- Väärvärvides andmestik annab üksikasjaliku ülevaate objektide valgustusest ning annab detailse informatsiooni selgelt eristuvatest pindadest ja heledustasemelt taustafoonist enam kui 50 kordselt heledamatest aladest, mis tekitavad räigust ja valgusreostust.
- Linna ranna promenaadide kergliiklusteed tekitavad „kuppel“-valgustitega valgusreostust, kuna kiirgavad valgust kõigis suundades sh taevasse.
- Väärvärvides andmestik esitab üksikasjaliku ülevaate ning kinnitab, et valgustuse hämardamine, liikumisele seadistamine või välja lülitamine vähendab keskkonna heledust enam kui 50 korda.
- Mõõtmised kinnitasid, et valgusreostust tekitavad kümnetes kordades mitmete hoonete välisfassaadide valgustus lahendused ja reklaamvalgustid. Nende välja lülitamine vähendab linna üldist heledustaset kuni 15%.
- Selgelt eristuvad reisisadama ala üldalavalgustus, linna ranna promenaadide kergliiklustee valgustus ning Ülemiste piirkond (sh Vaateratas) mis on suurema valgustusreostusega ning räigust tekitavate objektidega. Valgusreostus nendelt objektidelt ulatub kaugele merele ning samuti pilvedesse, millelt tagasipeegeldumisel tekib kogu linnale kaugele nähtav valguskuma.

6.3. Satelliitpiltide analüüs

Satelliitpiltide analüüsimisel saab võrrelda erinevate aastate tulemusi, erinevusi Tallinna erinevate piirkondade tulemuste vahel ning Tallinna erinevusi mõne teise sarnase linna satelliitpildidelt saadavate mõõtetulemustega. Valitud ajavahemikuks on aastad 2012 kuni 2021, mis on käesoleval hetkel maksimaalne võimalik aastaste andmete vahemik VIIRS satelliitmõõtmiste andmebaasis. Lisaks Tallinna erinevate piirkondadele on tehtud satelliidimõõtmistest väljavõtted ka Turu ja Göteborgi linnade kohta, mis valiti asukoha ja suuruse alusel võrdluslinnadeks. Satelliidipiltidek kuvatavate värvide vastavate väärtuste legend on toodud järgmisel joonisel (Joonis 6.30).



Joonis 6.30. Satelliidipiltidel kasutatavate värvide väärtused

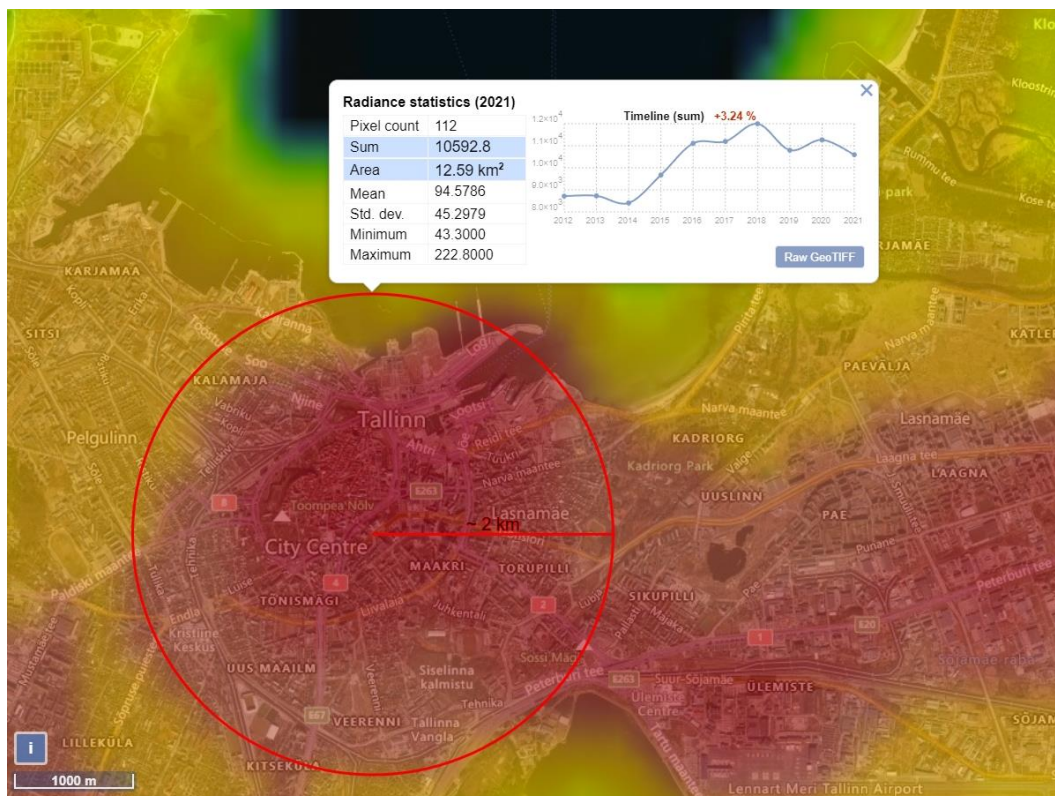
6.3.1. Valitud Tallinna piirkondade analüüs

Piirkondade näitliku tunnusjoone saamiseks valiti satelliitpiltidelt kahe kilomeetrise raadiusega alad ning võrdlusena on toodud valitud ala mõõtepunktide summaarne tulemus. Kirjeldatud raadius sai valitud lähtuvalt võrreldavate linnade koondumisest eri piirkondadeks (sh keskus, tööstuspiirkond, elamurajoonid jms). Valitud mõõtealade piirkonna, keskpunkti asukoha ning satelliitmõõtmiste trendi info on toodud Tabel 6.2. Valitud mõõtealad on visuaalselt punase ringina esitatud satelliitpiltide väljavõtetel järgnevatel joonistel (Joonis 6.31 - Joonis 6.36).

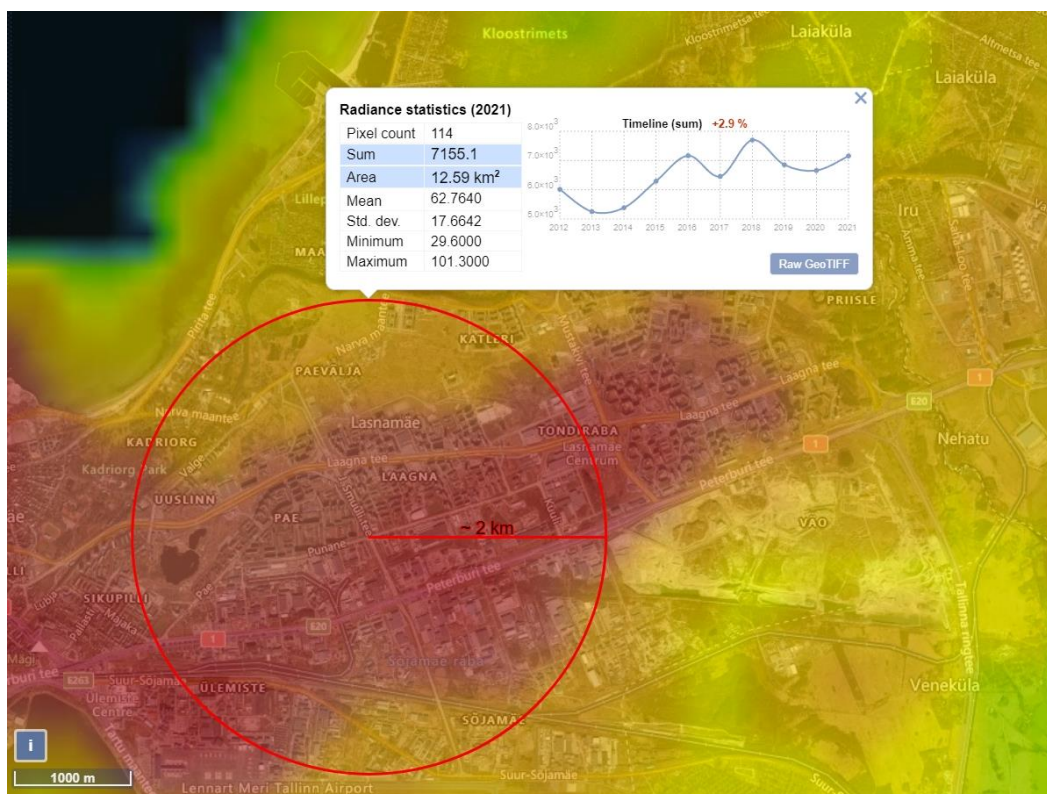
Tabel 6.2. Analüüsiks valitud Tallinna piirkonnad ja mõõtepiirkonna keskpunkti asukohad ning aastane trend

Nr	Piirkond	Keskpunkti asukoht	Trend (nW/cm ² /sr)/a
1	Kesklinn	Estonia pst ja G-Otsa tn ristmikul	325.38
2	Lasnamäe	J.Smuuli tee ja Punane tn ristmikul	187.66
3	Nõmme	Vabaduse pst ja hiiu tn ristmik	19.224
4	Mustamäe	A.H.Tammsaare tee ja sõpruse pst ristmik	91.042
5	Õismäe ja Haabersti	Rannamõisa tee ja Lõuka tn ristmik	75.931
6	Põhja-tallinn	Sõle tn ja Lõime tn ristmik	36.682

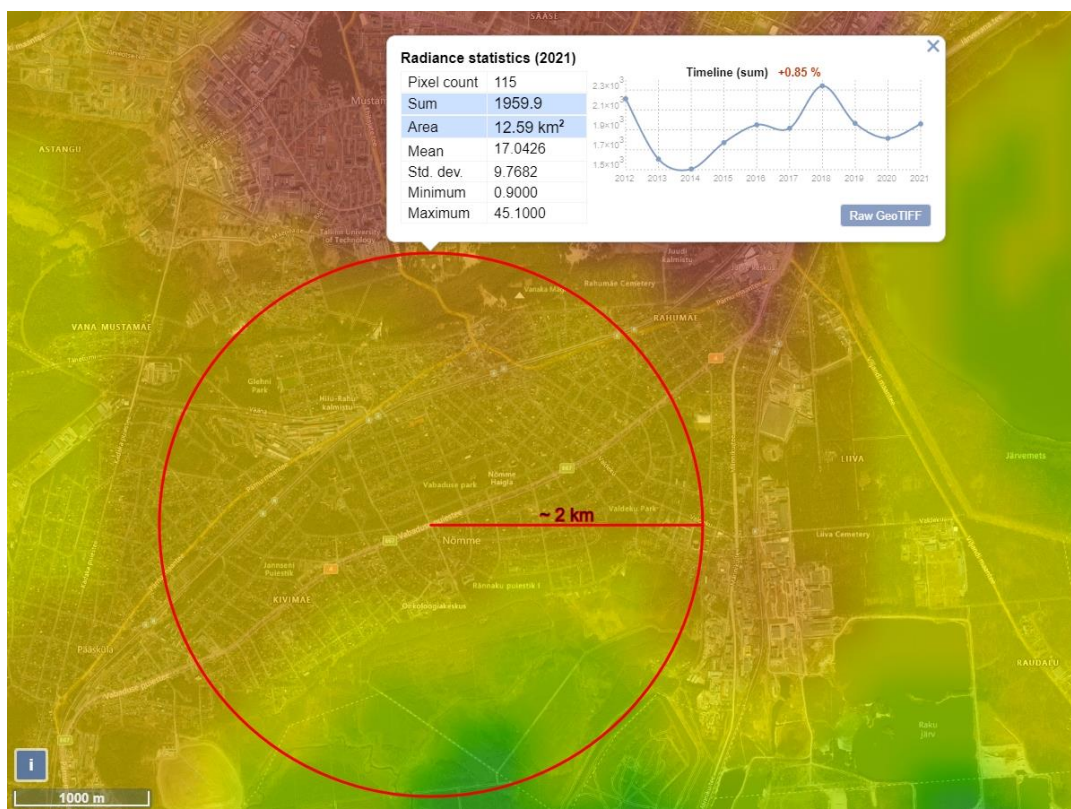
Trendid näitavad valgusreostuse kõige kiiremat kasvu Kesklinnas ja Lasnamäel. Mustamäel, Õismäel ja Haaberstis on valgusreostuse kasv mõõdukas ning kõige aeglasemalt on valgusreostus kasvanud Nõmmel ja Põhja-Tallinnas. Sellest saab järeldada, et enim tuleks valgustuse rekonstrueerimisele ja valgustusobjektide sh tänavavalgustuse, reklaamekraanide, fassaadide valgustuse projekteerimisel ja väljaehitamisel tähelepanu pöörata võimalikku valgusreostust põhjustavatele mõjudele just Kesklinnas ja Lasnamäel.



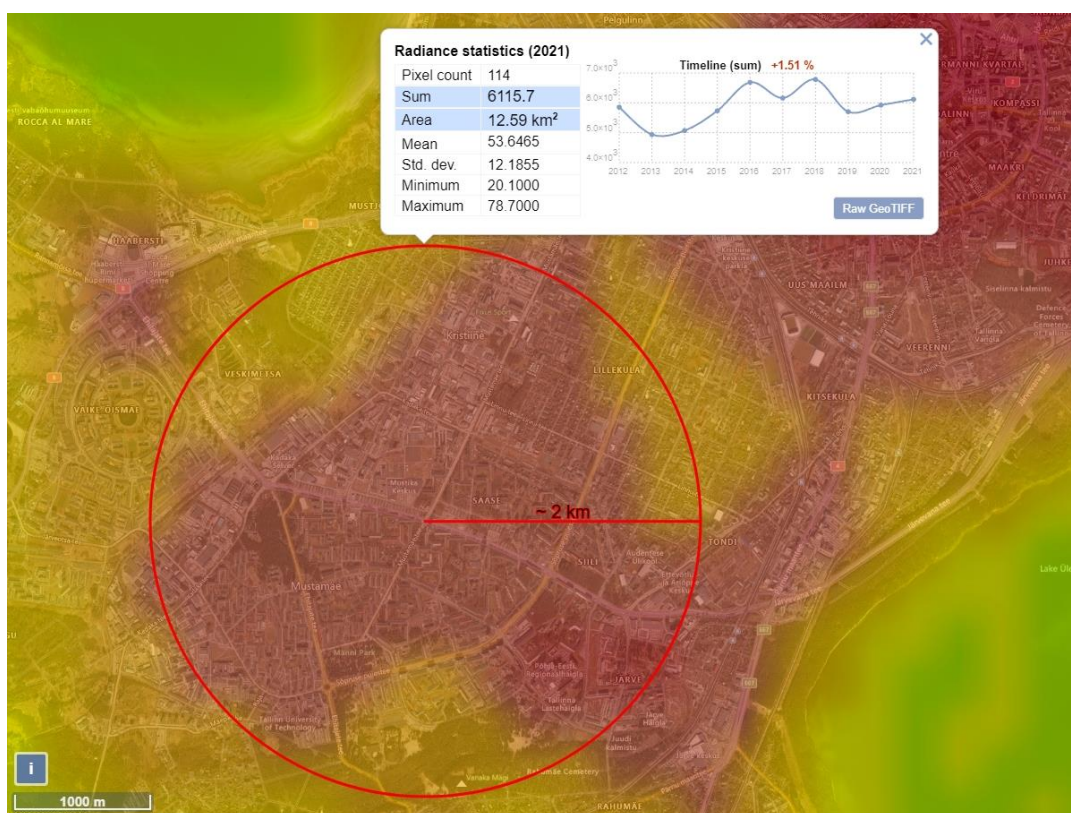
Joonis 6.31. Mõõteala Tallinna kesklinna piirkonnas



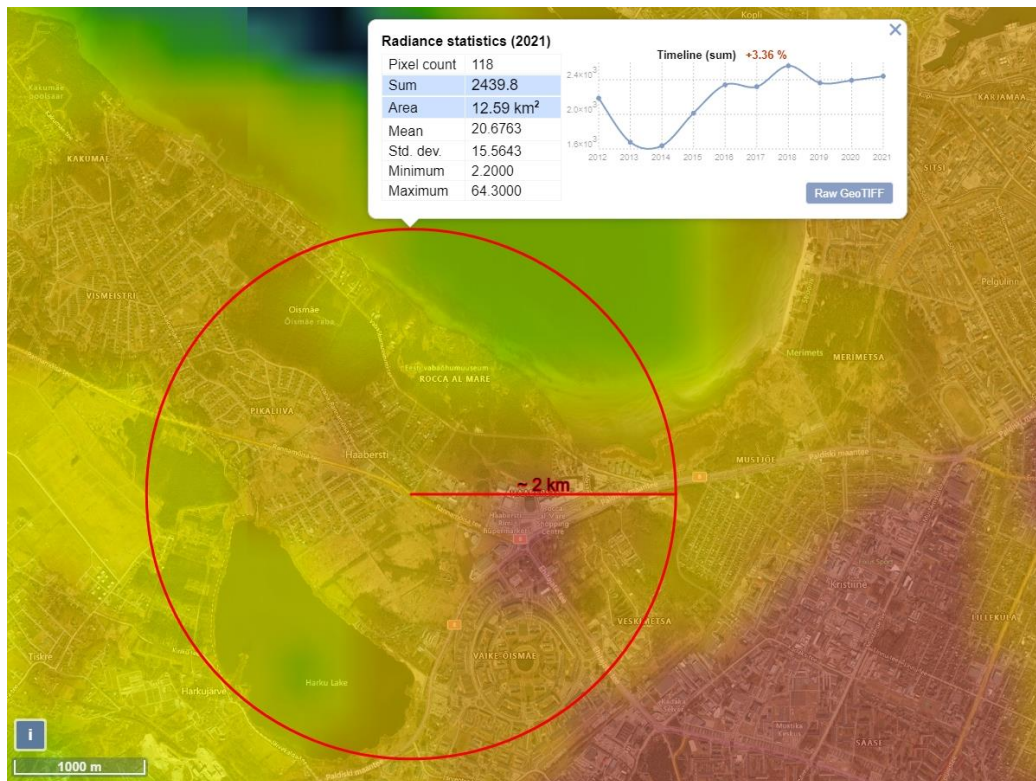
Joonis 6.32. Mõõteala Lasnamäe piirkonnas



Joonis 6.33. Mõõteala Nõmme piirkonnas

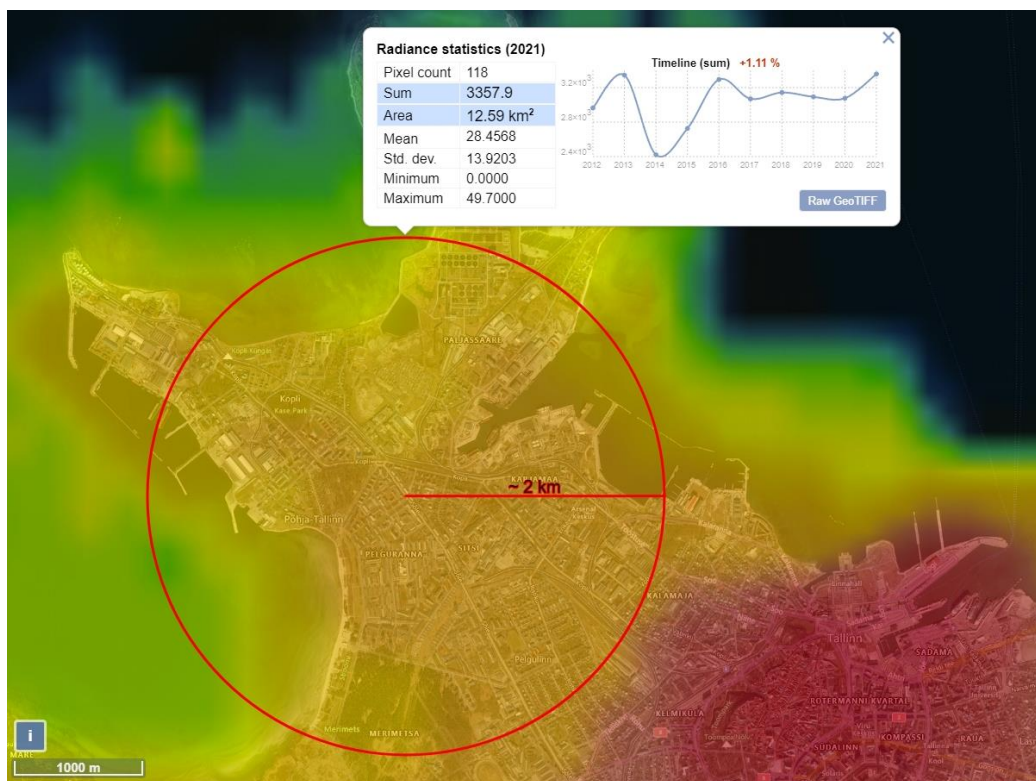


Joonis 6.34. Mõõteala Mustamäe piirkonnas



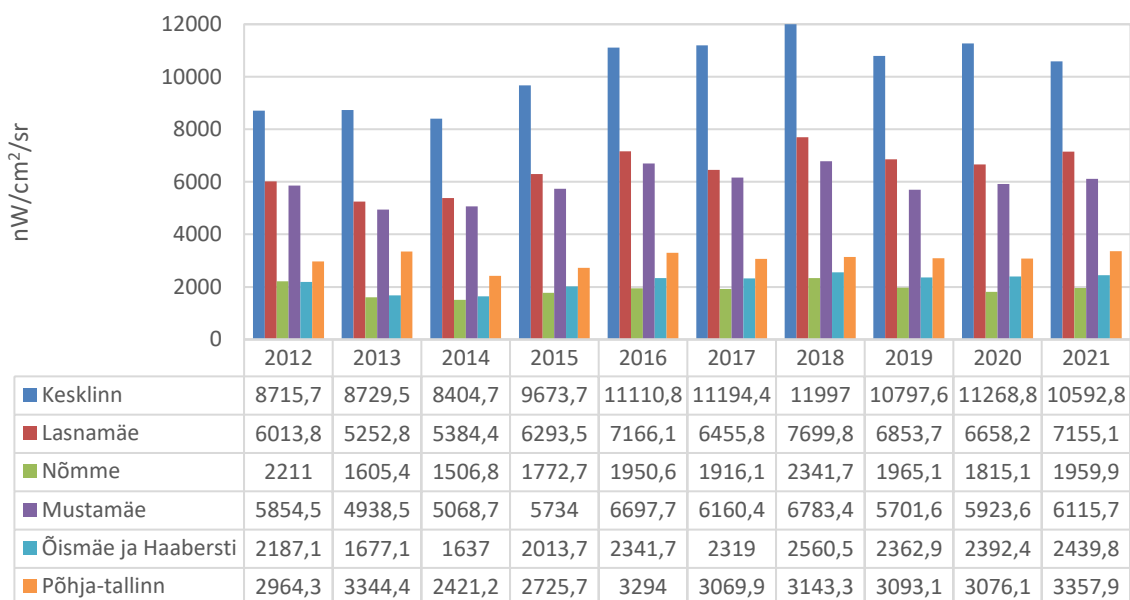
Joonis 6.35. Mõõteala Õismäe ja Haabersti piirkonnas

Valitud piirkonnas mõjutab tulemusi ka mõõtepiirkonda jäävad Harku järve ja mere veepinnad, kus küll valgustus puudub kuid veepind peegeldab ka kalda lähedal olevat valgustust.



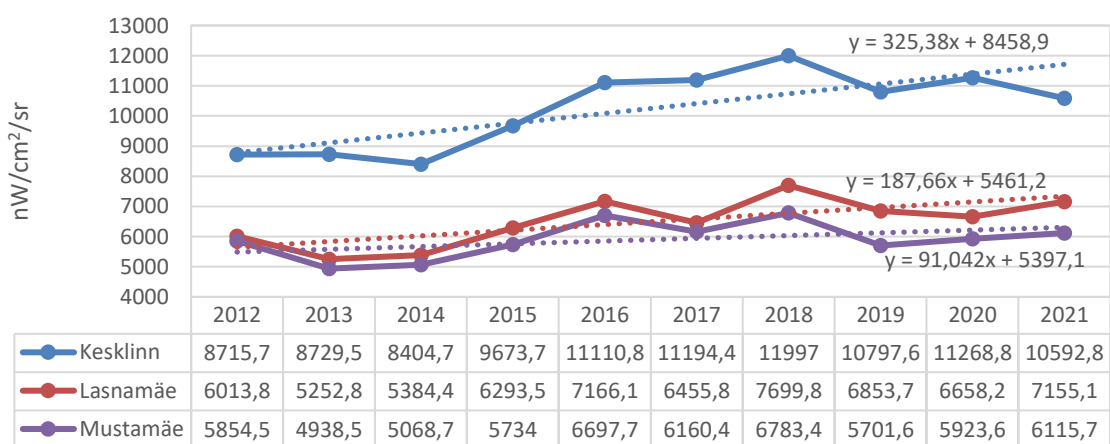
Joonis 6.36. Mõõteala Põhja-tallinna piirkonnas

Vastavalt alloleval joonisel (Joonis 6.37) esitatud andmetele on valgusreostus kõige kõrgem kesklinna piirkonnas, kus toimub kõige aktiivsem tegevus ka öisel ajal. Kõige madalama summaarse tulemusega on Nõmme piirkond, seda mõjutab suuresti ka asjaolu, et mõõtepiirkonna sisse jääb ka suur ala Pääsküla rabast, kus valgustust ei ole. Mustamäel ja Lasnamäel on suurem asustus- ja liiklustihedus ning seetõttu teistest elurajoonidest ka kõrgem valgusreostuse tase. Ühesuguse tunnuseks saab ära märkida, et 2014. aastal on valguskiirguse tulemus kõigis piirkondades madalamas otsas.



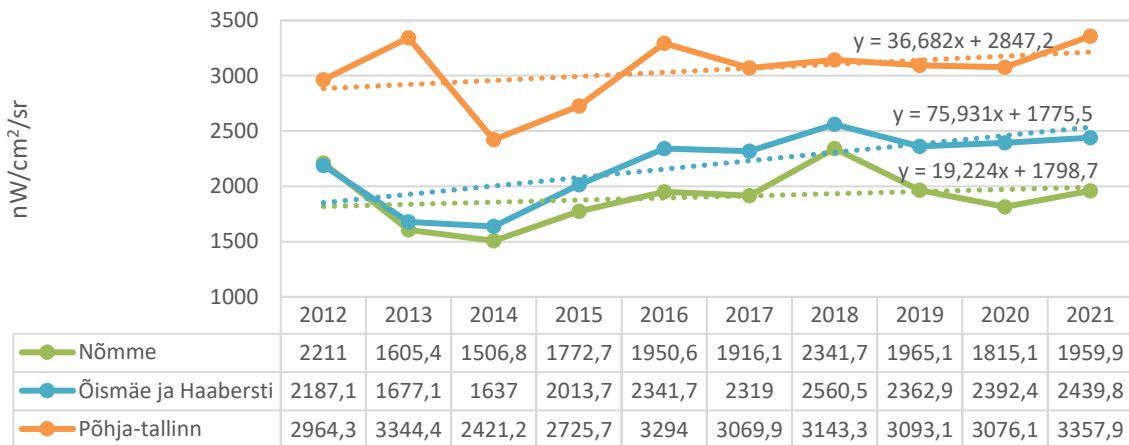
Joonis 6.37. Satelliitmõõtmiste aastased summaarsed tulemused valitud mõõtealadel

Kõikide valitud alade puhul on kogu perioodi kohta trendi vaadates näha valgusreostuse tõusu, kuid see on piirkonniti siiski erinev. Trendide parema loetavuse huvides on piirkonnad jagatud kahele erinevale joonisele, suurema valgusreostusega piirkonnad (Joonis 6.38) ja väiksema valgusreostusega piirkonnad (Joonis 6.39).



Joonis 6.38. Valgusreostuse aastased koondtulemused ning trendid Kesklinna, Lasnamäe ja Mustamäe piirkonnas

Kesklinna piirkonnas näitab kümne aasta trend suurimat valgusreostuse kasvu (Joonis 6.38), kuid kuna viimastel kolmel aastal on näha üldist pöördumist langusele, siis järgnevate aastate andmete lisandumisel muutub nähtavalt juba ka kümne aasta trend. Tõenäoliselt on seal valgusreostuse vähenemisel oma osa ka suuremahulisel tänavavalgustuse objektide renoveerimisel ehk vanade naatriumlampide vahetamisel leedvalgustite vastu. Ka koroonapandeemia võis mõjutada kesklinna valgustust. Selles piirkonnas on kõige enam öisel ajal avatud asutusi ja soojemal ajal ka nende valgustatud välialad, mis olid siis viirusepuhangu tõttu suletud.



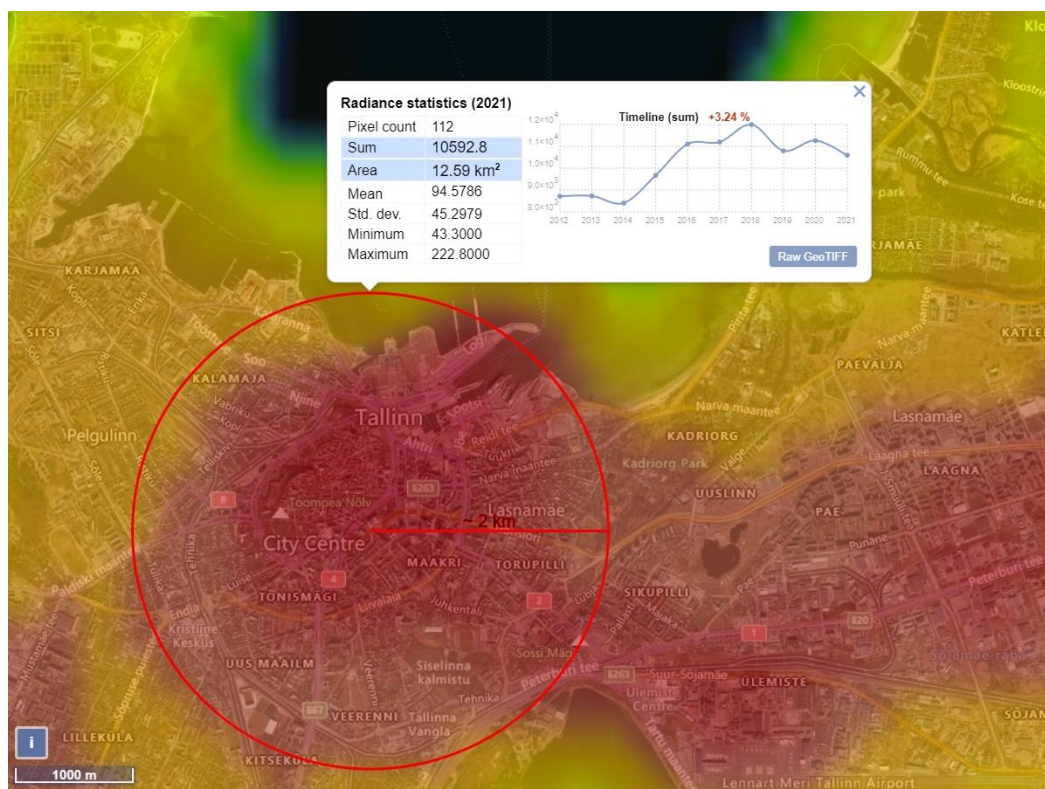
Joonis 6.39. Valgusreostuse aastased koondtulemused ning trendid Nõmme, Õismäe ja Haabersti ning Põhja-tallinna piirkonnas

Analüüsides madalama valgusreostusega seotud alasid (Joonis 6.39), siis võib teha nende kohta järgmised järeldused. Põhja-Tallinnas on valguskiirguse tasemes viimastel aastatel on näha teistega võrreldes suuremat tõusu, mis võib seotud olla piirkonna uute kinnisvaraarendustega ning sinna lisandunud tänavavalgustusega. Valitud Nõmme piirkonna tulemused on teistega võrreldes kõige madalamad. Need on tõenäoliselt tingitud rohkemast kõrghaljastusest, mis ei lase valguse üles peegelduda. Madalamad tulemused on kindlasti tingitud valitud piirkonna serva jäävast pääsküla rabast, kus valgustust ei ole.

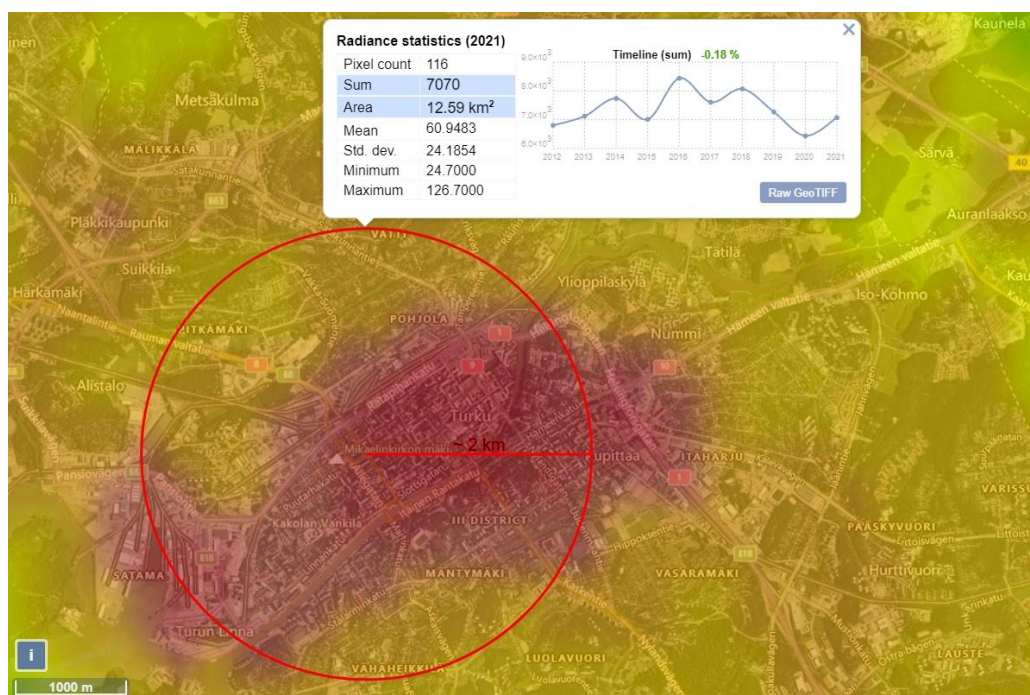
6.3.2. Võrdlus teiste linnadega

Hindamaks valgusreostust Tallinnas on üheks meetodiks ka võrdlus teiste sarnaste linnadega. Käesolevas uurimuses valiti võrreldavateks linnadeks Turu Soomes ning Göteborg Rootsis. Mõlemad võrreldavad linnad on suhteliselt sarnased Tallinnaga oma rahvaarvult ja ka pindalalt ning asuvad ka sarnaselt Tallinnaga mere ääres. Mõõtealad on püütud satelliidipiltidelt visuaalselt hinnates paigutada suurema valgusreostusega ala keskpunkti lähedale. Erineva suurusega ala tulemuste välja toomiseks on valitud (2, 5 ja 10) km raadiusega ringid, et võtta arvesse erinevate linnade hajutatust suuremal maaalal.

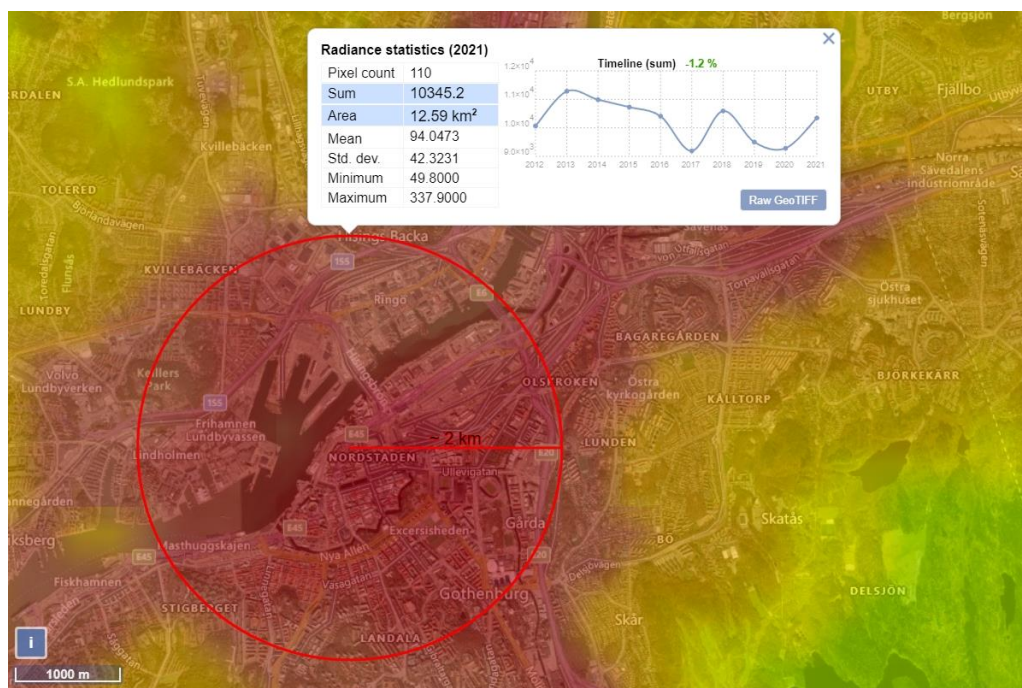
Tallinna puhul on võrdluseks kasutatav 2 km mõõteala satelliidipilt toodud juba eespool, kuid esitatud ka järgmisel joonisel (Joonis 6.31), Turu ja Göteborgi linnade satelliitpildid on esitatud vastavalt Joonis 6.41 ning Joonis 6.42.



Joonis 6.40. Mõõteala Tallinna kesklinna piirkonnas

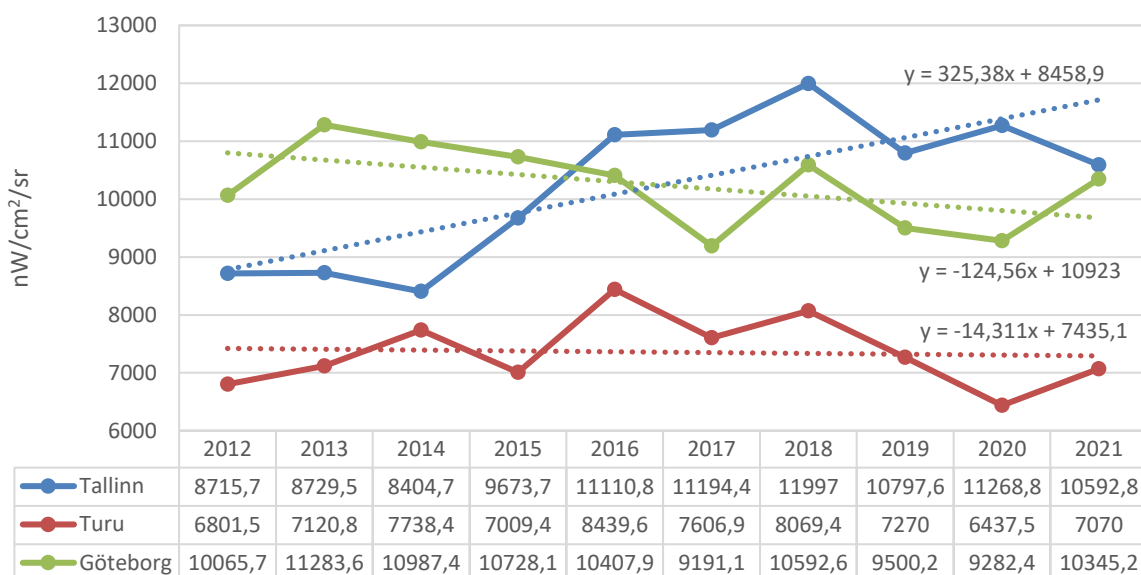


Joonis 6.41. Turu, mõõteala 2 km raadiusega



Joonis 6.42. Göteborg, mõõteala 2 km raadiusega

Valitud väikseima, 2 km raadiusega mõõtealaga saadud tulemuste kümne aasta trend näitab (Joonis 6.43 ja Tabel 6.3), et võrreldes Turu ja Göteborgiga, kus valgusreostus langeb, Tallinna valgusreostus hoopis kasvab. Võrreldes 2020. aastaga 2021. aastal tõusule pööranud tulemus võib olla seotud koroonapandeemia möödumisest taastunud majandustegevuse ja muu aktiivsusega pimedal ja öisel ajal. Nagu juba eelpool sai mainitud, siis Tallinna keskuse tulemused on viimastel aastatel langema hakanud ja tulevikus trendi joon kindlasti muutub horisontaalsemaks, siis võrreldavate linnadega sarnaselt kümne aasta vaates langustrendini jõudmine võtab veel aega.

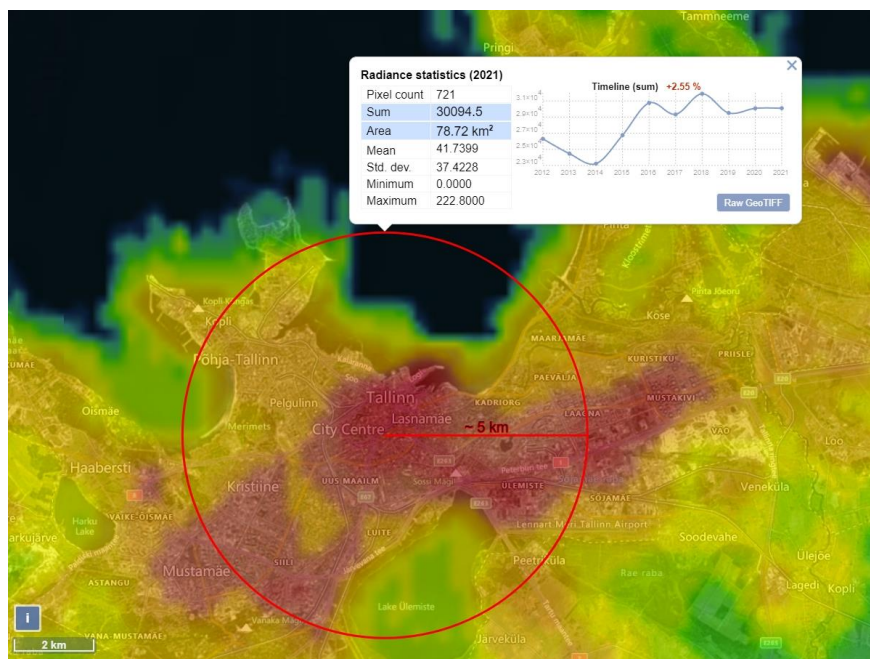


Joonis 6.43. Tulemused aastate lõikes, 2 km raadiusega mõõteala

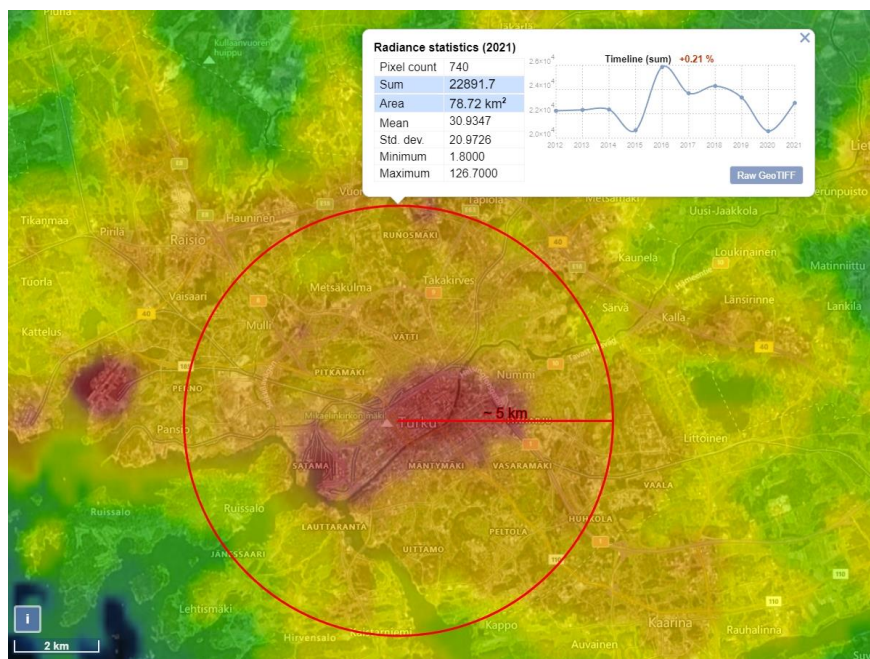
Tabel 6.3. Aastased trendid 2 km raadiusega mõõtealal

Linn	(nW/cm ² /sr)/a
Tallinn	325.38
Turu	-14.311
Göteborg	-124.56

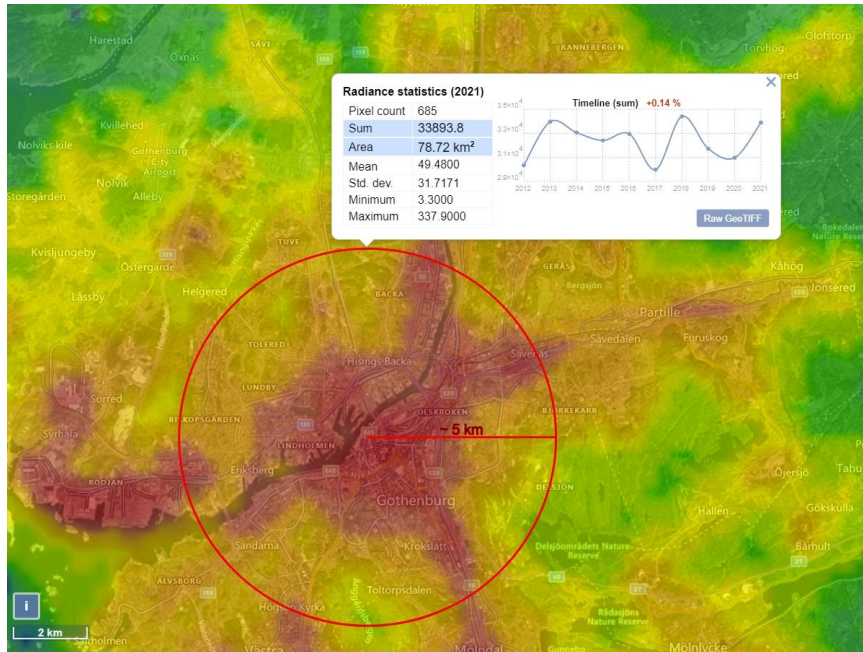
Järgnevatel joonistel (Joonis 6.44-Joonis 6.46) on esitatud kõigi kolme võrdluslinna satelliitpildid 5 kilomeetrise raadiusega alal.



Joonis 6.44. Tallinn, mõõteala 5 km raadiusega

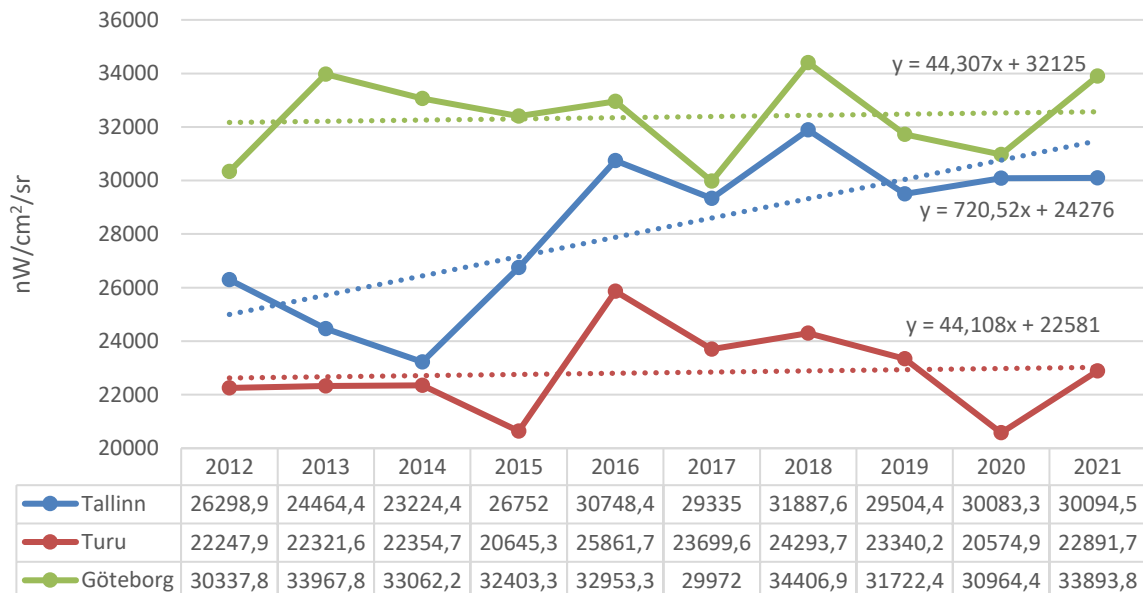


Joonis 6.45. Turu, mõõteala 5 km raadiusega



Joonis 6.46. Göteborg, mõõteala 5 km raadiusega

Uurimistöös kasutatud keskmise suurusega ehk 5 km raadiusega mõõteala puhul on juba aga ka teiste võrdluses kasutatavate linnade puhul kümne aasta trend kerges tõusust (Joonis 6.47, Tabel 6.4), olles siiski hinnanguliselt suurusjärgu võrra väiksemad Tallinna omast. Tallinna puhul väiksemal, 2 km raadiusega kesklinna alal 2021. aastal selgelt näha olnud langus on siin jäänud toimumata, ehk valgusreostuse langus on 2021. aastal toimunud põhiliselt kesklinnas.

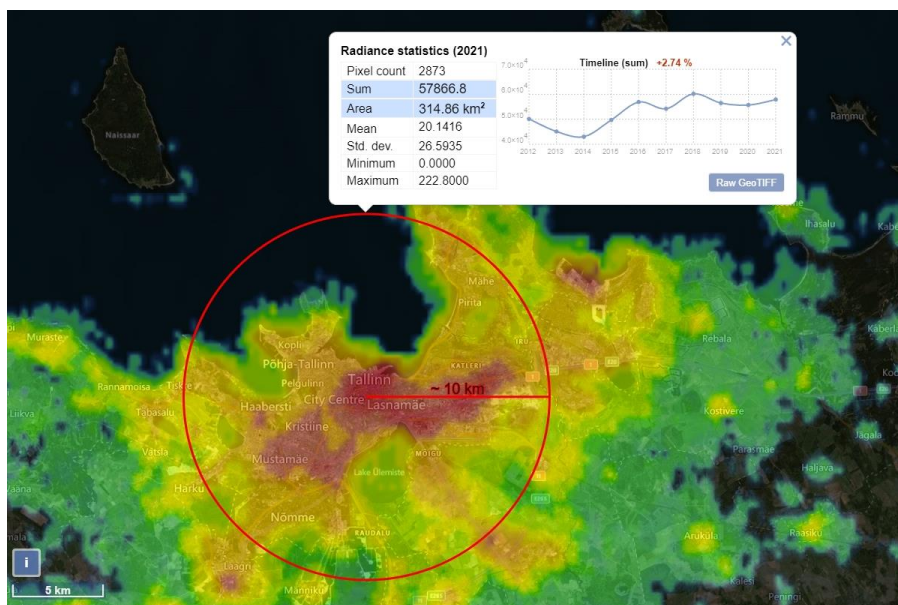


Joonis 6.47. Tulemused aastate lõikes, 5 km raadiusega mõõteala

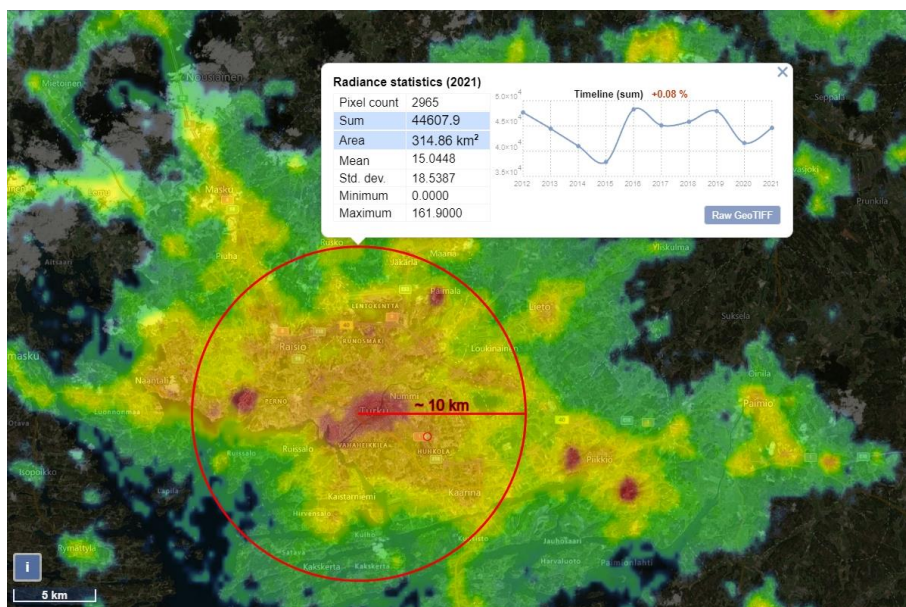
Tabel 6.4. Aastased trendid 5 km raadiusega mõõtealal

Linn	(nW/cm ² /sr)/a
Tallinn	720.52
Turu	44.108
Göteborg	44.307

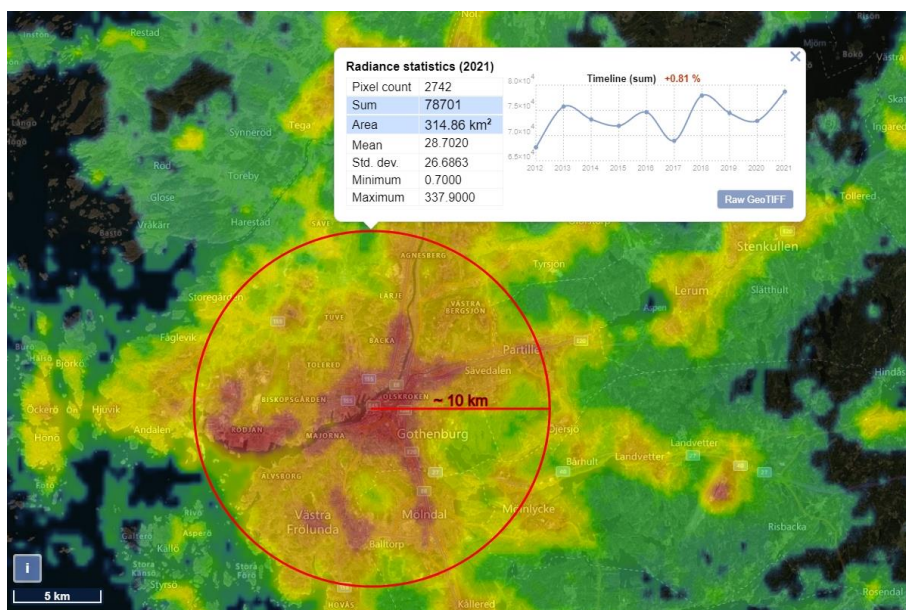
Järgnevatel joonistel (Joonis 6.48-Joonis 6.50) on esitatud kõigi kolme võrdluslinna satelliitpildid 10 kilomeetrise raadiusega alal.



Joonis 6.48. Tallinn, mõõteala 10 km raadiusega

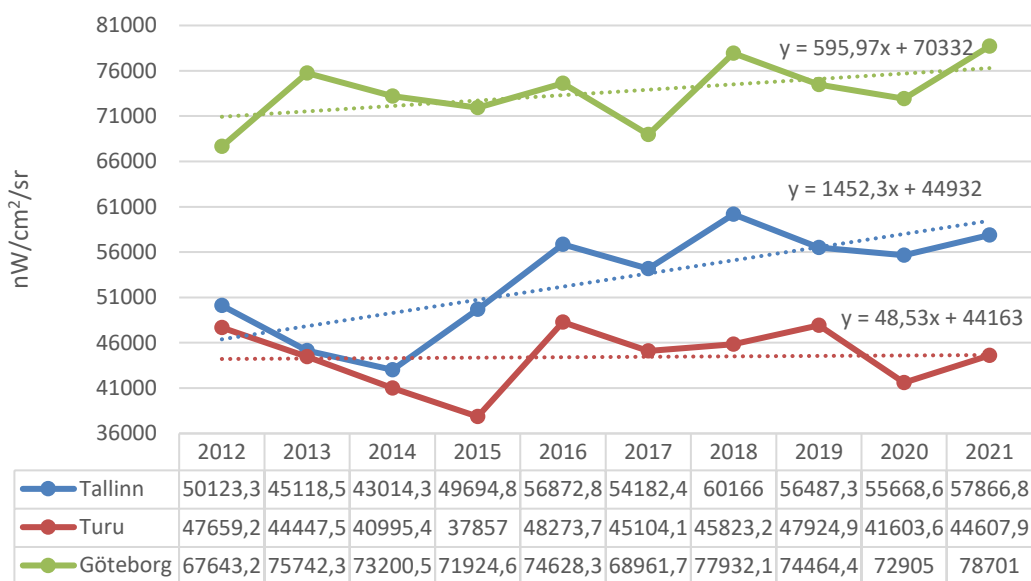


Joonis 6.49. Turu, mõõteala 10 km raadiusega



Joonis 6.50. Göteborg, mõõteala 10 km raadiusega

Analüüsid 10 kilomeetrise raadiusega alasid, võib kokku võtta, et kui Turu trendijoon (Joonis 6.51, Tabel 6.5) on kõige suurema ehk 10 km raadiusega ala puhul praktiliselt horisontaalne, siis Tallinna ja Göteborgi mõlema puhul kasvav. Viimane võib viidata sellele, et Göteborg areneb pigem äärealade suunas.



Joonis 6.51. Tulemused aastate lõikes, 10 km raadiusega mõõteala

Tabel 6.5. Aastased trendid 10 km raadiusega mõõtealal

Linn	(nW/cm2/sr)/a
Tallinn	1452.3
Turu	48.53
Göteborg	595.97

Linnadevaheline analüüs (Tabel 6.6) näitab, et Turu linnaga on meil erinevate raadiuste korral korrelatsioon kõige suurem. Kõigi kolme mõõteala puhul on satelliidipiltidel baseeruvatest tulemustest lähtuvalt kõige suurema tõusuga Tallinn. Tallinna kümne aasta trend näitab seda, et reostuse vähendamisele Tallinnas tuleb enam tähelepanu pöörata ja seda ka väljaspool kesklinna piirkonda. Kui võrdluslinnades on kesklinnas 2 ja 5 kilomeetri raadiusega alal valgusreostus vähenev või pisut kasvav, siis Tallinnas 5 km raadiusega alal on valgusreostuse kasv võrdluslinnadega võrreldes pea 16-kordne. 10 kilomeetrise raadiusega alal on Göteborgiga võrreldes reostuse kasv 2,4 kordne, ning Turu linna vaates ligi 30 kordne. Võttes arvesse, et Turu linn on väiksem ja Göteborg on suurem kui Tallinn, siis tuleb detailsemalt uurida, mida on Göteborg ja Turu teinud, et valgusreostuse kasv on võrreldes Tallinnaga oluliselt tagasihoidlikum.

Tabel 6.6. Linnadevaheline analüüs

Võrreldavad linnad	Raadius, km	Korrelatsioon
Tallinn-Turu	2	0.294
Tallinn-Göteborg	2	-0.554
Tallinn-Turu	5	0.463
Tallinn-Göteborg	5	0.002
Tallinn-Turu	10	0.449
Tallinn-Göteborg	10	0.362

Kokkuvõte:

- Tallinna kesklinna piirkonnas on valgusreostus viimastel aastatel vähenenud.
- Turu ja Göteborgi 10 aasta trendidega võrreldes on Tallinna trend kõigis analüüsitud alades kasvav.
- Isegi kui kõigis analüüsitud linnades trend kasvas on Tallinna trendi tõus kõige suurem.
- Tuleb täpsemalt uurida, mis on Turu ja Göteborg teinud valgusreostuse vähendamiseks
- Tallinna ja Turu valgusreostuse kõikumine on omavahel kõige paremas korrelatsioonis

7. Kokkuvõte

Valgusreostus ehk valgussaaste on üleliigne, tarbetu või soovimatu tehisvalgus. Valgusreostust tekitavad tänava-, aia-, reklaam- ja fassaadivalgustus, mis kõik on mitte eesmärgipäraselt või halvasti projekteeritud, varjestamata ja/või suunatud üles taevasse. Valgusreostus on ka see kui tänavalaternatelt tulev valgus paistab elamu akendest sisse või eredad tuled ettevõtete ja tööstuste valgustitelt valgustavad keset ööd kogu ümbruskonda. Valgusreostuse näol on tegemist keskkonnahäiringuga (ebasoodsa keskkonnamõjuga). Valgusreostus tekib valgusallikate vales kasutamisest, mis on seotud inimeste harjumustega, teadmatusega, aegunud standarditele vastavate valgustite kasutamisega ja valgusreostusest tingitud ohtude mittemõistmisega.

Valgusreostust käsitletakse tavaliselt kahes võtmes: astronoomiline valgusreostus ja ökoloogiline valgusreostus. Astronoomilise valgusreostuse all mõeldakse olukorda, kus liigse taeva heleduse tõttu ei ole taevaobjektid enam nähtavad, mis valgusreostusega taevas oleksid nähtavad. Ökoloogilise valgusreostuse all aga mõeldakse, kuidas valgusreostus avaldab negatiivset mõju elusloodusele. Nimelt põhjustab valgusreostus paljudele elusorganismidele öise käitumise muutumist, mis enamasti on negatiivse mõjuga.

Käesolev uuring annab ülevaate, milliseid regulatsioone, eeskirju, soovitusi ning nõuded on osad riigid kehtestanud valgusreostuse vähendamiseks, et vähendada soovimatu valguse levimist keskkonda, kuhu see ei olnud ettenähtud. Mitmeid nendes materjalides esitatud piirsuurused kahjuks ei ole harmoniseeritud Maailmas, Euroopas ning isegi teinekord ühe riigi tasandil. Valgusreostusega võitlemise esimesteks sammudeks on avalikus ruumis olevate valgustuspaigaldiste rekonstrueerimine või valgustite väljavahetamine. Lisaks soovitakse nimetatud sammudega vähendada ka energiakulusid kasutades säästvamaid lahendusi ning valgustuspaigaldiste intelligentset juhtimist.

Valgusreostuse piiramine on vajalik eelkõige ökoloogilisest vaatepunktist, kuna on dokumenteeritud erinevaid negatiivseid mõjusid, mis valgusreostus elusorganismidele põhjustavad. Öine kunstvalgus rikub hämaras ja pimedas aktiivsete liikide bioloogilist kella ning põhjustab ka muid kahjulikke mõjusid. Valgusreostuse mõju inimesele on seni uuritud pigem vaatluste põhjal või üksikuid juhtumeid analüüsides. Senini tehtud valgusreostuse mõjude uurimise põhjal on selge, et öine tehisvalgus mõjutab psüühikat, hormonaalset tasakaalu ja käitumist ning nõrgestab immuunsüsteemi. Seetõttu võib kunstlik päeva ja öö tsükli muutmine lõpuks põhjustada tõsisemaid psühholoogilisi ja füsioloogilisi tagajärgi ning ühtlasi soodustada vähi teket. Uuring käsitleb ka valguse mõju inimeste ööpäevarütmile, mis mõjutab ka inimese sisemist kella. Inimestel mõjutab kunstlik valgus ja valgusrütm häire melatoniini sekretsiooni tsüklit, segades nt. ainevahetust, põhjustades muutusi immuunsuses ja vastuvõtlikkust vähile. Kunstliku valguse mõju vähi vastuvõtlikkusele on täheldatud vahetustega töötajate ja inimestega, kes reisivad palju erinevates ajavööndites.

Uuringu käigus koostati küsitlusmetoodika, mille eesmärgiks on uurida Tallinna elanikelt ja Tallinna külastajatelt, kuidas nemad hindavad valgusreostuse ja räiguse olukorda meie pealinnas. Väljatöötatud metoodika toetab küsimustikule järgnevat analüüsi, selgitamaks välja Tallinnas valgusreostuse ning tehisvalguse räiguse ulatust ning neid mõjutavaid olukordi/objekte. Küsitlust võib tulevikus kasutada laiemalt Eestis või välismaal linnade/asulate valgusreostuse ja räiguse kaardistamiseks.

Valgusreostuse ulatust saab mõõta erinevate mõõtemetoditega. Meetodid erinevad nii kasutatavate mõõtetehnikate poolest kui ka meetodit kasutatavate sihtrühmade poolest. Selles töös kasutati kahte meetodit valgusreostuse hindamiseks Tallinnas: heledusmõõtekaameraga Tallinna siluetti heleduse mõõtmist ning satelliitpildidelt kiirguse mõõtmiste analüüsi.

Mõõtmiste tulemusena on esitatud Tallinna linna panoraamvaadete heleduse mõõteandmestik taasesitataval kujul ja väärvärvides kirjeldavas skaalas ning parameetrites. Mõõtmised viidi läbi vähemalt viies vaates mere poolt, lisaks esitatakse võrdlusmomendiks ka linna panoraami heleduse, ümbritseva keskkonna heleduse ja tausta keskkonna heleduse andmestikud. Panoraamvaadete heleduse mõõtmine toimus kalibreeritud mõõtevahendiga. Vaadetes teostatud ülesvõtted ning nende alusel loodud mõõteandmestik võimaldab detailsemalt analüüsida mereäärset valgustust ning linnaosade taustvalgustust ning mõju linna valgusreostusele. Nii näiteks on

Stroomi promenaadile tehtud vaates uuritud jalgteed valgustavat tänavavalgustust välja lülitatud ning sisse lülitatud olekus. Meeruselt tehtud mõõtmised Stroomi promenaadile ülesvõtted ning nende alusel loodud mõõteandmestik võimaldab detailsemalt analüüsida mereäärset valgustust ning linnaosade taustvalgustust ning mõju linna valgusreostusele. Antud materjal annab hilisemateks uuringuteks lähteandmestikku valgusreostuse hindamiseks, kui objekt läheb renoveerimisele ning valgustus vahetatakse välja kaasaegsete leedvalgustite vastu. Kindlasti on see heaks lähtekohaks ka Stroomi ranna promenaadi uue valgustusprojektlahenduse välja töötamisel.

Tallinna valgusreostuse hindamise üheks meetodiks on ka võrdlus teiste sarnaste linnadega. Käesolevas uurimuses valiti võrreldavateks linnadeks Turu Soomes ning Göteborg Rootsis. Mõlemad võrreldavad linnad on suhteliselt sarnased Tallinnaga oma rahvaarvult ja ka pindalalt ning asuvad ka sarnaselt Tallinnaga mere ääres. Mõõtealad on püütud satelliidipiltidelt visuaalselt hinnates paigutada suurema valgusreostusega ala keskpunkti lähedale. Kõigi kolme mõõteala puhul on satelliidi piltidel baseeruvatest tulemustest lähtuvalt kõige suurema tõusuga Tallinn. Tallinna kümne aasta trend näitab seda, et reostuse vähendamisele Tallinnas tuleb enam tähelepanu pöörata ja seda ka väljaspool kesklinna piirkonda. Kui võrdluslinnades on kesklinnas 2 ja 5 kilomeetri raadiusega alal valgusreostus vähenev või pisut kasvav, siis Tallinnas 5 km raadiusega alal on valgusreostuse kasv võrdluslinnadega võrreldes pea 16-kordne.

8. Kasutatud kirjandus

- [AKB22] Influence of Artificial Light at Night (ALAN) on the Outstanding Universal Value (OUV) of the Wadden Sea World Heritage; Programma naar een Rijke Waddenzee (PRW) Annette Krop-Benesch, www.rijkwaddenzee.nl, Maart 2022
- [ALA21] Alarcon, M. R., et al., 2021, Natural Night Sky Brightness during Solar Minimum, The Astronomical Journal, 162(1), 25, (<https://doi.org/10.3847/1538-3881/abfdaa>)
- [AZA18] Azam, C., Le Viol, I., Bas, Y., Zissis, G., Vernet, A., Julien, J.-F., and Kerbiriou, C. (2018). Evidence for distance and illuminance thresholds in the effects of artificial lighting on bat activity. Landscape and Urban Planning 175, 123–135, (<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.02.011>)
- [BAL09] Ballasus, H., and Hill, K. (2009). Gefahren künstlicher Beleuchtung für ziehende Vögel und Fledermäuse. Ber. Vogelschutz 46, 127–157
- [BAR21] Bará, S., et al., 2021, Keeping light pollution at bay: A red-lines, target values, top-down approach, Environmental Challenges, 5, 100212, (<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100212>)
- [BAR22] Bará, S., et al., 2022, Estimating linear radiance indicators from the zenith night-sky brightness: On the Posch ratio for natural and light-polluted skies, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 512(2), 2125–2134, (<https://doi.org/10.1093/mnras/stac410>)
- [BAU13] Bauer, S. E., et al., 2013, A case-referent study: Light at night and breast cancer risk in Georgia, International Journal of Health Geographics, 12(1), 23, (<https://doi.org/10.1186/1476-072X-12-23>)
- [BEJ15] Bennie, J., Davies, T. W., Cruse, D., Inger, R., and Gaston, K. J. (2015). Cascading effects of artificial light at night: resource-mediated control of herbivores in a grassland ecosystem. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences 370, 20140131, (<https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0131>)
- [BEN15] Bennie, J., et al., 2015, Global Trends in Exposure to Light Pollution in Natural Terrestrial Ecosystems, Remote Sensing, 7(3), 2715–2730, (<https://doi.org/10.3390/rs70302715>)
- [BEN16] Bennie, J., Davies, T. W., Cruse, D., and Gaston, K. J. (2016). Ecological effects of artificial light at night on wild plants. Journal of Ecology 104, 611–620, (<https://doi.org/10.1111/1365-2745.12551>)
- [BOL20] Bolliger, J., Hennen, T., Wermelinger, B., Bösch, R., Pazur, R., Blum, S., Haller, J., and Obrist, M. K. (2020). Effects of traffic-regulated street lighting on nocturnal insect abundance and bat activity. Basic and Applied Ecology 47, 44–56, (<https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.06.003>)
- [BOY21] Boyes, D. H., Evans, D. M., Fox, R., Parsons, M. S., and Pocock, M. J. O. (2021). Street lighting has detrimental impacts on local insect populations. Science Advances 7, eabi8322
- [BRE21] Brehm, G., Niermann, J., Maria, L., Nino, J., Enseling, D., Jüstel, T., Axmacher, J. A. N. C., Warrant, E., and Fiedler, K. (2021). Moths are strongly attracted to ultraviolet and blue radiation. Insect Conservation and Diversity 14, 188–198 (<https://doi.org/10.1111/icad.12476>)
- [BRO01] Brotle, J. E., 2001, Introducing the Brotle Dark-Sky Scale, Sky & Telescope
- [BUL08] Bullough, J., et al., 2008, Predicting discomfort glare from outdoor lighting installations, Lighting Research & Technology, 40(3), 225–242, (<https://doi.org/10.1177/1477153508094048>)
- [CHE10] Chen, E., 2010, 'Seeing Blue', Nightscape, 80, 8–12

- [CHE16] Chernetsov, N. (2016). Orientation and Navigation of Migrating Birds. *Biological Bulletin* 43, 788–803
- [CHF21] City of Helsinki and WSP Finland Oy; Report on obtrusive light in Helsinki; City of Helsinki Urban Environment publications; sno 2021:7; 09:2021, Pages 57, ISBN 978-952-331-921-9, ISSN 2489-4230 (online publication)
- [CHO13] Cho, J. R., et al., 2013, Let there be no light: The effect of bedside light on sleep quality and background electroencephalographic rhythms, *Sleep Medicine*, 14(12), 1422–1425, (<https://doi.org/10.1016/j.sleep.2013.09.007>)
- [CIN00] Cinzano, P., et al., 2000, The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 318(3), 641–657, (<https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2000.03562.x>)
- [CIS17] Cissé, Y. M., et al., 2017, Depressive-like behavior is elevated among offspring of parents exposed to dim light at night prior to mating, *Psychoneuroendocrinology*, 83, 182–186, (<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.06.004>)
- [CON00] Consiglio Regionale, 2000, Legge regionale 13 aprile 2000, n.23. Norme per la riduzione e per la prevenzione dell'inquinamento luminoso - Modificazioni all legge regionale 6 agosto 1999, n. 14. Lazio, Italy.
- [DAV14] Davies, T. W., Duffy, J. P., Bennie, J., and Gaston, K. J. (2014). The nature, extent, and ecological implications of marine light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 12, 347–355, (<https://doi.org/10.1890/130281>)
- [DAV15] Davies, T. W., Coleman, M., Griffith, K. M., and Jenkins, S. R. (2015). Night-time lighting alters the composition of marine epifaunal communities. *Biology Letters* 11, 20150080, (<https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0080>)
- [DAV20] Davies, T. W., McKee, D., Fishwick, J., Tidau, S., and Smyth, T. (2020). Biologically important artificial light at night on the seafloor. *Scientific Reports* 10, 1–10, (<https://doi.org/10.1038/s41598-020-69461-6>)
- [DOM13] Dominoni, D., Quetting, M., and Partecke, J. (2013). Artificial light at night advances avian reproductive physiology. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280, 20123017, (<https://doi.org/10.1098/rspb.2012.3017>)
- [ESA19] Esaki, Y., et al., 2019, Light exposure at night and sleep quality in bipolar disorder: The APPLE cohort study, *Journal of Affective Disorders*, 257, 314–320. (<https://doi.org/10.1016/j.jad.2019.07.031>)
- [FAL16] Falchi, F. et al., 2016, The new world atlas of artificial night sky brightness, *Science Advances*, 2(6), e1600377, (<https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>)
- [FAL20] Falcón, J. et al., 2020, Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems, *Frontiers in Neuroscience*, 14, 602796, (<https://doi.org/10.3389/fnins.2020.602796>)
- [FAL21] Falchi, F. and Bará, S. 2021, Computing light pollution indicators for environmental assessment, *Natural Sciences*, 1(2), (<https://doi.org/10.1002/ntls.10019>)
- [FFR16] Ffrench-Constant, R. H., Somers-Yeates, R., Bennie, J., Economou, T., Hodgson, D., Spalding, A., and McGregor, P. K. (2016). Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 283, 20160813, (<https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0813>)
- [FON10] Fonken, L. K. et al., 2010, Light at night increases body mass by shifting the time of food intake, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(43), 18664–18669. (<https://doi.org/10.1073/pnas.1008734107>)
- [GAL10] Gallaway, T. et al., 2010, The economics of global light pollution, *Ecological Economics*, 69(3), 658–665, (<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.10.003>)

- [GAS12] Gaston, K. J. et al., 2012, REVIEW: Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments, *Journal of Applied Ecology*, 49(6), 1256–1266, (<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02212.x>)
- [GAS17] Gaston, K. J., Davies, T. W., Nedelec, S. L., and Holt, L. A. (2017). Impacts of Artificial Light at Night on Biological Timings. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48, 49–68, (<https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022745>)
- [GRU19] Grubisic, M., Haim, A., Bhusal, P., Dominoni, D. M., Gabriel, K. M. A., Jechow, A., Kupprat, F., Lerner, A., Marchant, P., Riley, W., Stebelova, K., Grunsven, R. H. A. Van, Zeman, M., Zubidat, A. E., and Hölker, F. (2019). Light Pollution, Circadian Photoreception, and Melatonin in Vertebrates. *Sustainability* 11, 1–51, (<https://doi.org/10.3390/su11226400>)
- [GRU20] Grunst, M. L., Raap, T., Grunst, A. S., Pinxten, R., Parenteau, C., Angelier, F., and Eens, M. (2020). Early-life exposure to artificial light at night elevates physiological stress in free-living songbirds. *Environmental Pollution* 259, 113895, (<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113895>)
- [HAD19] Haddock, J. K., Threlfall, C. G., Law, B., and Hochuli, D. F. (2019). Responses of insectivorous bats and nocturnal insects to local changes in street light technology. *Australian Ecology* 44, 1052–1064, (<https://doi.org/10.1111/aec.12772>)
- [HAL18] Hale, J. et al., 2018, 'Ecological light pollution in the Naturpark Gantrisch' (Technical Report No. V3; pp. 1–49), Conservation Biology Division, University of Bern
- [HAL19] Hale, J. and Arlettaz, R., 2019, 'Artificial lighting and Biodiversity in Switzerland', 140
- [HAL21] Haller, J., Obrist, M., Wermelinger, B., Blum, S., and Bolliger, J. (2021). Einflüsse von Lichtfarben und Leuchtenformen auf nachtaktive Insekten und Fledermäuse. In 'LICHT 2021: Tagungsband zum 24. Europäischen Lichtkongress'. Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V
- [HAR15] Harb, F. et al., 2015, Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms, *Chronobiology International*, 32(3), 368–375
- [HUE10] Huemer, P., Kühtreiber, H., and Tarmann, G. (2010). Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten: Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol. *Tiroler Landesumweltanwaltschaft; Tiroler Landesmuseen Betriebsgesellschaft m.b.H.*, 33 p
- [HÄN18] Hänel, A. et al., 2018, Measuring night sky brightness: Methods and challenges, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 205, 278–290, (<https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2017.09.008>)
- [HÖL10] Hölker, F. et al., 2010, The Dark Side of Light: A Transdisciplinary Research Agenda for Light Pollution Policy, *Ecology and Society*, 15(4), art13, (<https://doi.org/10.5751/ES-03685-150413>)
- [HÜG21] Hügli, F., 2021, 'Light pollution in European protected areas—Spatial variation of light pollution in Natura 2000 sites of the Member states of the European Union' [Magistritöö Keskkonnateadustes], ETH Zurich
- [IUA21] IUCN (2021a). IUCN motion 084 - Taking action to reduce light pollution. Available at: <https://www.iucncongress2020.org/motion/084>
- [IUB21] IUCN (2021b). IUCN SSC Amphibian Specialist Group. Available at: <https://www.iucn-amphibians.org/>
- [KEM10] Kempenaers, B., Borgström, P., Loës, P., Schlicht, E., Valcu, M., Loe, P., Kempenaers, B., Borgstro, P., Schlicht, E., Valcu, M., Borgström, P., Loës, P., Schlicht, E., and Valcu, M. (2010). Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Current Biology* 20, 1735–1739, (<https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.08.028>)
- [KIM18] Kim, M. et al., 2018, Short-term exposure to dim light at night disrupts rhythmic behaviors and causes neurodegeneration in fly models of tauopathy and Alzheimer's

- disease, *Biochemical and Biophysical Research, Communications*, 495(2), 1722–1729, (<https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.12.021>)
- [KLI01] Kliukiene, J. et al., 2001, Risk of breast cancer among Norwegian women with visual impairment, *British Journal of Cancer*, 84(3), 397–399, (<https://doi.org/10.1054/bjoc.2000.1617>)
- [KLO10] Kloog, I., Stevens, R. G., Haim, A., Portnov, A. B. (2010). Nighttime light level co-distributes with breast cancer incidence worldwide. - *Cancer Causes & Control: An International Journal of Studies of Cancer in Human Populations*. Vol 21, pp. 2059-2068
- [KNO17] Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M., and Fontaine, C. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature* 548, 206–209, (<https://doi.org/10.1038/nature23288>)
- [KUE12] Kuechly, H.; Kyba, C.; Ruhtz, T.; Lindemann, C.; Wolter, C.; Fischer, J.; Hölker, F. (2012): Arial survey and spatial analysis of sources of light pollution in Berlin, Germany. In: *Remote Sensing of Environment* 126, S. 39–50
- [KUP20] Kupprat, F., Hölker, F., and Kloas, W. (2020). Can skyglow reduce nocturnal melatonin concentrations in Eurasian perch? *Environmental Pollution* 262, 114324, (<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114324>)
- [KWA18] Kwak, M., Je, S., Cheng, H., Seo, S., Park, J., Baek, S., Khaine, I., Lee, T., Jang, J., Li, Y., Kim, H., Lee, J., Kim, J., and Woo, S. (2018). Night Light-Adaptation Strategies for Photosynthetic Apparatus in Yellow-Poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) Exposed to Artificial Night Lighting, *Forests* 9, 74, (<https://doi.org/10.3390/f9020074>)
- [KYB11] Kyba, C. C. M., Ruhtz, T., Fischer, J., and Hölker, F. (2011). Lunar skylight polarization signal polluted by urban lighting. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 116, 1–6. (<https://doi.org/10.1029/2011JD016698>)
- [KYB14] Kyba, C.; Hänel, A.; Hölker, F. (2014): Redefining efficiency for outdoor lighting. In: *Energy & Environmental Science* 7, S. 1806–1809
- [KYB15] Kyba, C.; Garz, S.; Kuechly, H.; Sánchez de Miguel, A.; Zamorano, J.; Fischer, J.; Hölker, F. (2015a): High-Resolution Imagery of Earth at Night: New Sources, Opportunities and Challenges. In: *Remote Sensing of Environment* 7, S. 1–23
- [KYB17] Kyba, C. C. M. et al., 2017, Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent, *Science Advances*, 3(11), e1701528, (<https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>)
- [LAM22] Lamphar, H. et al., 2022, Light pollution as a factor in breast and prostate cancer, *Science of The Total Environment*, 806, 150918, (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150918>)
- [LAP21] Lapostolle, D. and Challéat, S., 2021, Making Darkness a Place-Based Resource: How the Fight against Light Pollution Reconfigures Rural Areas in France, *Annals of the American Association of Geographers*, 111(1), 196–215, (<https://doi.org/10.1080/24694452.2020.1747972>)
- [LII18] Liiv, E. 2018, Linnutee igatsus, Sirp 2018-41 (3712)
- [LIM18] Lim, H. et al., 2018, The Reality of Light Pollution: A Field Survey for the Determination of Lighting Environmental Management Zones in South Korea, *Sustainability*, 10(2), 374, (<https://doi.org/10.3390/su10020374>)
- [LON04] Longcore, T. and Rich, C., 2004, Ecological light pollution, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(4), 191–198, ([https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0191:ELP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2))
- [LON18] Longcore, T., Rodríguez, A., Witherington, B., Penniman, J. F., Herf, L., and Herf, M. (2018). Rapid assessment of lamp spectrum to quantify ecological effects of light at night. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology* 329, 511–521, (<https://doi.org/10.1002/jez.2184>)

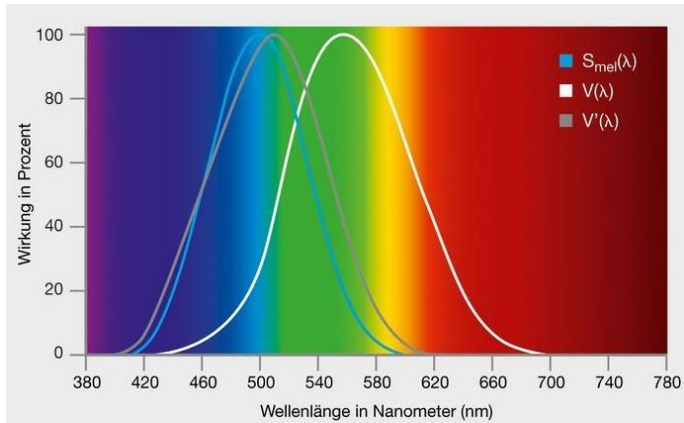
- [MAG17] Macgregor, C. J., Evans, D. M., Fox, R., and Pocock, M. J. O. (2017). The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global Change Biology* 23, 697–707, (<https://doi.org/10.1111/gcb.13371>)
- [MAS18] Massetti, L. (2018). Assessing the impact of street lighting on *Platanus x acerifolia* phenology. *Urban Forestry & Urban Greening* 34, 71–77, (<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.05.015>)
- [MAZ36] Matzke, E. B. (1936). The Effect of Street Lights in Delaying Leaf-Fall in Certain Trees. *American Journal of Botany* 23, 446–452
- [MAT15] Mathews, F., Roche, N., Aughney, T., Jones, N., Day, J., Baker, J., and Langton, S. (2015). Barriers and benefits: implications of artificial night-lighting for the distribution of common bats in Britain and Ireland. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 370, 20140124, (<https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0124>)
- [MIG21] Sánchez de Miguel, A., Bennie, J., Rosenfeld, E., Dzurjak, S., and Gaston, K. J. (2021). First Estimation of Global Trends in Nocturnal Power Emissions Reveals Acceleration of Light Pollution. *Remote Sensing* 13, 3311 (<https://doi.org/10.3390/rs13163311>)
- [MIJ18] Min, J. and Min, K., 2018, Outdoor light at night and the prevalence of depressive symptoms and suicidal behaviors: A cross-sectional study in a nationally representative sample of Korean adults, *Journal of Affective Disorders*, 227, 199–205, (<https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.10.039>)
- [MIN18] Ministre de la transition écologique et solidaire, 2018, Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses, TREP1831126A JORF n°0300 du 28 décembre 2018 (2018)
- [MIN20] Ministry of Economy & Sustainable Development, 2020, NN 128/2020 (20.11.2020.), Pravidlník o zonama rasvijetljenosti, dopuštenim vrijednostima rasvijetljanja i načinima upravljanja rasvjetnim sustavima. NN 128/2020 - Ordinance on Lighting Zones, Permitted Lighting Values and Methods of Managing Lighting Systems
- [MIN22] Ministry of the Environment of the Czech Republic, Working paper for the international workshop Light Pollution 2022, during the Czech Presidency of the Council of the European Union
- [MUH16] Muheim, R., Sjöberg, S., and Pinzon-Rodriguez, A. (2016). Polarized light modulates light-dependent magnetic compass orientation in birds. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113, 1654–1659, (<https://doi.org/10.1073/pnas.1513391113>)
- [NAV07] Navara, K. J., and R. J. Nelson. 2007. The darkside of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research* 43:215–224
- [OBA19] Obayashi, K. et al., 2019, Indoor light pollution and progression of carotid atherosclerosis: A longitudinal study of the HEIJO-KYO cohort, *Environment International*, 133, 105184, (<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105184>)
- [OUY17] Ouyang, J. Q., de Jong, M., van Grunsven, R. H. A., Matson, K. D., Hausmann, M. F., Meerlo, P., Visser, M. E., and Spoelstra, K. (2017). Restless roosts: Light pollution affects behavior, sleep, and physiology in a free-living songbird. *Global Change Biology* 23, 4987–4994, (<https://doi.org/10.1111/gcb.13756>)
- [PAR12] Parent, M.-E. et al., 2012, Night Work and the Risk of Cancer Among Men, *American Journal of Epidemiology*, 176(9), 751–759, (<https://doi.org/10.1093/aje/kws318>)
- [PAT19] Patel, P. C., 2019, Light pollution and insufficient sleep: Evidence from the United States. *American Journal of Human Biology*, 31(6), (<https://doi.org/10.1002/ajhb.23300>)
- [POS18] Posch, T. et al., 2018, Systematic measurements of the night sky brightness at 26 locations in Eastern Austria, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 211, 144–165, (<https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2018.03.010>)

- [RAA18] Raap, T., Pinxten, R., and Eens, M. (2018). Artificial light at night causes an unexpected increase in oxalate in developing male songbirds. *Conservation Physiology* 6, 1–7, (<https://doi.org/10.1093/conphys/coy005>)
- [RAB17] Raible, F., Takekata, H., and Tessmar-Raible, K. (2017). An Overview of Monthly Rhythms and Clocks. *Frontiers in Neurology* 8, 189, (<https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00189>)
- [ROD19] Rodríguez, A., Arcos, J. M., Bretagnolle, V., Dias, M. P., Holmes, N. D., and Louzao, M. (2019). Future Directions in Conservation Research on Petrels and Shearwaters. *Frontiers in Marine Science* 6, 94, (<https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00094>)
- [ROD21] Rodrigo-Comino, J. et al., 2021, Light pollution: A review of the scientific literature, *The Anthropocene Review*, 205301962110512, (<https://doi.org/10.1177/20530196211051209>)
- [RON15] Ronconi, R. A., Allard, K. A., and Taylor, P. D. (2015), Bird interactions with offshore oil and gas platforms: Review of impacts and monitoring techniques. *Journal of Environmental Management* 147, 34–45, (<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.031>)
- [RUS19] Russo, D., Cosentino, F., Festa, F., De Benedetta, F., Pejic, B., Cerretti, P., and Ancillotto, L. (2019). Artificial illumination near rivers may alter bat-insect trophic interactions. *Environmental Pollution* 252, 1671–1677, (<http://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.105>)
- [RYB16] Rybnikova, N. A. et al., 2016, Does artificial light-at-night exposure contribute to the worldwide obesity pandemic? *International Journal of Obesity*, 40(5), 815–823, (<https://doi.org/10.1038/ijo.2015.255>)
- [SAN21] Sanders, D. et al., 2021, A meta-analysis of biological impacts of artificial light at night, *Nature Ecology & Evolution*, 5(1), 74–81, (<https://doi.org/10.1038/s41559-020-01322-x>)
- [SCH16] Schroer, S., and Hölker, F. (2016). Impact of lighting on flora and fauna. In 'Handbook of Advanced Lighting Technology'. (Eds R. Karlicek, C.- C. Sun, G. Zissis, and R. Ma.) pp. 1–33. (Springer), (<https://doi.org/10.1007/978-3-319-00176-0>)
- [SCH86] Schreuder, D. A., 1986, 'Light Trespass: Causes, Remedies and Actions', Paper Presented at the CIE/MBE Symposium "Lighting and Signalling for Transport," Ik 27
- [SCI12] Sciezor, T. et al., 2012, 'Light Pollution of the Mountain Areas in Poland', 38(4), 59–69. (<https://doi.org/10.2478/v10265-012-0042-4>)
- [SEN20] Senzaki, M., Barber, J. R., Phillips, J. N., Carter, N. H., Cooper, C. B., Ditmer, M. A., Fristrup, K. M., McClure, C. J. W., Mennitt, D. J., Tyrrell, L. P., Vukomanovic, J., Wilson, A. A., and Francis, C. D. (2020), Sensory pollutants alter bird phenology and fitness across a continent. *Nature* 587, 605–609, (<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2903-7>)
- [SON13] Soneira, M. (2013). Auswirkungen auf die Insekten-Fauna durch die Umrüstung von Kugelleuchten auf LED-Beleuchtungen. Auftragsstudie der Stadt Wien. Available at: <https://www.wien.gv.at/verkehr/licht/pdf/studie-insekten.pdf>
- [SPE21] Speißen, B., Liu, Y., and van Kleunen, M. (2021), Biomass responses of widely and less-widely naturalized alien plants to artificial light at night. *Journal of Ecology* 109, 1819–1827, (<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13607>)
- [SPO15] Spoelstra, K., van Grunsven, R. H. A., Donners, M., Gienapp, P., Huigens, M. E., Slaterus, R., Berendse, F., Visser, M. E., and Veenendaal, E. (2015), Experimental illumination of natural habitat - an experimental set-up to assess the direct and indirect ecological consequences of artificial light of different spectral composition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370, 20140129, (<https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0129>)
- [SPO17] Spoelstra, K., van Grunsven, R. H. A., Ramakers, J. J. C., Ferguson, K. B., Raap, T., Donners, M., Veenendaal, E. M., and Visser, M. E. (2017), Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but

- not red light. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 284, 11–15, (<https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0075>)
- [STO20] Evelin Piirsalu, Piret Kuldna, Helery Maidlas, Margus Kõiva, 2020, Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus ja Advokaadibüroo FORT Keskkonnahoidlike riigihangete analüüs
- [STR19] Straka, T. M., Wolf, M., Gras, P., Buchholz, S., and Voigt, C. C. (2019), Tree cover mediates the effect of artificial light on urban bats. *Frontiers in Ecology and Evolution* 7, 1–11, (<https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00091>)
- [ZEA18] Zeale, M. R. K., Stone, E. L., Zeale, E., Browne, W. J., Harris, S., and Jones, G. (2018), Experimentally manipulating light spectra reveals the importance of dark corridors for commuting bats. *Global Change Biology* 24, 5909–5918, (<https://doi.org/10.1111/gcb.14462>)
- [ZIE21] Ziegler, A. K., Watson, H., Hegemann, A., Meitern, R., Canoine, V., Nilsson, J. Å., and Isaksson, C. (2021), Exposure to artificial light at night alters innate immune response in wild great tit nestlings. *Journal of Experimental Biology* 224, (<https://doi.org/10.1242/jeb.239350>)
- [TAL12] Tallinna Tehnikaülikool Füüsikainstituut, 2012, Valgusreostuse pikaajaliste muutuste uurimine Tallinnas ja valgusreostuse hetkeseisu määramine
- [TAR15] Liina Tarkus, 2015, Eesti Maaülikool ja Põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Valgusreostuse reguleerimine Eesti linnades: Valgustatud välireklaami linnakeskkonda paigutamise nõuded
- [TEI07] Teikari, P., 2007, 'Light Pollution: Definition, legislation, measurement, modeling and environmental effects'
- [TOU20] Touzot, M., Lengagne, T., Secondi, J., Desouhant, E., Théry, M., Dumet, A., Duchamp, C., and Mondy, N. (2020), Artificial light at night alters the sexual behaviour and fertilisation success of the common toad. *Environmental Pollution* 259, 113883, (<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113883>)
- [WAK17] Wakefield, A., Broyles, M., Stone, E. L., Harris, S., and Jones, G. (2017), Quantifying the attractiveness of broad-spectrum street lights to aerial nocturnal insects. *Journal of Applied Ecology* 55, 714–722, (<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13004>)
- [WAL19] Walker, W. H., Meléndez-Fernández, O. H., Nelson, R. J., and Reiter, R. J. (2019), Global climate change and invariable photoperiods: A mismatch that jeopardizes animal fitness. *Ecology and Evolution* 9, 10044–10054, (<https://doi.org/10.1002/ece3.5537>)
- [VGR14] van Grunsven, R. H. A., Donners, M., Boekee, K., Tichelaar, I., van Geffen, K. G., Groenendijk, D., Berendse, F., and Veenendaal, E. M. (2014), Spectral composition of light sources and insect phototaxis, with an evaluation of existing spectral response models. *Journal of Insect Conservation* 18, 225–231, (<https://doi.org/10.1007/s10841-014-9633-9>)
- [WID22] Widmer, K., Beloconi, A., Marnane, I., Vounatsou, P., (2022). Review and Assessment of Available Information on Light Pollution in Europe (Eionet Report – ETC HE 2022/8), ISBN 978-82-93970-08-8, ETC HE c/o NILU, Kjeller, Norway. (<https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-he/products/etc-he-products/etc-he-report-2022-8-review-and-assessment-of-available-information-on-light-pollution-in-europe>)
- [VIO08] Viola, A. U. et al., 2008, Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 34(4), 297–306
- [VOL09] Vollsnes, A. V., Eriksen, A. B., Otterholt, E., Kvaal, K., Oxaal, U., and Futsaether, C. M. (2009), Visible foliar injury and infrared imaging show that daylength affects short-term recovery after ozone stress in *Trifolium subterraneum*. *Journal of Experimental Botany* 60, 3677–3686, (<https://doi.org/10.1093/jxb/erp213>)

LISA 1. Valgustusega seotud mõisted ja terminid

Mõiste/Termin	Kirjeldus
Adaptatsioon, kohanemine	Nägemissüsteemi oleku muutumisprotsess eelmiselt olekult praegusele valgusstiimuli toimetel, mis võib olla mitmesuguse heledusega, spektraaljaotusega ja nurkulatusega. Hele- ja tumeadaptatsioon olenevalt sellest, kas stiimuli heledus on esimesel juhul vähemalt mõni kandela ruutmeetri kohta või teisel juhul väiksem kui mõni sajandik kandelat ruutmeetri kohta. Määratlus haarab ka kohanemist ruumi valgustusolude vaheldumisele, vaatlussuuna, vaadeldavate esemete mõõtmete jne muutustele.
Fotoopiline nägemine	Fotoopiline nägemine on silma nägemine hästi valgustatud tingimustes (heleduse tase $10 - 10^8 \text{ cd/m}^2$). Inimestel võimaldab fotoopiline nägemine koonusrakkude poolt vahendatud värvide tajumist ning oluliselt kõrgemat nägemisteravust ja ajalist eraldusvõimet kui skotoopilise nägemise puhul.
„Full-Cut-off“ valgusti:	Valgusti disain, milles horisontaaltasapinnast kõrgemale valgust praktiliselt ei kiirga. Vastab standardi EN 13201 valgustugevuse klassile G6.
Heledus	Antud suunas, reaalse või kujuteldava pinna antud punktis esitatav suurus, mis on määratletud valemiga (ühik: kandela ruutmeetri kohta, $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2} = \text{lm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$); Vaadeldavas punktis paikneva pinnaelemendi heledus selle vaatlemisel standardest (EVS-EN 12464-2; EVS-EN 13201-4) vaatlemispunktist. Mõõdetakse heledusmõõteseadmega.
Kontrastitundlikkus	Kontrastitundlikkus on nägemissüsteemi tundlikkustase külgnevate pindade heleduserinevuste suhtes. Tausta heleduse kasvades kasvab ka kontrastitundlikkus. Kontrastitundlikkus oleneb tausta heledusest ja objekti nägemisnurgast.
Lamp	Lamp on optilise, enamasti nähtava kiirguse tekitamiseks valmistatud allikas. Lamp on välja töötatud (kunstlik) valgusallikas, mis koosneb valgust tootvast elemendist, teda ümbritsevast klaaskolvist, metallkannast, mis kindlustab elektrikontakti ja kaitseb lambikannas lampi ennast.
Leed	Valgusdiodid e pn-siiret sisaldav tahkisseadis, mis ergastamisel elektrivooluga emiteerib mittekoherentset optilist kiirgust. (LED – lühend inglise keeles)
Melatoniin	Hormoon, mis annab inimkehale märku "on öö: magama" ja väsitab. Seda nimetatakse unehormooniks, seda toodetakse käbinäärmes ja see vabaneb öösel. Öise valgusega saab seda pärssida
Mesoopiline nägemine	Skotoopilise ja fotoopilise nägemise vahelist üleminekuala nimetatakse mesoopiliseks nägemiseks. (võimalik piiratud värvusenägemine.) Mesoopne nägemine esineb valgustustihedusel $0,01 - 10 \text{ lx}$.
Readaptatsioon	Readaptatsioon on üleminek päevasele nägemisele, s.t. pimedast valgesse.

Mõiste/Termin	Kirjeldus
Räigus	Nägemisolukord, mis tundub ebamugav või mille tagajärjel detailide või esemete nähtavus halveneb ja mis on tingitud heleduse ebasoodsast jaotusest, liigsest heledusest või liigtugevatest kontrastidest. Eseme või objekti enda heledus võrreldes tausta heledusega.
Skotoopiline nägemine	Silma nägemine vähese valguse korral. Skotoopiline nägemine tekib eranditult silmas olevate fotoretseptorite kepikeste kaudu, mis on lainepikkuste suhtes kõige tundlikumad umbes 498 nm (roheline-sinine) ja ei ole tundlikud lainepikkuste suhtes, mis on pikemad kui umbes 640 nm (punakasoranž).
Tehisvalgus	Kunstlik valgus(tus)
Tsirkadiaanrütm	Tsirkadiaanrütm on loomulik, sisemine protsess, mis reguleerib une-ärkvelolekutsüklit ja kordub umbes iga 24 tunni järel. Taimerid mõjutavad muutujaid, mis mõjutavad sisemist kella. Kõige olulisem taimer on valgus, kuid on ka sotsiaalseid taimereid nagu tööaeg.
Valguse spektraaljaotus ja inimsilma valgustundlikkus	Tehisvalgustussüsteemide projekteerimisel võetakse arvesse normaalse nägemisega inimsilma valgustundlikkuse sõltuvust valguse spektri lainepikkusest (valgustundlikkus päevasele nägemisele $V(\lambda)$).  Joonis Melatoniini supressiooni toimespekter [$S_{mel}(\lambda)$] võrreldes silma valgustundlikkusega päevase nägemise $V(\lambda)$ ja öise nägemise $V'(\lambda)$ ajal. Valgus avaldab üldist mõju enesetundele, meeleolule, sooritusvõimele, erksusele ja reageerimisvõimele. Sinakas päevavalgusele sarnane valgus võib mõjutada inimese melatoniini tootmist, kuid see sõltub "kogusest (valgustustihedus lux või heledus cd), spektrist (värvilise valguse temperatuur K-des), valguse jaotusest (nt otsene, kaudne, punkt jne)., kellaaeg ja valgustuse kestus". Valguse spekter on selle elektromagnetilise kiirguse jaotus lainepikkuse ja sageduse komponentideks.
Valguse jaotuskõver	Valguse jaotuskõverad, lühendatult VJK, kirjeldavad, kui palju valgust valgusallikas kättesaadavaks teeb ja millistesse ruumi piirkondadesse valgust kiirgab. Asümmeetriliste kiirgurite puhul on vähemalt kahe taseme kiirgusjaotused näidatud ühel diagrammil.

Mõiste/Termin	Kirjeldus
Valgusreklaam	Tehisliku valgusallikaga seest- või väliselt valgustatud reklaampind. Seest valgustatud ehk isehelenduv reklaampind. Väliselt valgustatud reklaampind on tavaliselt valgustatud gaaslahenduslampidega.
Valgusreostus	Valgusreostuseks nimetatakse nähtust, mille korral tehisvalgus satub sinna, kuhu sellel pole ette nähtud kanduda. Nagu iga teinegi reostus, näiteks müra-, vee- ja õhureostus, kahjustab ka valgusreostus keskkonda. Valgusreostus ehk valgussaaste on üleliigne, tarbetu või soovimatu (häiriv, pealetükkiv) tehisvalgus. Valgusreostust tekitavad hoonete välis- ja sisevalgustus, tänavavalgustus kui ka valgustatud välireklaamid ja valgusreklaampinnad. Samuti kandub tehisvalgus äriettevõtetest, kontoritest, tööstus- ja spordirajatistest. Suhteliselt vähene valguskogus on märgatav ja tekitab keskkonnaprobleeme. Valgusreostus kahjustab ökosüsteeme, sest ajab segi öö ja päeva vahelise rütmi.
Valgustatud reklaampinnad	Valgustatud reklaampinnad jagunevad staatilisteks reklaamiga pindadeks ja muutuva sisuga reklaampindadeks. Staatilised ehk püsiva reklaamkandjaga pinnad on liikumatu pildiga seest (või pealt) valgustatud reklaamid. Muutuva sisuga seest valgustatud reklaampindadel kuvatav reklaam peab püsima muutumatuna määratud aja jooksul. Muutuva sisuga reklaam ei tohi tekitada pinna valguse muutumise kaudu vilkumist. Reklaampinnal kujutatava muutumine ei tohi toimuda läbi lühiajalise pimedale oleku.
Valgustehnika	Teadus- ja tehnikaharu, mis hõlmab optilise kiirguse teket, levi, muundumist ja rakendusi.
Valgustus-tehnika	Valgustehnika haru, mis hõlmab valguse rakendamist valgustuseks
Valgustusklass	klass, mille keskmist heledust või valgustustihedust iseloomustab suurim väärtus mingis talitlus-ajavahemikus. Valgustusklassi valikul on arvestatud valitavate parameetrite suurimaid väärtusi talitluse kestel, arvestades nt tipptunni liiklusvoogu. Lihtsustatult arvestatakse üksnes mootorliikluspiirkondade, konfliktpiirkondade ja jalakäijate ning aeglaselt liikuvate sõidukite piirkondade põhiparameetreid. Valgustusklassi tähtsaimad parameetrid on liiklusvoog, liikluskoosseis, teekatte peegeldusomadused reaalajas ja teepinna olemasolev seisund. Lihtsuse huvides on selles dokumendis arvestatud kuiva teekatendiga ja ümbruse valgustus keskkonna mõjuta (lumine teekatend, valgustatud ümbruse keskkond võivad mõjutada tausta heledust).
Valgustus-tihedus	Valgustustihedus (ingl <i>illuminance</i>) E iseloomustab valgusvoo Φ keskmist tihedust valgustava pinna A pinnaühiku kohta. Mõõtühikuks on luks (lx). Mõõdetakse luksmeetriga. Termin "valgustatus" oli varem kasutusel termini "valgustustihedus" asemel.
Valgustugevus	Valgustugevus (ingl <i>luminous intensity</i>) I kirjeldab valgusallika valgusvoo levimist teatud suunas. Valgustugevuse mõõtühik on kandela (cd), see kirjeldab valgusvoo Φ hulka kiiratavas ruuminurgas sr .

Mõiste/Termin	Kirjeldus
Valgusviljakus	Valgusviljakus (ingl luminous efficacy) η on valgusallika valgusvoo Φ ja tarbitava võimsuse P suhe. Valgusviljakuse mõõtühik on luumen vati kohta (lm/W).
Valgusvoog	Valgusvoog (ingl <i>luminous flux</i>) Φ , <i>joonis L1.2</i> , näitab, kui palju valgust valgusallikast ümbrusse väljub. Valgusvoo suurus sõltub valgusallika liigist, võimsusest, valgusviljakusest. Valgusvoo mõõtühik on luumen (lm). Tulenevalt valgusallikate väga erinevast kasutegurist ei esitata tänapäeval valgusallikate hindamiseks mitte ainult tarbitavat võimsust vattides, vaid ka tekitavat valguse luumenites.
Värviedastusindeks	Värviedastusindeks (indeks) ka inglise keeles CRI lühend. "Color Rendering Index" „eriindeks“ või Ra lühendatult "üldindeks". Värviedastusindeks näitab, kui hästi värvid lambi valguses esitatakse. Üldine värviedastusindeks (Ra) tuletatakse kaheksast sageli esinevast testvärvist. Ra = 100 tähistab suurimat väärtust.
Värvsustemperatuur	Värvsustemperatuur (CCT) T_c iseloomustab tehisvalgusallikast ehk lambist saadava valguse näivat värvitooni. Kuna lambi värvsustemperatuuri saamine on seotud mustkiirguri ehk termilise kiirguri kuumutamisega sama valgusvärvini, on värvsustemperatuuri mõõtühikuks kelvin (K). Kokkuleppeliselt loetakse lambid värvsustemperatuuriga alla 3300 K sooja valgustooni andvateks, üle 5300 K külma valgustooni andvateks ning vahepealse värvsustemperatuuriga lambid neutraalseks valguseks. Lambi värvsustemperatuur mõjutab värvide nägemist ning enamikul juhtudel ka psühholoogiliselt inimese tegevust. Tänu täisspektrile kasutatakse loomulikku päevavalgust võrdleva valgusallikana värviedastuse hindamiseks. Täisspektriga valgus võimaldab loomulikku värvitaju ja seega on sellel hea värviedastus.
Värelus	nägemisaistingu ebapüsivuse mulje, mis on tingitud valgusstiimuli heleduse või spektraaljaotuse ajalisest vaheldumisest
Ümbruse valgustase	naaberalade hinnatav heledustase