

Tartu Ülikool  
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond  
Ökoloogia ja maateaduste instituut  
Geograafia osakond

Magistritöö regionaalplaneerimises

**Leedtehnoloogial põhineva tänavavalgustuse arendamine Tartu  
linnas**

**Markus Roose**

Juhendaja: *PhD* Antti Roose

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2015

# Sisukord

Sissejuhatus .....	3
1. Teoreetiline taust .....	6
1.1 Tänavavalgustuse roll öises linnaruumis.....	6
1.2 Leedlambi ajalugu .....	8
1.3 Leedlambi keskkonnamõju .....	10
2. Tartu tänavavalgustuse hetkeseis ja arenguperspektiivid.....	14
2.1 Tartu linna tänavavalgustuse hetkeseis .....	14
2.2 Tartu linna tänavavalgustusega seotud arendusprojektid.....	16
3. Andmed ja meetodika .....	21
3.1 Linnaelanike küsitlus.....	21
3.2 Tasuvusanalüüs .....	22
3.3 Valgusmõõtmised.....	24
4. Tulemused .....	27
4.1 Linnaelanike hoiakud ja arvamused leedvalgustuse suhtes .....	27
4.2 Tasuvusanalüüsi tulemused.....	29
4.3 Tänavate valgustatus .....	32
5. Arutelu.....	34
Kokkuvõte .....	39
Summary .....	41
Tänuavaldused.....	42
Kasutatud kirjandus.....	43
Lisad .....	48

## Sissejuhatus

Tänavavalgustus on kujunenud iga linnakeskkonna lahutamatuks osaks, mis tagab elanikele turvalise ja ohutu liiklemise (Meier *et al.* 2014) ning võimaldab ühtlasi muuta linnaruumi kellaajast sõltumata avatuks ja aktiivselt kasutatavaks (Health 1997). Samas kulub teede ja tänavate valgustamisele ligi 2% maailma elektritarbimisest (Vitta *et al.* 2012) ning tänavate valgustamisega seotud kulud on energiahinna kasvades muutunud koormaks paljudele omavalitsustele, mistõttu otsitakse järjepidevalt uusi lahendusi energiasäästuks (Islam *et al.* 2015). Levinud energiakokkuhoiu meetodiks nii Eestis kui mujal on lambipirnide väljakeeramine ja valgustite väljalülitamine. Samas ei tohiks saadav kokkuvõtte tulla linnaelanike turvatunde ja liiklusohutuse arvelt, kuivõrd uudsed lahendused võimaldavad tunduvalt intelligentsemat lähenemist energiakokkuhoiule – üheks võimaluseks on võtta kasutusele senisest ulatuslikumalt innovatiivsed ja keskkonnasõbralikud leed- ehk valgusdiodlambid (Euroopa Komisjon 2011).

Euroopas on kokku üle 90 miljoni tänavavalgusti ning piirkonna linnaomavalitsuste elektritarbimisest kulub ligi 50% valgustusele, mistõttu saavad Euroopa linnad mängida olulist rolli ökoloogilise jalajälje vähendamisel (Euroopa Komisjon 2011). Käesoleval hetkel kasutatakse tänavavalgustuses küll enim naatriumlampe, kuid tänaseks on paindlik leedtehnoloogia saavutanud konkurentsivõimelise positsiooni, mis võimaldab ühtlasi tuua kasu linnadele ja nende kodanikele. Valgusdiodlambid on teiste levinud valgusallikatega võrreldes energiatõhusamad, töökindlamad, pikema elueaga, pakuvad kvaliteetset ning kontrollitavat valgust, paremat nähtavust ning ohutumad linnakeskkonda (Islam *et al.* 2015). Vähetähtis ei ole asjaolu, et tänavavalgustuse uuendamine panustab kohalikku innovatsiooni valgustus- ja ehitussektoris ning parandab ühtlasi tööhõivet (Jessup *et al.* 2012).

Energiasäästlike valgustite laialdane kasutuselevõtmine aitaks oluliselt kaasa Euroopa 2020. aasta aruka, jätkusuutliku ja kaasava majanduskasvu strateegia eesmärkide ning eelkõige just energiatõhususe suurendamise eesmärgi saavutamisele, mille kohaselt on Euroopa Liit seadnud endale ambitsioonika eesmärgi suurendada energiatõhusust 2020. aastaks vähemalt 20% võrra (Euroopa Komisjon 2010). Tähtsusetikas on Euroopa Komisjoni poolt 2011. aastal avaldatud roheline raamat „Valgustuse tulevik. Uuendusliku valgustustehnoloogia kasutuselevõtmise kiirendamine“, mille üheks eesmärgiks on kiirendada kvaliteetsete pooljuhtvalgustite kasutuselevõtmist üldvalgustuses. Dokumendi kohaselt on Euroopa linnadel potentsiaal olla peamine juhtiv turg innovaatiliste leedlahenduste kasutamises.

Paljud Euroopa ning USA linnad on juba käivitanud katseprojekte uudse tehnoloogiaga tutvumiseks, põhieeliste kogemiseks ja võimalike puuduste mõistmiseks (Holman *et al.* 2009; Jessup *et al.* 2012; Myer *et al.* 2010; Royer *et al.* 2012; Valentová *et al.* 2012a). Eestis on samuti esimesed suuremad leedtänavavalgustite projektid ellu viidud ning pikemas perspektiivis loodetakse eurotoetuste abiga 2023. aastaks paigaldada 43 miljoni euroga kokku 22 000 uut tänavavalgustuspunkti (Rahandusministeerium 2014b). Eesti Ühtekuuluvuspoliitika fondide rakenduskavas 2014-2020 tuuakse esile, et kavas on panustada energiasäästu edendamisse linnade tänavavalgustuses ning hinnatakse, et olemasolevates tänavavalgustussüsteemides peitub vähemalt 60%-i suurune energiasäästu potentsiaal.

Käesolevas töös on vaatluse alla võetud esimene ulatuslikum leedvalgustite projekt Tartu linnas, mille käigus paigaldati 2013. aasta suvel linna põhitänavatele 470 uut valgusdiodlampi. Tartu linna lõppeesmärgiks on viia kogu linna tänavavalgustus üle leedlampidele ning selle tulemusel parandada Tartu linna tänavavalgustuse energiatõhusust, tõsta tänavavalgustuse kvaliteeti, vähendada energiatarvet ning sellest tulenevalt ka keskkonnasaastet (Tartu linnavalitsus 2014a).

Antud magistritöö eesmärgiks on Tartu linna kogemuse näitel hinnata leedvalgustite sobivust laialdasemaks kasutamiseks linnade tänavavalgustuses. Eesmärgi saavutamiseks viidi töö raames läbi küsitlusuuring linnaelanike seas, teostati tasuvusanalüüs ning analüüsiti valgusmõõtmiste tulemusi. Seega katab uuring linnataristu innovatsiooni nii sotsiaalses, majanduslikus kui funktsionaalses, tehnoloogilises võtmes.

Uurimisküsimused:

- Millised on linnaelanike hoiakud ja arvamused leedvalgustuse ja leedvalgustite juurutamise suhtes?
- Kui kiiresti tasub majanduslikult ennast ära leedtänavavalgustuse projekt?
- Kas uued leedvalgustid vastavad energiasäästu tingimustes kehtivatele valgustusnormidele?

Hüpoteesid:

- Valdav enamik linnaelanikest on leedvalgustite suhtes positiivselt meelestatud, toetades ühtlasi linnavalgustuse täielikku üleminekut valgusdiodlampidele.
- Leedvälisvalgustuse investeerimisprojekti tasuvusaeg jääb viie aasta piiresse.
- Energiasäästu tingimustes vastavad valgustid kehtivatele valgustusnormidele.

Magistritöö sisuline osa koosneb viiest peatükist. Esmalt antakse ülevaade tänavavalgustuse rollist öises linnaruumis, leedlampide ajaloost ning keskkonnamõjust. Seejärel leiab kajastust Tartu tänavavalgustuse üldistatud hetkeseis ja arenguperspektiivid juba teostunud ning kavandatud leedvalgustite projektide valguses. Kasutatud andmeallikaid ja rakendatud uurimismeetodeid selgitab sealjuures andmete ja metoodika peatükk ning sellele järgnevas, neljandas peatükis, on esitatud analüüsi tulemused. Arutelu peatükis käsitletakse tähtsamaid tulemusi võrdluses teiste uurijate tööde ja tulemustega ning arutletakse võimalike uurimissuundade üle.

# 1. Teoreetiline taust

## 1.1 Tänavavalgustuse roll öises linnaruumis

Akadeemilised uuringud kipuvad pahatihti tähelepanuta jätta selle, mis leiab aset pimeduse saabudes. Ööpimedus pole pelgalt päevavalguse puudumine, vaid pimedas teisevad ajalises-ruumilised praktikad ning emotsioonid, mis loob erilise olustiku ja õhustiku, mis omakorda seostub kindlate tegevuste, kogemuste ning võimalustega. Need tegevused võivad olla kriminaalset laadi või pelgalt seotud teistlaadse käitumisega, mida päevasel ajal ei kohta ega praktiseerita (Van Liempt *et al.* 2015).

Pimeda linnaga seostatakse eelkõige negatiivseid hoiakuid ja seike ning nt Henri Lefebvre oli üks esimesi õpetlasi, kes püüdis selgitada, kuidas teatud tegevused (iseäranis ebaseaduslikud) osutusid öisel ajal konkreetsetes piirkondades ühtäkki justkui tavapäraseks (Van Liempt *et al.* 2015). Samas on suhtumine öisesse linnaruumi kardinaalselt muutunud pärast seda, kui elekter muutus 1880-ndatel aastatel linnades laialdasemalt kättesaadavaks, hõlmates seejärel mitmes arengulaines modernse linnamaastiku. Tänavavalgustus on jätnud selge märgi maha uute hoiakute loomisel öise linnaruumi suhtes (Meier *et al.* 2014).

Rahvusvahelise Linnavalgustuse Liidu (LUCI) linnavalgustuse harta kohaselt on valgustus üks peamisi linnades elamise eeldusi ning võimud peavad tagama kõigile kodanikele võrdse ja vaba õiguse linnavalgustusele, hoolimata nende kohast ühiskonnas ja füüsilisest seisundist. See tähendab, et valgustusstrateegiatel peab keskenduma kogu linnale, sh kesklinnale, äärelinnale ja linnaümbrusele. Lisaks on valgustusel oluline roll etendada majanduslikku ja sotsiaalse ebavõrdsuse ühtlustamisel ning lõimumise toetamisel. (LUCI 2015)

Kunstvalgustatud öised tänavad on muutunud argihüveks paljudes maailma piirkondades ning tänavavalgustust peetakse elementaarseks linnataristu osaks (Meier *et al.* 2014). Välisvalgustus on muutunud ka oluliseks strateegiliseks eesmärgiks, kujundades ja kontrollides öist linnaruumi, linnakogemusi ja –praktikaid (Rink 2013). Lisaks on tänavavalgustus kujunenud vahendiks, millel on mitu otstarvet ning mis toob endaga kaasa mitmeid tegelikke (füüsilisi) ning tajutavaid (tunnetuslikke) eeliseid (Meier *et al.* 2014).

Panustamine tänavavalgustuse arendamisse tõstab elanike toetust kohaliku võimu suhtes, vähendab kuritegevust, aktiveerib tänavakasutust pimedal ajal ning suurendab elanike turvatunnet (Boyce *et al.* 2000). Elanike võimendatud soov toimetada linnas ka pimedal ajal

aitab meil leevendada järsked üleminekuid loomulikus pimeduse ja valguse ööpäevarütmis (Meier *et al.* 2014; Van Liempt *et al.* 2015). See toetab 24-tunni linna kontseptsiooni, mis on päevakorda tõusnud seoses sellega, et linnad soovivad pikendada linnaruumis sooritavate tegevuste perioodi ka pimedal ajal (Health 1997). Linnad püüdleval nn 24-tunni linna staatusesse, mille kohaselt loomulikud päikesevalguse ja pimeduse tsüklid ei takista linnaruumis sooritavate tegevuste aktiivsust. Linnavõimude eesmärgiks on eeskätt laiendada linnaruumi kasutamise ajalist ulatust, luues tänavavalgustuse kaasabil aktiivse linnaruumi mulje (Health 1997).

Üheks peamiseks välisvalgustuse eesmärgiks on pimedal ajal tagada ohutu, turvaline nähtavus kõnniteel, sõiduteel ja muudel valgustamist vajavatel aladel (Vitta *et al.* 2012, Mars jt 2012, Meier *et al.* 2014). Valgustuse roll on aidata liiklejaid märgata ja peatuda takistuste ees teel enne, kui juhtub õnnetus ning lühema reaktsiooniaja annab liiklejatele valgustite suurem valgustugevus (Boyce *et al.* 2000; Mars jt 2012). Motoriseeritud liikluse jaoks peaks tänavavalgustus pakkuma piisavat nähtavust ning mugavust, mis aitab ühtlasi hoida juhte valvsana (Van Bommel 2015). Mitmed uuringud on välja toonud, et tänavavalgustus suudab vähendada öiste õnnetusjuhtumite arvu üle 30% ning on eriti kriitiline raskemate õnnetusjuhtumite ennetamisel (Elvik *et al.* 2009; Wanvik 2009).

Valgustuse eesmärgiks oli juba ajalooliselt toetada avalikku korda ning senimaani on valgustuse paigaldamine kardetud pimedatesse kohtadesse üks peamisi lahendusi kuritegevuse vähendamisel (Van Liempt *et al.* 2015). Kuritegevuse statistika kohaselt on tänavavalgustusel ja kuritegevuse langusel seos (Van Bommel 2015) ning valgustus aitab öistel tänavatel ära hoida eelkõige vandalismi ja vägivalda (Welsh, Farrington 2008). Loomulikult pole valgustus täislahendus kuritegevusele, sest vastasel juhul ei toimuks päeval ajal nt ühtegi vargust ega vandalismi juhtumit (Boyce *et al.* 2000).

Tänavatel liiklejate turvalisus ning heaolu kahaneb märkimisväärselt pimeduse puhkemisel ning just eeskätt seetõttu, et väheneb nähtavus ning ümberringi liikuvate inimeste arv (Welsh, Farrington 2008; Fotios *et al.* 2014). Liiklusohutus satub löögi alla iseäranis sellistel tänavatel, kus on vananenud, halvasti hooldatud ning disainitud valgustus (Welsh, Farrington 2008). 13 erineva uuringu meta-analüüsi põhjal on järeldatud, et täiustatud tänavavalgustus omab märgatavat mõju kuritegevuse vähenemisele (Welsh, Farrington 2008). Nimelt vähenes omandivastane ja vägivaldne kuritegevus piirkondades, kus oli täiustatud tänavavalgustus, 21%, võrdluses aladega, kus oli valgustus uuendamata (Welsh, Farrington 2008). Samuti

peetakse turvalisemaks tänavaid, kus on rohkem liiklejaid ja kohalolijaid (Health 1997; Fotios *et al.* 2014).

Aeglaselt liikuvatele liiklejatele, nt jalakäijatele ning ratturitele, pakub tänavavalgustus visuaalset informatsiooni, mis võimaldab neil liigeda sellisel moel, et nad ei riskeeri ohtudega silmitsi seistes (Welsh, Farrington 2008). Parem valgustus tõstab ka elanike kindlustunnet ning julgust kõndida öösiti tänaval (Matsui 2007; Cozens *et al.* 2003). See aitab vältida sotsiaalset isolatsiooni, mis puudutab eelkõige eakamaid ning nooremaid naisterahvaid.

Tuginedes toodud argumentidele näib investeerimine tänavavalgustuse uuendamisse iseenesest mõistetav, kuid samas peab iga investeerimisotsuse puhul alati läbi mõtlema konkreetse projektiga loodetava kasu ning lõplik investeerimisotsus uutesse tänavalgustussüsteemidesse on mõistlik ainult juhul, kui on täpselt teada valgustuse eesmärgid ning roll linnaruumi kujundamisel (Van Bommel 2015).

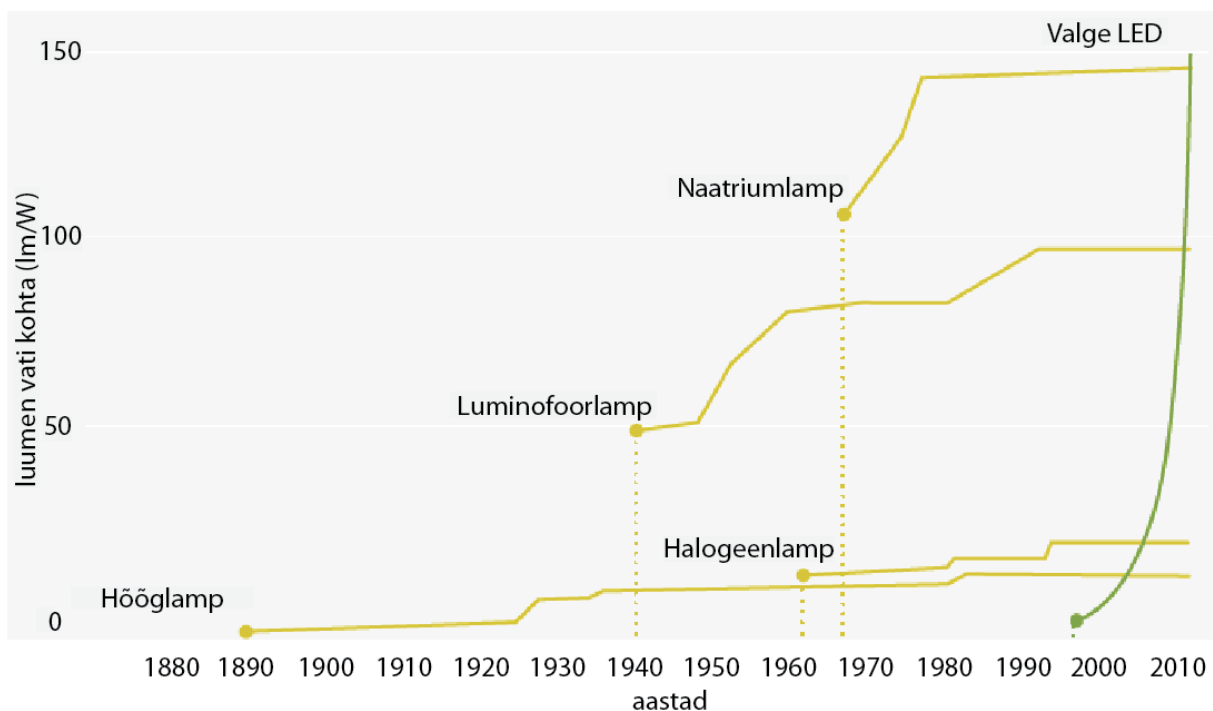
## 1.2 Leedlambi ajalugu

Taskukohase ja kättesaadava valgustuse otsingud on üks tähelepanuväärsemaid, kuid samas vähem arutatud lugusid inimkonna ajaloos (Boyce *et al.* 2000). Välisvalgustus on mänginud olulist rolli linnade elukeskkonna turvalisemaks, ohutumaks ja mugavamaks muutmisel (Meier *et al.* 2014) ning arenenud ühiskondades on kaasaegne elektrivalgustus ühelt poolt igapäevane nähtus, kuid samas hädavajalik kodanike heaolu ning tootlikkuse jaoks (Boyce *et al.* 2000).

Elektrilises valgustuses tervikuna on toimunud mitmeid uuendusi pärast 1880. aastat, mil Edisoni patenteeris oma esimese elektrihõõglambi versiooni (Cole, Driscoll 2014). Valgustuse tehnoloogia muutustele on märki maha jätnud luminofoor-, halogeen- ning naatriumlampide kasutuselevõtt 20. sajandi jooksul (Cole, Driscoll 2014). Tänavavalgustuses hakati elektrilist valgustust kasutama 19. sajandi lõpust, tuues oluliselt parema valgustatuse kui senised gaasvalgustid, mille kasutuselevõtt 1820-ndatel märkis 19. sajandi valgustuse revolutsiooni algust (Meier *et al.* 2014). Tänapäevaks oleme sisenenud nn valgusdiodide revolutsiooni, mille alguseks peetakse 2009. aastat. Kuigi uued valgusallikad pälvisid esmalt teatavat kriitikat ja vastupanu, on linnad omavahel võistlemas ka valgustuse valdkonnas, mistõttu uudne leedtehnoloogia leiab järk-järgult üha laialdasemat juurutamist (Meier *et al.* 2014).

Leedlampi idee ei ole olemuselt midagi väga uut – juba 1907. aastal lõi Henry Joseph Round esimese valgust eraldava pooljuhi. Valgusdiodid võeti esimesena laialdasemalt kasutusele valgusfoorides ja autotuledes 1960. aastate alguses, mil müügile tulid punased leedlampid. Sellele järgnes periood 1970. aastast 1990. aastani, mil võeti kasutusele roheline, oranž, kollane, sinine ja roheline leedlampi versioon. Kuna esimeste valgusdiodi toodete valgusviljakus oli tavaliselt kõigest mõni luumenit vati kohta (lm/W), siis nende kasutamine piirduski põhiliselt indikaator-valgustusena (Cole, Driscoll 2014). Valgusviljakus iseloomustab valgusallika efektiivsust ehk valgusallika poolt kiiratavat valgusvoogu ühikulise toitevõimsuse kohta (lm/W) (Kiisk, Sildos 2005).

Paljud traditsioonilised valgusallikad suutsid küll oma efektiivsust aja jooksul parandada, kuid selleks kulus pahatihti aastakümneid (joonis 1) (Jessup *et al.* 2012). Valge valgusdiodi areng seevastu toimus vähem kui kümne aastaga. Esimene valge LED võeti kasutusele 1990. aastate keskel, kuid see oli esialgu väga ebaefektiivne. Leedlampide areng kiirenes 2000. aastatel, kui valgusviljakuse seisukohast kasvasid valged valgusdiodid mõnest luumenist vati kohta üle 140 lm/W, mis on rohkem kui kõik teised traditsioonilised elektrilised valgusallikad. See andis tõuke valgusdiodid sisenemisele üldvalgustuse turule, kuid laialdasemat kasutuselevõttu pärssis peamiselt leedlampide liigne kallidus (Cole, Driscoll 2014).



**Joonis 1.** Erinevate valgusallikate areng. Allikas: Jessup *et al.* 2012.

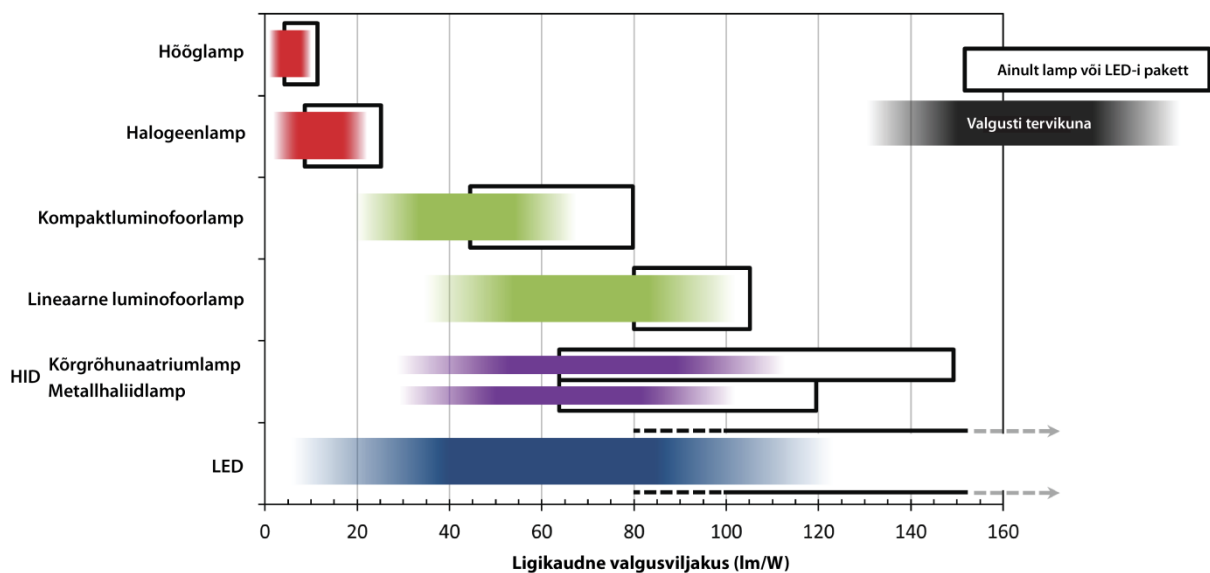
2006. aastaks olid valgusdiodid kujunenud trendikaks valgustuseks elamutes ning kaubanduslikes rakendustes (Valentová *et al.* 2012b). Tänavavalgustuse turule hakkasid leedlambid sisenema mõned aastad hiljem ning 2011. aastal olid valgusdiodid juba laialdaselt tavakasutuses (Cole, Driscoll 2014). Leedtehnoloogia oma kiire arenguga avaldab jätkuvalt suurt mõju valgustuse tööstusele ning on levinud jõudsalt ka üldvalgustuse turule (Cole, Driscoll 2014. Meier *et al.* 2014). Tuleviku seisukohast ennustatakse, et järgmisel kümnendil asendavad valgusdiodid üle 60% traditsioonilistest valgusallikatest, muutes teised tehnoloogiad iganenuks (Jessup *et al.* 2012). Valgusdiodide turuosa välisvalgustuses oli 2011. aastal hinnanguliselt 5%, kuid see peaks 2016. aastaks tõusma üle 40% ning ületama 2020. aastaks 70% piiri (Baumgartner *et al.* 2011).

### **1.3 Leedlambi keskkonnamõju**

Valgusdiodi peetakse revolutsiooniliseks valgustustehnoloogiaks, sest pakub mitmeid tähtsaid omadusi, millega traditsioonilised valgusallikad ei suuda konkureerida. Leedlambi eeliste hulka kuulub näiteks pikk tööiga (50 000–100 000 tundi), värvuse mitmekesisus, hetkeline sisse-välja lülitamine, hämardamise võimalused ning vabadus kujunduses (Vogler *et al.* 2010). Samuti on valgusdiodlambid suundvalgustid ehk nad on kujundatud selliselt, et valgust on võimalik suunata sinna, kuhu soovitakse, mis vähendab taeva helendamist ehk valgusreostust (Meier *et al.* 2014).

Üheks leedlambi eeliseks peetakse toote keskkonnasõbralikkust. Peamiselt tuleneb see sellest, et valgusdiodid koosnevad erinevalt traditsioonilistest valgusallikatest valdavalt ümbertöödeltavatest materjalidest, nad ei sisalda ohtlikke aineid nagu nt plii, elavhõbe, kaadmium ega emiteeri UV-kiirgust (Hartley *et al.* 2009; Vogler *et al.* 2010; Cole, Driscoll 2014). Valgustus on linnade peamine elektritarbija ja seega aitab valgusdiodide kuni 80%-line energiasäästu potentsiaal traditsiooniliste lampidega võrreldes märkimisväärselt kaasa süsiniku heite vähendamisele (Vogler *et al.* 2010). Linnavalgustuse keskkonnamõju minimeerimiseks peavad linnad igal võimalikul juhul kasutama ja eelistama pigem taastuvaid energiaallikaid kui fossiilkütustest pärit energiat (LUCI 2015). Lisaks elektrikulu vähenemisele võimaldab leedlamp kordades vähendada ka hoolduskulusid (Cole, Driscoll 2014).

Valgusallika üheks tähtsamaks iseloomustajaks on elektrienergia valguseksmuundamise efektiivsus (Kiisk, Sildos 2005). Sellega seoses on valgusdiodidel erakordselt kõrge teoreetiline valgusviljakus ning intensiivne teadustöö võimaldab seda potentsiaali avardada ka tavakasutuses (Jessup *et al.* 2012). Erinevate levinumate valgusallikate valgusviljakused on näidatud joonisel 2, kus mustad kastid näitavad ainult lambi või valgusdiodi paketti efektiivsust, mis võib varieeruda sõltuvalt ehitusest, materjalidest, võimsusest ja muudest teguritest (DOE 2013a). Varjutatud alad näitavad valgusti tõhusust kogu süsteemi arvesse võttes, sealhulgas draiverit ning soojus- ja optilist kadu (DOE 2013a). Tähelepanuväärne on see, et esitletud valgusallikatest on valgusdiod ainuke, mille puhul on oodata olulist efektiivsuse kasvu juba lähitulevikus (DOE 2013a).

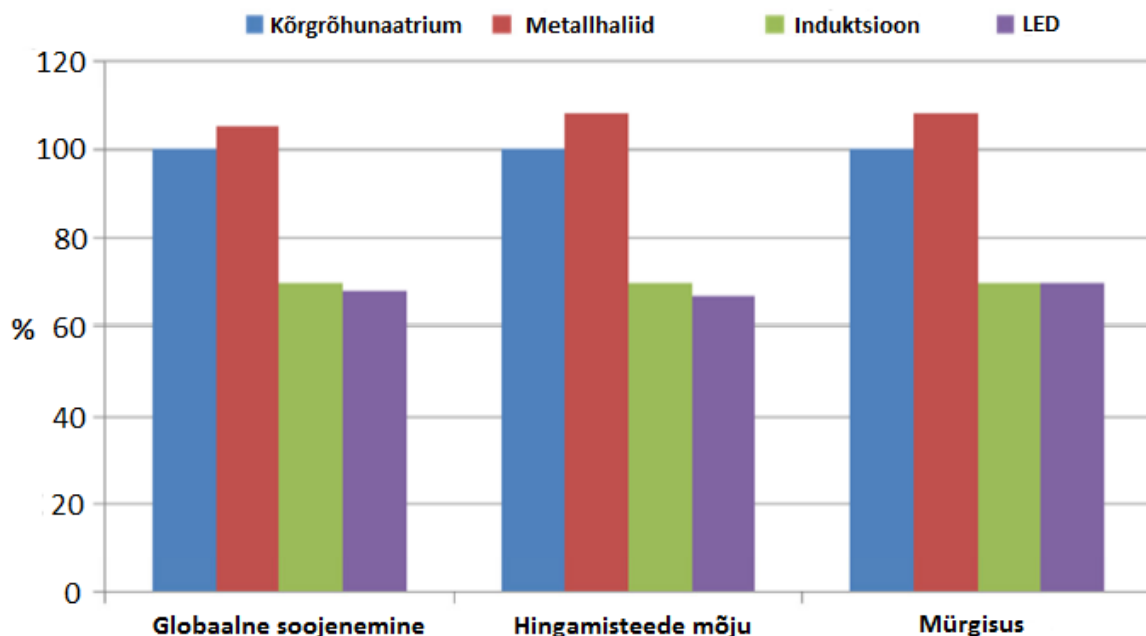


**Joonis 2.** Erinevate valgusallikate ligikaudne valgusviljakus. Allikas: DOE 2013a.

Valge leedlambi valgusviljakus (lm/W) on ületanud tavapärased valgustustehnoloogiad ning kaubanduslikult on kättesaadavad valgusdiodid, mille valgusviljakus on üle 150 lm/W, laboratoorselt on tõestatud ka üle 250 lm/W kohta (Jessup *et al.* 2012). Võrdluseks annavad hõõg- ja halogeenlambid üldjuhul 10-35 lm/W, gaaslahenduslambid (nt kõrgrõhunaatriumlamp) 70-150 lm/W ning eluea poolest kestavad diodlambid nendest kolm kuni viis korda kauem (DOE 2013a).

Mitmetes uuringutes võrreldakse mõju, mida leedvalgustuse kasutuselevõtt muu tehnoloogia asemele avaldab lampide täieliku olelusringi jooksul (IEA 2014; Hartley *et al.* 2009; Dale *et al.* 2011). Leedlampide kogu olelusringi vältel tekkinud emissioonide hindamisel on jõutud järeldusele, et peamine keskkonnamõju tekib erinevatel lampidel kasutuse etappis. Keskmiselt 85% keskkonnamõjust on seotud valgusti kasutusega ning ülejäänud 15% on seotud tootmise ning lambi kasutuselt kõrvaldamisega (IEA 2014). Transpordi etapp moodustab sealjuures ainult 1-2% keskkonnamõjust (IEA 2014). Seega aitab lambi keskkonnamõju vähendamisele kaasa eelkõige kaks kõige olulist parameetrit: valgusviljakus (lm /W) ja kasulik eluiga (töötundi elueas) (IEA 2014). Leitakse, et madala efektiivsusega valgustuse asendamise tõhusate, pikaajaliste leedvalgustitega toob kaasa olulise üldise keskkonnakasu (IEA 2014).

Konkreetsemalt tänavavalgustusega seonduvalt on avaldatud uuring, kus on võrreldud linnatänavatel kasutatavate kõrgrõhunaatrium-, leed-, induktsioon- ning metallhalogeniidlampide elutsükleid 100 000 töötunnist lähtuvalt (Dale *et al.* 2011). Uuringust selgus, et leed- ja induktsioonvalgustid omasid võrdluses kõrgrõhu-naatriumlambi ning metallhalogeniidlambiga ligi 30% madalamat keskkonnamõju globaalses soojenemises, hingamisteede mõjus ja mürgisuses (*ecotoxicity*) (joonis 3).



**Joonis 3.** Nelja tänavavalgusti tehnoloogia kogu olelusringi keskkonnamõju võrdlus. 100% esindab naatriumvalgusti mõju. Allikas: Dale *et al.* 2011.

Lisaks sai kinnitust, et suurim keskkonnamõju esines kõikide lampide puhul kasutuse etappis ning elektri tootmise viis omab märgatavat mõju üldisele valgusti keskkonnamõjule terve elutsükli jooksul (Dale *et al.* 2011). Kuigi antud uuringus on induksioon- ning leedvalgustite keskkonnamõju sarnane, siis tuuakse esile, et valgusdiodi tehnoloogia areneb lähitulevikus esimesest kiiremini (Dale *et al.* 2011). Hinnatakse, et diodlampid muutuvad uute toodete turuletulekuga veelgi keskkonnasõbralikumaks, just vastupidavuse ning valgusviljakuse osas (Hartley *et al.* 2009). Sellest hoolimata on peamine argument, mis on leedlampide läbimurret seni takistamas, nende kõrge ostuhind (Vogler *et al.* 2010). Kuna leedtehnoloogia areneb jätkuvalt kiirelt edasi, siis kindlasti täpsustatakse olelusringi hinnanguid juba lähiaastail.

## 2. Tartu tänavavalgustuse hetkeseis ja arenguperspektiivid

### 2.1 Tartu linna tänavavalgustuse hetkeseis

Tartu linnatänavate üldpikkuseks on 334,6 km, sellest valgustatud on 321 km (96%). Lisaks on Tartusse ehitatud mitmeid kilomeetreid kergliiklusteid koos valgustuspaigaldisega. Kokku valgustab Tartu linna 11 322 valgustit (tabel 1) ning enamik neist on 125-150 W võimsusega naatriumlambid. Leedlampe oli 2014. aasta seisuga kokku 632 ehk ligi 5% Tartu tänavavalgustitest. Lisaks esineb vähesel määral veel vanu elavhõbeda (u 80 tk) ja hõõglambiga (üksikud) valgusteid. (Tartu linnavalitsus 2014a)

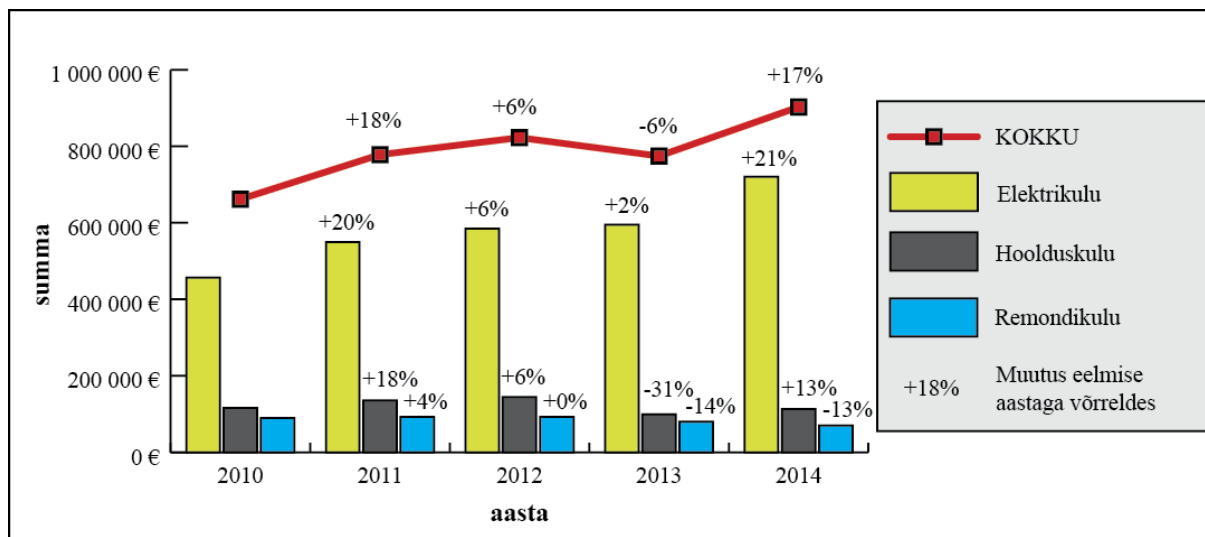
**Tabel 1.** Tartu tänavavalgustite hulk ning jaotus valgusallikate lõikes.

<b>Tänavavalgusti tüüp</b>	<b>Valgustite arv</b>	<b>Valgustite osakaal</b>
Naatriumlamp	~10 620	~94%
Leedlamp	632	5%
Elavhõbelamp	~80	~1%
<b>KOKKU</b>	<b>~11 332</b>	<b>100%</b>

Allikas: Tartu linnavalitsus 2014a

Valgustite keskmine vanus on 20 aastat ning paigaldusmastid on valdavalt puit- (~6000 tk) või betoonmastid (~1000 tk), ülejäänud on metallmastid (~4300 tk). Puit- ja betoonmastide keskmine vanus on 25–30 aastat. Tänapäevaks toidetakse valgusteid 151 valgustuskilbi kaudu ning nende juhtimine toimub üle GSM võrgu, tööd juhitakse kilbipõhiselt. Valgustuse hämardamist ehk dimmerdamist üldjuhul ei kasutata, erandiks on raadioteel juhitud või eeldimmerdatud leedvalgustid. (Tartu linnavalitsus 2014a)

Tartu linna viimase 5 aasta eelarvest ilmneb, et tänavavalgustusega kaasnevad kulud on selgelt kasvava trendiga ning seda põhjustab peaaesjalikult elektrienergia kulude kasv, mis on ühtlasi ka majandamiskulude poole pealt suurima osakaaluga, moodustades aastate lõikes keskmiselt ligi kaks kolmandikku tänavavalgustusega seotud kogukuludest (joonis 4). (Tartu linnavalitsus 2014b)



Aasta(d)	Elektrikulu €	Hoolduskulu €	Remondikulu €	KOKKU €
2010	456 569	115 808	89 463	661 840
2011	549 384	136 196	92 672	778 252
2012	585 000	145 000	92 700	822 700
2013	595 000	99 600	80 000	774 600
2014	720 000	112 850	70 000	902 850
<b>2010-2014</b>	<b>+58%</b>	<b>-3%</b>	<b>-22%</b>	<b>+36%</b>

Märkmed: punane värv = kulud suurenesid; roheline värv = kulud vähenesid; hall värv = algne kulu

**Joonis 4.** Tartu tänavavalgustuse majandamiskulud aastatel 2010–2014. Andmed: Tartu linnavalitsus 2014b.

Viimase viie aastaga on elektrikulud tõusnud 58% ning moodustasid 2014. aastal kokku 720 000 eurot ehk ligi 80% tänavavalgustusega seotud kogukuludest. Aastane keskmine elektrienergia kulu on sealjuures ~7,5–7,9 GWh. Elektrikulule lisanduvad veel hooldus- ja remondikulud, mis moodustasid 2014. aastal kokku 182 850 eurot. Hoolduskulud on viimase 5 aasta lõikes püsinud stabiilsena, samas kui remondikulud on sama perioodi vältel kasvanud ligi viiendiku võrra. 2013. aasta majandamiskulud vähenesid 2012. aastaga võrreldes, sest hange tänavavalgustuse hooldustöödeks kujunes odavamaks kui eelneval aastal. (Tartu linnavalitsus 2014b)

## 2.2 Tartu linna tänavavalgustusega seotud arendusprojektid

Püsivalt kerkivad energiakandjate hinnad ja selle tulemusena kasvavad igapäevased kulutused elektrienergiale sunnivad otsima energiasäästu võimalusi olemasolevates süsteemides. Viimastel aastatel on Tartu linn võtnud suuna leedtehnoloogial põhineva tänavavalgustuse arendamiseks ning lõppeesmärgiks on viia kogu Tartu linna tänavavalgustus üle valgusdiodlampidele (Tartu linnavalitsus 2014a).

Leedvalgustuse projektide peamiseks eesmärgideks on parandada Tartu linna tänavavalgustuse energiatõhusust, tõsta tänavavalgustuse kvaliteeti, vähendada energiatarvet ning sellest tulenevalt ka keskkonnasaastet. Erinevate arendusprojektide üldeesmärgiks on viia kogu avalik valgustus uuele tehnilisele tasemele (Tartu linnavalitsus 2014a). Tartu linna transpordi arengukava 2012–2020 toob tänavavalgustusega seonduvalt esile, et lahendamist vajav teema on tänavavalgustuse kaasajastamine ning püütakse arendada linnavalgustust intelligentse juhtimissüsteemi suunas ja rakendatakse lahendusi, mis kuluefektiivselt tagavad maksimaalse energia- ja keskkonnasäästu.

Sarnaselt Euroopa Liidu teiste linnade praktikale (Valentová *et al.* 2012a) on Tartus leedvalgustitele üleminek järk-järguline. Tänapäevaks on erinevate projektide raames peamiselt linna suurema liiklusintensiivsusega tänavate äärde paigaldatud 632 valgusdiodlampi, mille tunneb tänavapildis ära valge valguse abil (joonis 5). Linnal on uute valgusdiodlampide ostu aidanud rahastada keskkonnainvesteeringute keskus (Tartu linnavalitsus 2014a).



**Joonis 5.** Leedvalgustid Riia tänava sõiduteel (naatriumlambid põlevad kõnniteel). Autori foto.

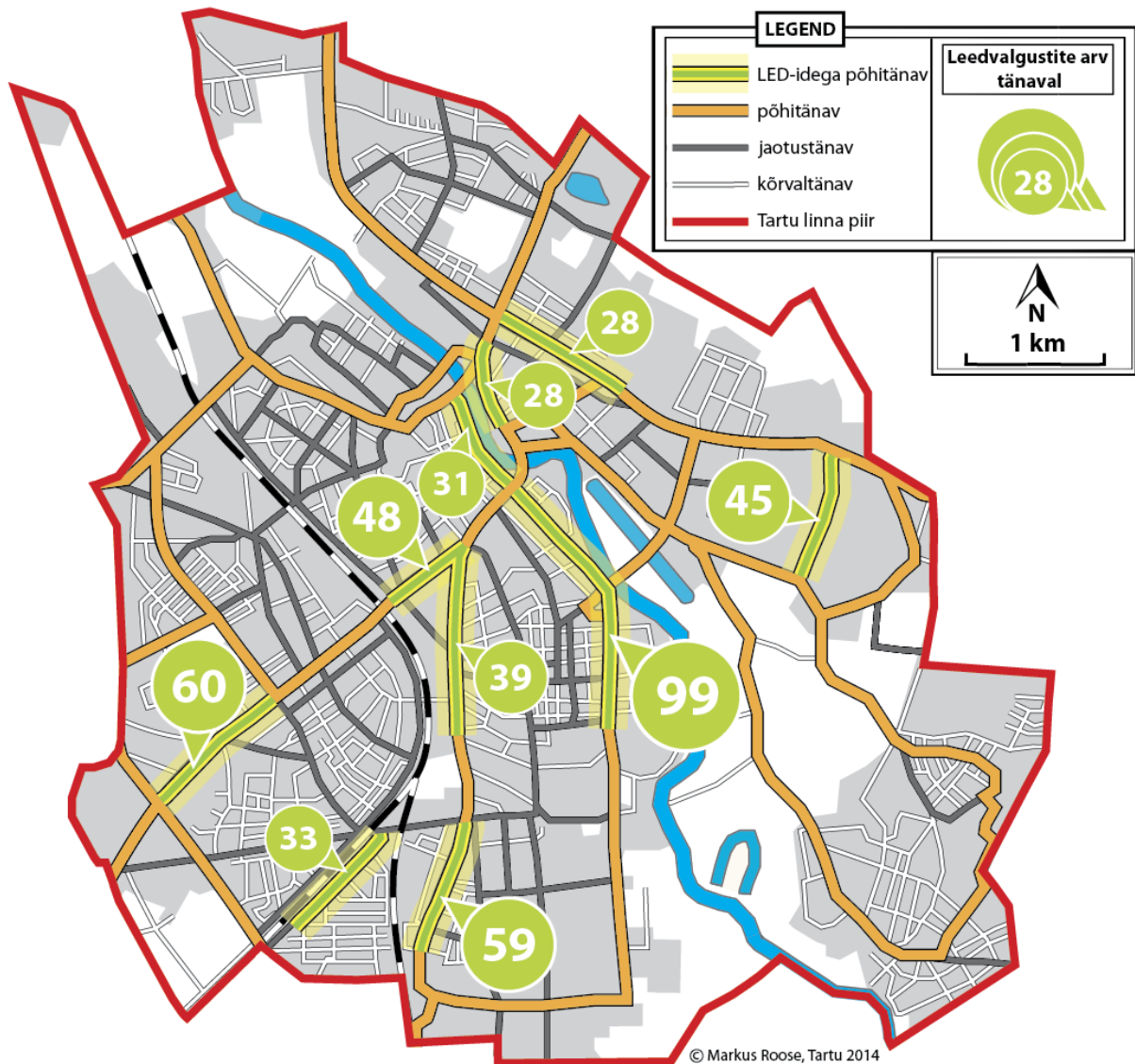
Käesoleva töö raames on vaatluse alla võetud 2013. aasta suvel esimese etapi raames Tartu linna kaheksale põhitänavale paigaldatud 470 leedvalgustit (tabel 2). Tänavavalgustuse uuendamine on linnas jätkuvalt käimasolev protsess. Järgmised 450 valgusdiodi paigaldatakse eeldatavalt 2015. aasta suvel Narva maanteele, Sõpruse puiesteele ning Fortuuna, Soinaste, Jaama, Ilmatsalu, Mõisavahe ja Pikale tänavale. Kavas on sarnaste leedprojektidega jätkata ka tulevikus (Tartu linnavalitsus 2014a).

**Tabel 2.** Uurimise all olevad leedvalgustitega Tartu linna tänavalõigud.

<b>Tänav</b>	<b>Täpne asukoht</b>	<b>Valgustite arv</b>
<b>Turu tn</b>	Võidu sild – Tehase tn	99
<b>Riia tn</b>	Soinaste tn – Ringtee tn	60
<b>Võru tn</b>	Aardla tn – Sepavälja tn	59
<b>Riia tn</b>	Akadeemia tn – Vaksali tn	48
<b>Kaunase pst</b>	Jaama tn – Kalda tee	45
<b>Võru tn</b>	Akadeemia tn – Tehase tn	39
<b>Roopa tn</b>	Aardla tn – Kopli tn	33
<b>Vabaduse pst</b>	Lai tn – Võidu sild	31
<b>Narva mnt</b>	Raatuse tn – Staadioni tn	28
<b>Puiestee tn</b>	Narva mnt – Pärna tänav	28
<b>KOKKU</b>	<b>10 tänavalõiku kaheksal tänaval</b>	<b>470</b>

Allikas: Tartu linnavalitsus 2014a.

Leedvalgustite asukohavalikul on selgelt rõhutatud põhitänavatele, mida ajendab tõsiasi, et nendel tänavatel on peale suurema liikluskoormuse ka võimsamad valgustid, mistõttu saavutab linn vanade lampide väljavahetamisega kõige suurema raha ning elektri kokkuhoiu. Vabaduse ja Kaunase puiesteel on valgustid läinud vahetusse tänavate kogupikkuses (joonis 6). Ülejäänud põhitänavatel on lambid välja vahetatud osaliselt. Enim on uusi leedvalgusteid katkematult Turu tänaval (99 tk), vähim aga Narva maantee ja Puiestee tänavalõikudel (28 tk). (Tartu linnavalitsus 2014a)



**Joonis 6.** Leedvalgustite ruumiline paiknemine Tartu linna põhitänavatel. Autori kaart.

Uuritavatel põhitänavatel asendati kõigil juhtudel 250 vattised kõrgrõhu-naatriumlambid uute Philips'i leedvalgustite vastu. Uute lampide võimsuseks on 107,6W ning valgusviljakuseks 88 lm/W (tabel 3). Peamine energiakulude kokkuhoid tuleneb sellest, et lampe hämardatakse vastavalt kellaajale. Täisvõimsusel töötavad valgustid hommikul pärast 6.00 ning õhtul kuni kella 21.00-ni. Seejärel kuni südaööni põlevad lambid 75% ning pärast keskööd kuni kella 6.00-ni 50% võimsusega. Valgusti valgustemperatuur on 4000 K, mis on naturaalne valge valgus ning valgusti värviesitusindeks ehk *CRI* on 80, mis tagab hea nägemismugavuse, sest valgustatud esemete värvus on küllastunud ja ergas. Värviesitusindeks väljendab 100 punkti süsteemis valgusallika võimet valgustada objektide värve võimalikult loomutruult. (Tartu linnavalitsus 2014c)

**Tabel 3.** 2013. aasta suvel paigaldatud 470 eeldimmerdatud leedvalgusti tehnilised parameetrid.

<b>Jrk</b>	<b>Tehnilise nõude nimetus</b>	<b>Toote tehnilised andmed</b>
1.	Valgusti võimsus	107,6 W
2.	Valgusti valgusvoog	9384 lm
3.	Valgusti valgusviljakus	88 lm/W
4.	Teepinna keskmine heledus $L(Cd/m^2)$	Paigalduskõrgus 8m 0,98 Paigalduskõrgus 10m 0,86
5.	Heleduse pikiühtlus	Paigalduskõrgus 8m 0,87 Paigalduskõrgus 10m 0,88
6.	Valgusti valgustemperatuur	4000 K
7.	Hämmardamise % kellaajast lähtuvalt	
	15.30-21.00	100%
	21.00-24.00	75%
	0.00-6.00	50%
	6.00-9.00	100%
8.	Värviedastusindeks <i>CRI</i>	80
9.	Valgusti töötemperatuur	-40 - +50 °C
10.	Valgusti garantii	5 aastat

Allikas: Tartu linnavalitsus 2014c.

Tootja poolt on Tartu linna paigaldatud 470-l valgustil 5-aastane garantii, mis maakeeli väljendades tähendab seda, et omavalitsusel ei kaasne uute leedvalgustitega esimese viie aasta jooksul remondikuludid (Tartu linnavalitsus 2014c).

### 3. Andmed ja metoodika

#### 3.1 Linnaelanike küsitlus

Magistritööga seonduvalt viidi läbi leedvalgustite teemaline küsitlusuuring, mille eesmärgiks oli välja selgitada Tartu linna jalakäijate suhtumine ja hoiakud valgusdioodi tänavalampidesse. Küsitluse sihtgrupiks olid Tartu linna jalakäijaid, kelle arvamuse väljaselgitamiseks kasutati tänavaküsitlust.

Küsitlus viidi läbi pimedal ajal Tartus Vabaduse puiesteel Raeplatsi bussipeatuse kõrval ajavahemikus 16. veebruar kuni 21. veebruar 2015. Asukoht osutus sobivaks seetõttu, et antud kohas põlesid samaaegselt nähtavalt kahel pool tänavat vastavalt leedlambid ning teisalt vanad kõrgrõhunaatrium valgusallikad. Selline olukord võimaldas vastajate jaoks tekitada visuaalset võrdlusmomenti vanade kõrgrõhu-naatriumlampide ja uute leedvalgustite vahel, sest üldjuhul ei ole tavakodanikud kursis erinevate valgustite omadustega. Samuti rääkis Vabaduse puiestee kasuks tihe liiklussagedus isegi hilistel öhtutundidel.

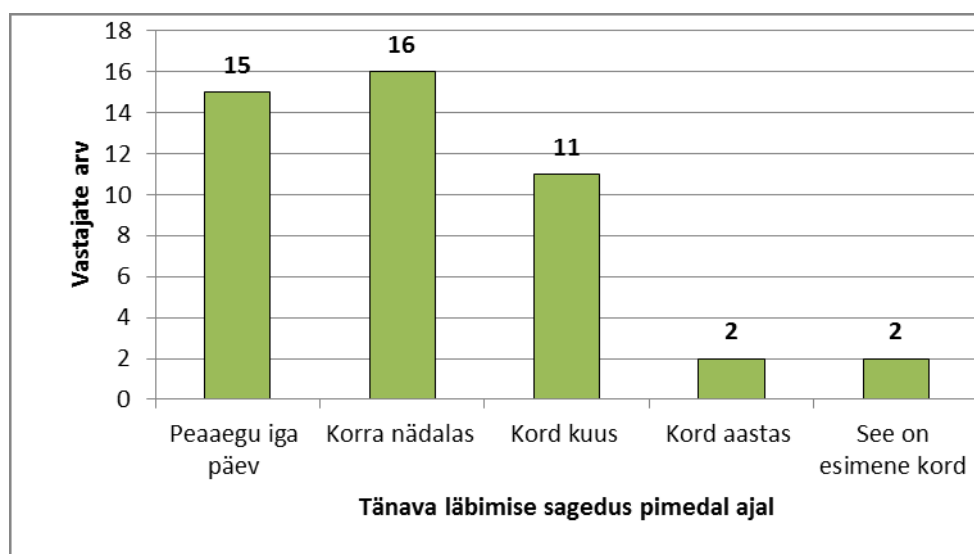
Küsimustiku koostas töö autor ning küsitlusvormiks oli suuline intervjuu. Küsimustiku koostamisel lähtus töö autor suuresti teistest sarnastest läbiviidud küsitlusuuringutest (Holman *et al.* 2009, Woolcott Research 2011, Transport for London 2011). Valimi moodustamine toimus süstemaatilise väljavõtu meetodil. Küsitleti pärast eelmise küsitluse lõppemist täpselt igat teist vastutulist. See on levinud valimi moodustamise viis tänavaküsitluse puhul, sest ei ole võimalik teada, kes tänaval järgmisena vastu tuleb ning loomulikult ei saa ka vastutulijaid eelnevalt nummerdada.

Enne suuremahulisema uuringu läbiviimist teostati pilootuuring väikese arvu inimestega, et näha ette olukordi, mis võivad küsitluse läbiviimisel tekkida ning leida puudujääke esialgsete küsimuste sõnastuses. Pilootuuringu vastuste ning saadud tagasiside põhjal koostas töö autor lõpliku küsitlusankeedi (lisa 1).

Lõplik ankeet koosnes kokku 13-st küsimusest, millele küsitlav pidi andma hinnangulise vastuse jalakäija seisukohast lähtuvalt. Küsimused käsitlesid peamiselt olemasolevate valgustite võrdlemist uutega. Lisaks sooviti välja selgitada vastajate üldist hinnangut leedvalgustitesse ning uuriti ka, kuidas suhtutakse ideesse, et kogu Tartu linna tänavavalgustus läheb üle leedvalgustitele. Küsitlus oli anonüümne ning vastuseid kasutati üldistatud kujul.

Küsitlusandmete kvantitatiivne analüüs teostati programmis Microsoft Excel 2010. Esmalt koostati tulemusi kajastavad tabelid ning vastavalt vajadusele tehti nende põhjal erinevaid joonised, mis esindaksid arvuliselt kokkuvõtteid saadud tulemustest.

Küsitlusele vastas kokku 46 inimest, kellest enamik olid naised (56%). Enim oli vastajate hulgas tööelisi (50%), seejärel üliõpilasi ja õpilasi (35%) ja vähim eakaid (15%). 67% vastanutest läbib Vabaduse puisteed pimedal ajal vähemalt korra nädalas ning peaaegu iga päev teeb seda ligi kolmandik (16 vastajat) kõikidest vastanutest (joonis 7). Seega on antud tänav vastajate hulgas levinud liikumispaiaks ka päikesevalguse loojumise järgselt.



**Joonis 7.** Küsitlusele vastanute jagunemine antud tänav läbimise sageduse järgi pimedal ajal.

Tartu linna kodaniku staatust väitsid omavat 32 isikut ehk 70% vastanutest. Teisisõnu peegeldavad küsitluse tulemused suurel määral ametlikult registreerunud linnaelanike suhtumist ning hoiakuid leedlampidesse.

### 3.2 Tasuvusanalüüs

Leedlampide majanduslikku tasuvust hinnati antud töös USA energeetikaministeeriumi vabavarana kättesaadava spetsiaalse analüüsiprogrammi abil (*The Street Lighting Retrofit Financial Analysis Tool*) (DOE 2013b). Tasuvusanalüüsi tarbeks rakendatud programmi kasutamishend oli samuti vabalt kättesaadav ministeeriumi koduleheküljel (DOE 2013c).

Töövahend on loodud selleks, et kohalikud omavalitsused, kinnisvara omanikud ning muud organisatsioonid saaksid valgustuse uuendamise projektidega seoses arvutada aastapõhist energia- ja hoolduse kokkuhoidu, kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemist, nüüdispuhasväärtust ning lihtsat tasuvusaega.

Käesolevas töö tasuvusanalüüsi käigus mängiti läbi Tartus 2013. aasta suvel reaalselt teostunud leedvalgustite projekt, mille raames asendati olemasolevad 470 kõrgrõhu-naatriumlampi sama hulga leedlampide vastu (*retrofit*). Analüüsi perioodiks oli 15 aastat ning leedvalgustite ostu- ja paigaldamise hinnaks määrati enne käibemaksu lisamist 350 €/tk, mis tuleneb investeeringu maksumusest ehk projekti hankeks kulunud summast (ligi 200 000 €) (OÜ Elektroskandia Baltics 2013).

Tasuvusanalüüsi arvutustes eeldati, et tänavalatern põleb aastas keskmiselt 4000 tundi. Eelnevalt olid tänavatel 250 vattised naatriumlambid, mis tarbivad koos magnetballastiga umbes 300 W ehk 1200 kWh elektrienergiat aastas. Uute leedvalgustite võimsuseks on 108 W ning energiasäästu saavutamiseks hämardatakse need kellaajast sõltuvalt vastavalt 75%-ni üheksast öhtul kuni keskööni ning poole võimsuseni keskööst kuni hommikul kella kuueni (Tartu linnavalitsus 2014c). Analüüsis eeldati, et pool ajast (2000 tundi) põleb leedlamp poole võimsusega ja ülejäänud aja (2000 tundi) täisvõimsusel. Elektri hinnaks määrati 0,1 €/kWh ning sellega seondult omistati arvutustes iga-aastaseks hinnatõusuks 3%. Analüüsis kasutati emissioonifaktorit 0,908 kg CO<sub>2</sub>-e/kWh, mis vastab Eesti keskmisele elektrienergia tootmisel tekkivale süsihappegaasi emissioonile (CoM 2010).

Naatriumlambi hoolduskulud (1,5 €) tulenevad Tartu linna eelarvest, mille kohaselt 2013. aastal kulus ligi 11 500 valgusti, mis peaaesjalikult olid sel ajal naatriumlambid, hooldus- ja remondikuludeks 179 600 € (Tartu linnavalitsus 2014b) ehk laias laastus 16 € lambi kohta aastas ehk ligi 1,5 € lambi kohta kuus. Valgusdiodide hoolduskulude määramisel lähtuti sarnastest läbiviidud majanduslikest arvutustest (Holman *et al.* 2009), mille kohaselt on nende hoolduskulud ligi 4–5 korda väiksemad naatriumlampidega võrreldes ehk antud juhul kujunes leedlampide hoolduskuluks 0,3 €/tk/kuus.

Kokkuvõtte eeldustest:

- |   |           |
|---|-----------|
| • Analüüsi periood                          | 15 aastat |
| • Käibemaks(%)                              | 20,00%    |
| • Leedvalgustite ostu- ja paigaldamise hind | 350 €/tk  |
| • Elektri hind (€/kWh)                      | 0,1       |

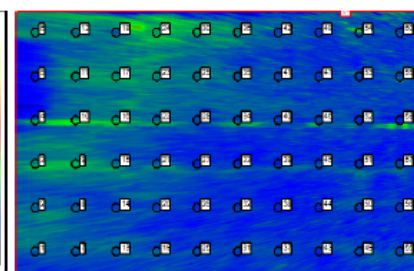
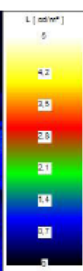
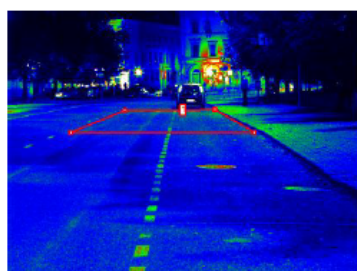
- Aastane elektrihinna muutus (%) 3,0%
- Emissioonifaktor (kg CO<sub>2</sub>-e/kWh) 0,908
- Kõrgrõhu-naatriumlambi igakuine hoolduskulu (€/tk/kuus) 1,5
- Leedlambi igakuine hoolduskulu (€/tk/kuus) 0,3
- Iga-aastane muutus hoolduskuludes 3%
- Leedlambi põlemisaeg aastas 4000 tundi, sellest 50% ajast poole võimsusega.

### 3.3 Valgusmõõtmised

Tänavavalgustuse valgusmõõtmiste laiem eesmärk oli valgustuspaigaldiste olukorra seire, mille tulemusel selgub, kas energiasäästu tingimustes valgustavad lambid vastavalt kehtivate valgustusnormidega (Eesti Vabariigi standard EVS-EN 13201-2:2007. Teevalgustus. Osa 2: Teostusnõuded valgustusklass ME4b nõuded). Eesti Vabariigi välisvalgustuse valdkonnas kehtivad välisvalgustusalased standardid ning normatiivid lähtuvad Euroopa Liidu direktiividest ja standartidest ehk eelmainitud standard on EL-is kehtiva standardi eestikeelne tõlge.

Mõõtmisi teostas kaheksal huvipakkuval tänaval OÜ Minotec DC 16.09.2013 õhtupoolikul. Käesoleva töö autorile olid kättesaadav mõõtmistööde protokoll .pdf formaadis, kus iga tänava lõikes olid tulemused esitatud sarnaselt joonisele 8. Lisaks oli failis lahti seletatud mõõtemetoodika ning asjakohane selgitus mõistete ning ka kehtivate standarditega seonduvalt. Valgusmõõtmiste tulemuste analüüsil püstitas autor põhiküsimuseks: „Kas on tagatud normidekohane valgustus?“.

Perspektiivvaade:



Väärtused:

min	max	UI
1,12	1,59	0,704
1,14	1,430	0,800
Global	Minimum	1,12
	Mean	1,36
	Uo	0,820
Üldühtlus: 0,8		

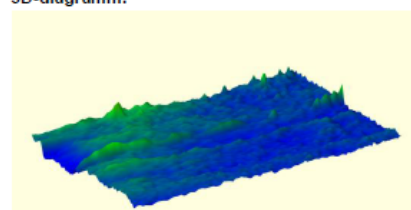
Tulemused mõõtepunktid:

1,546	1,497	1,424	1,675	1,650	1,541	1,310	1,246	1,545	1,320
1,118	1,589	1,588	1,550	1,478	1,390	1,297	1,257	1,320	1,340
1,436	1,722	1,640	1,474	1,319	1,356	1,271	1,301	1,211	1,169
1,592	1,676	1,459	1,393	1,188	1,209	1,191	1,284	1,205	1,270
1,430	1,386	1,292	1,286	1,200	1,234	1,157	1,144	1,256	1,212
1,378	1,378	1,390	1,374	1,303	1,272	1,304	1,184	1,283	1,321

Kommentaariid:

Mõõdistus kalibreeritud mõõteseadmega LMK 98-3; Mõõdetud SinglePic meetodil; Kuiv teekattega; Ilma- ja keskkonnaolud stabiilsed; Temperatuur 12 °C; Nähtavus hea  
 16.09.2013.a. kell 21:52

3D-diagramm:



**Joonis 8.** Valgusmõõtmiste mõõteprotokolli näide Vabaduse puiestee näitel. Allikas: Varjas, Armas 2013.

Kõik mõõtmised toimusid samal kuupäeval (16.09.2013) ning sarnastes ilmastiku tingimustes: temperatuuril ~12°C, hea nähtavusega ja kuiva teekattega. Seejuures teostati valgusmõõtmised ajal, mil lambid töötasid 75% võimsusel ehk teisisõnu, kui valgustid töötavad täisvõimsusel, on tulemused veelgi paremad. Samas tuleb silmas pidada, et enamus ajast töötavadki uued leedvalgustid nõrgema võimsusega, vastavalt kas 75% alates kella üheksast õhtul või 50% alates keskkööst. Seega on valitud mõõtmiste aeg sobilik, sest annab aimu, kas ka säästmise eesmärgil eelprogrammeeritud hämardamise korral on nõuded tagatud.

Mõõtevahendina kasutati firma TechnoTeam GmbH digitaalset heleduse mõõtekaamerat LMK 98-3 Color ning sama firma poolt väljatöötatud tarkvaraprogrammi LMK LabSoft. Kaamera LMK mõõtemetoodika on nii üles ehitatud, et seda saab lihtsalt kohandada standardite või muude dokumentide nõuetele nii mõõteala ulatuse kui ka mõõtepunktide arvu ja asukoha järgi. (Varjas, Armas 2013)

Kaameraga pildistatud kaadritest on eriprogrammi LMK LabSoft abil võimalik välja lugeda heleduse väärtusi ja teha nii erinevaid mõõtmisi. Antud mõõtmised teostati lühikestel lõikudel

(üks postivahe). Kaamera asukoht valiti vastavalt sõidutee laiusele ja sõiduradade arvule ning kõigil juhtudel viidi mõõtmine läbi ühel ja samal viisi. Mõõtmisi tehti standardjärgselt 1,5 m kõrguselt, mõõdetava ala keskelt ja 60 m kauguselt mõõtevälja esiservast. Mõõteala asukoha valikul püüti viia miinimumini kõrvaliste valgusallikate mõju, samuti välditi teepinnal paiknevate märgistusribade jms heledate pindade sattumist mõõtevälja mõõtepunktide alale. (Varjas, Armas 2013)

Olulisi mõisteid:

**Teepinna keskmine heledus ( $L$ )** on teepinna heleduse aritmeetiline keskmine sõidutee etteantud lõigu pindalal. Keskmine heledus iseloomustab heledustaset, millele sõidukijuhi silm on kohanenud. Ühik – kandela ruutmeetri kohta ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). (Varjas, Armas 2013)

**Teepinna heleduse üldühtlus  $U_0$**  on heleduse vähima ja keskväärtuse jagatis. Üldühtlus iseloomustab üldisel viisil heleduse muutumist ning seda, kui hästi teepind toimib taustana teemärgistuse, esemete ja teiste liiklejate eristamisel. (Varjas, Armas 2013)

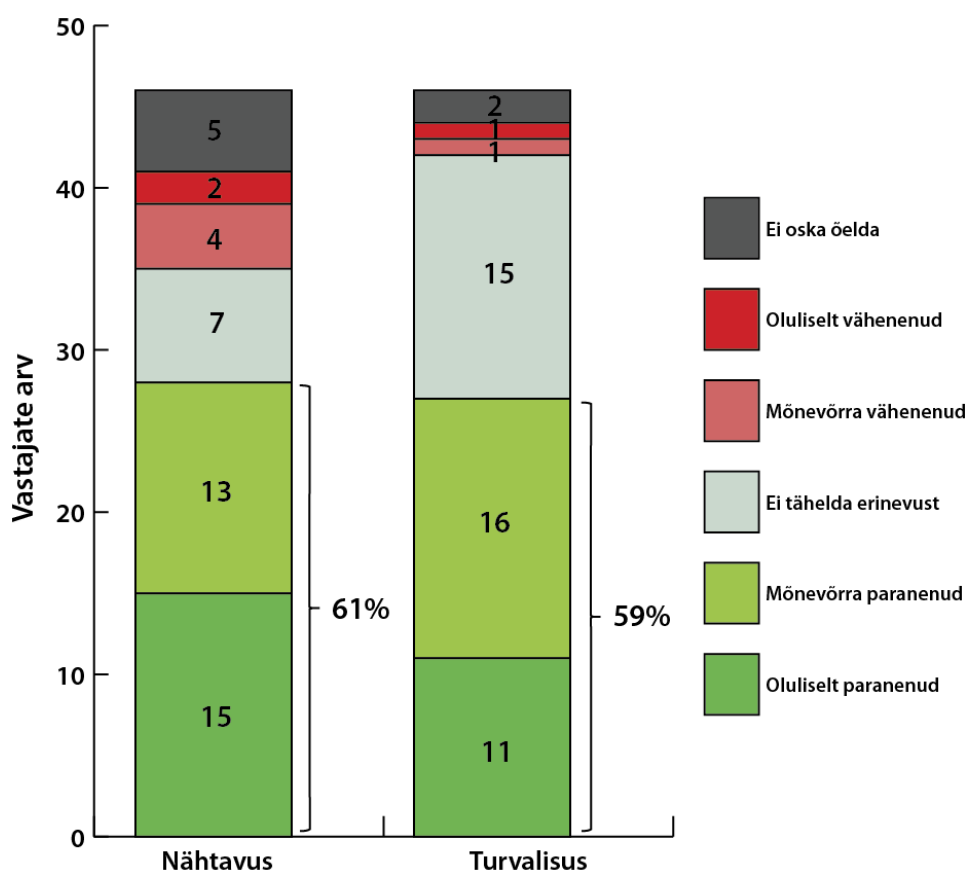
**Sõiduraja pinna heleduse pikiühtlus ( $U_i$ )** on sõiduraja keskjoone vähima ja suurima heleduse suhe. Pikiühtlus  $U_i$  iseloomustab teepinna heledate ja tumedate osade vaheldumisel tekkiva nägemist segava toime vähesust pikkadel katkematutel teosadel. (Varjas, Armas 2013)

**Valgustusklass** on määratletud fotomeetriliste nõuete kogumiga, mis arvestavad tänaval liikleja nägemisnõudeid antud tänavaliigi ja selle ümbruse korral. Valgustusklasside valik sõltub teede ja tänavate liigist ning liikluspkiirkonna iseloomust ja tähistatakse tähtedega ME, CE, S, A, ES ja EV. Antud töö puhul on asjakohane ME valgustusklass, mis on ette nähtud sõiduteedele, kus on keskmise ja suure kiirusega liiklus ning nõutav on piisavalt hea nähtavuse tagamine mootorsõidukijuhtide nägemisväljas. (Varjas, Armas 2013)

## 4. Tulemused

### 4.1 Linnaelanike hoiakud ja arvamused leedvalgustuse suhtes

Küsitluses osalenud 46-st jalakäijast kõigest 3 (7%) olid märganud või teadlikud, et küsitluse toimumise tänaval (Vabaduse puiestee) põlevad teistsugused valgustid kui teistel tänavatel ehk teisisõnu polnud valdav enamik kursis sellega, et antud linnatänaval põlevad uued leedvalgustid. Samas leidis suurem osa (61%) vastanutest, et sellel tänava poolel, kuhu on paigaldatud uued leedlambid, on nähtavus paranenud ning pelgalt 6 vastajat (13%) hindasid, et nähtavus on võrdluses naatriumlampidega vähenenud (joonis 9). Turvalisuse seisukohast leidis 59% vastanutest, et see aspekt on leedlampidega paranenud, samas ligi kolmandik ei täheldanud antud küsimuses erinevust.

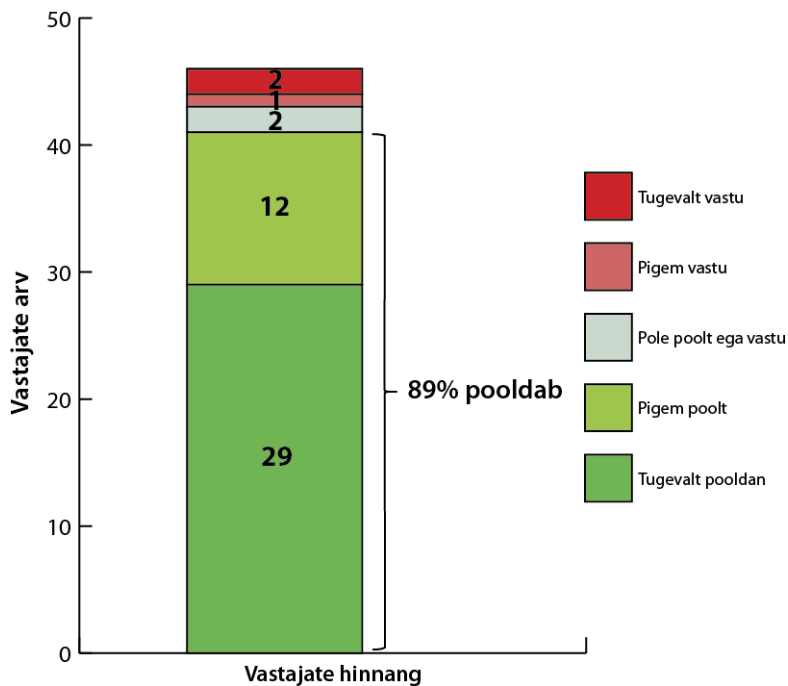


Joonis 9. Vastanute hinnang nähtavusele ja turvalisusele.

Küsimusele, kas uued lambid valgustavad sobival määral või on valgus liiga ere või hämar arvasid 67% vastanutest (31 vastajat), et valgustid on sobiva valguse hulgaga. Liiga eredaks või liiga hämaraks pidasid valgusteid vastavalt 15% ja 13% vastanutest. Oma hinnangut ei osanud öelda 2 vastajat (4%). Küsimusele, kas leedlambid pimestavad rohkem või vähem võrreldes naatriumlampidega, olid vastanute hinnangud küllaltki laialivalguvad. Ligi kolmandik (35%) vastanutest leidis, et dioodlambid pimestavad vähem ning 26% vastaja hinnangul rohkem kui naatriumlambid. 22% ei täheldanud erinevust ning kindlat vastust ei osanud antud küsimuses välja tuua 17% respondentidest.

Üldhinnangut puudutavate küsimuste puhul tuli ilmsiks, et selgelt valdavale enamikule (91%) respondentidele meeldisid uued leedlambid ning vastukarva olid valgustid ainult kahele vastajale (4%). Lisaks eelistasid uusi leedvalgusteid võrdluses vanade kõrgrõhu-naatriumlampidega 76% vastanutest (35 vastajat) ning vanu lampe pidas paremaks kõigest 7% (3 vastajat). Ülejäänutel polnud kas vahet (9%) või ei osatud öelda (9%). Antud küsimuse juures oli võimalik oma sõnadega enda eelistust põhjendada ning eelkõige toodi esile, et valgusdiodlampidega nähakse tänaval paremini, valge valgus on esteetiliselt kaunim ning silmadele meeldivam. Ilmekalt võtab leedvalgustite hinnangud kokku eakas Tartu naiskodanik, kes hindas olukorda nii: „Valgus tundub loomulikum ning mulle meeldib nende uute valgustite valge värvus“. Naatriumlampe eelistanud vastajad (7%) leidsid, et nende hinnangul on vanade lampide valgus eredam ning meeldivam.

Ideesse, et kogu Tartu linna tänavavalgustus läheb üle leedvalgustitele suhtus pooldavalt 89% vastanutest (joonis 10), sealjuures tugevalt pooldas seda 29 respondenti ehk valdav enamik (63%).



**Joonis 10.** Vastanute suhtumine ideesse, et kogu Tartu linna tänavavalgustus läheb üle leedvalgustitele.

Leedvalgustite juurutamise vastu oli kõigest 3 vastanut (7%) ning neutraalsel seisukohal oli kaks isikut (4%).

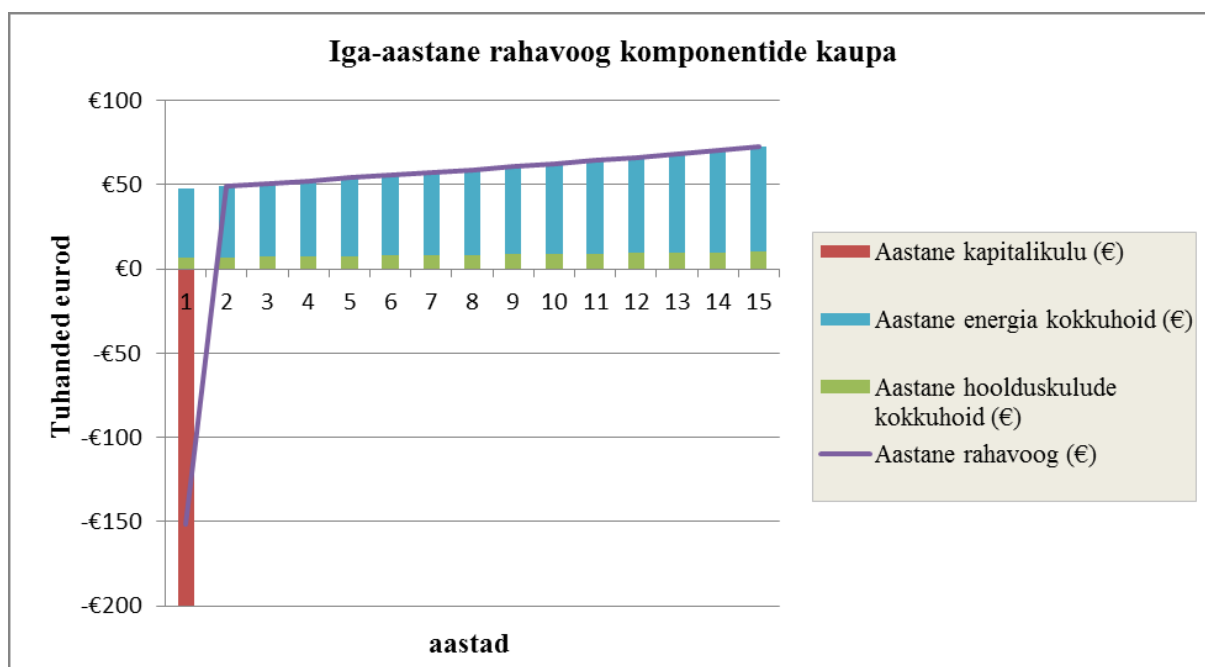
## 4.2 Tasuvusanalüüsi tulemused

Antud projekti lihttasuvusajaks kujunes arvutuste kohaselt 4 aastat ning 15-aasta nüüdispuhasväärtus (*NPV*) on 3%-ise diskontomäära juures 504 223 eurot, mille suur positiivne väärtus viitab märkimisväärsele majanduslikule kasule (tabel 4). Rahavoogude põhjal välja arvutatud projekti oodatav sisemine tulumäär (*IRR*) on 34,77% ehk selle võrra kasvab aastas keskmiselt projekti paigutatud kapital. Arvutuste kohaselt säästab kohalik omavalitsus projekti tulemusel juba esimesel aastal energiakulude vähenemise tõttu 41 172 eurot, sest väljaminekud energiale kahanevad uute leedlampidega aastas ligi 411 720 kWh ehk ligi 70%. Lisaks alaneb tänavavalgustuse uuendamise tulemusel iga-aastaselt süsihappegaasi heitmete hulk 374 tonni.

**Tabel 4.** Tasuvusanalüüsi tulemused. Stsenaarium: 470 naatriumvalgusti asendamine sama arvu leedvalgustitega (*retrofit*).

<b>Paigaldatud valgusteid</b>	<b>470</b>
<b>Rakendamise periood (aastad)</b>	<b>1</b>
<b>Analüüsi periood (aastad)</b>	<b>15</b>
<b>Lihtne tasuvusaeg (aastad)</b>	<b>4,0</b>
<b>15-aasta sisemine tulumäär <i>IRR</i></b>	<b>34,77%</b>
<b>15-aasta nüüdispuhasväärtus <i>NPV</i> (€)</b>	<b>€ 504 223</b>
<b>15-aasta kapitalikulud (investeering) (€)</b>	<b>€ 199 750</b>
<b>15-aasta kapitalikulud €/säästetud kWh kohta</b>	<b>€ 0,323</b>
<b>15-aasta kapitalikulud €/säästetud CO<sub>2</sub>-e kohta</b>	<b>€ 35,6211</b>
<b>Aastane kWh sääst</b>	<b>411 720</b>
<b>Aastane kWh sääst lambi kohta</b>	<b>876</b>
<b>Aastane energiasääst (€)</b>	<b>€ 41 172</b>
<b>Aastane energiasääst (€) lambi kohta</b>	<b>€ 99,6</b>
<b>Aastane süsihappegaasi heite vähenemine (t CO<sub>2</sub>-e)</b>	<b>374</b>
Vana aastane kWh kasutus	564 000
Vana aastane energiakulu (€)	€ 56 400
Vana aastane süsihappegaasi heide (t CO <sub>2</sub> -e)	512
Uus aastane kWh kasutus	152 280
Uus aastane energiakulu (€)	€ 15 228
Uus aastane süsihappegaasi heide (t CO <sub>2</sub> -e)	138

Iga-aastastest rahavoogudest (joonis 11) ilmneb, et loogiliselt võttes on negatiivne aastane bilanss ainult valgustite paigaldamise perioodil ehk esimesel aastal, mil tuleb välja käia kogu investeeringu maksumus (199 750€). Plusspoole peale jääb projekt kõikidel järgnevatel aastatel, kui saadavat kokkuhoidu uute valgustitega võimendab stsenaariumis sisalduv iga-aastane 3%-ine elektriinna tõus ning muutus hoolduskuludes.



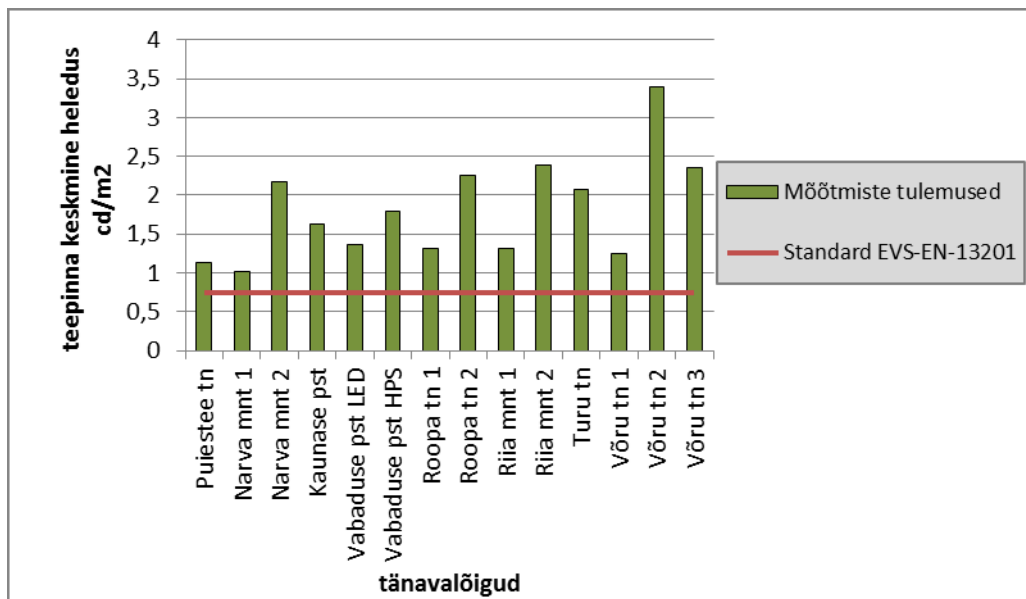
Aasta	Aastane kapitalikulu (€)	Aastane energia kokkuhoid (€)	Aastane hoolduskulude kokkuhoid (€)	Aastane rahavoog (€)
1	199 750	41 172	6 768	-151 810
2		42 407	6 971	49 378
3		43 679	7 180	50 860
4		44 990	7 396	52 385
5		46 339	7 617	53 957
6		47 730	7 846	55 576
7		49 162	8 081	57 243
8		50 636	8 324	58 960
9		52 155	8 573	60 729
10		53 720	8 831	62 551
11		55 332	9 096	64 427
12		56 992	9 368	66 360
13		58 701	9 650	68 351
14		60 462	9 939	70 402
15		62 276	10 237	72 514

**Joonis 11.** Tasuvusanalüüsi tulemused viieteist analüüsi aasta lõikes.

Elektrihinna tõusu ning hoolduse väljaminekute suurenedes saavutavad nii aastane hoolduskulude kui energia kokkuhoid 15. aastaks ligi poole (45%) võrra suurema säästu kui esimesel analüüsi aastal, vastavalt 10 237€ ja 62 276€. Need absoluutarvud peegeldavad samas ka lampidega kaasnevate kulude osatähtsusi, mis näitab, et hoolduskulude kokkuhoid omab kogu säästus ligi kuus korda väiksemat mõju kui energia kokkuhoid.

### 4.3 Tänavate valgustus

Teepinna keskmise heleduse väärtused ( $L$   $\text{cd/m}^2$ ) vastasid kõikidel mõõdistatud tänavalõikudel kehtivatele valgustandardi nõuetele (joonis 12, tabel 5), sealjuures kõige napimalt ületasid standardinõudeid Puiestee tänava ( $0,39 \text{ cd/m}^2$  üle nõutud taseme) ja Narva mnt 1 ( $0,26 \text{ cd/m}^2$  üle nõutud taseme) mõõtmistulemused ning suurimad teepinna keskmised heleduse väärtused olid Riia ( $2,39 \text{ cd/m}^2$ ) ja Võru tänavalõikudel ( $3,4 \text{ cd/m}^2$ ).



**Joonis 12.** Teepinna keskmise heleduse väärtused mõõdetud tänavalõikudel.

Teepinna heleduse üldühtlus ( $U_0$ ) ja sõidutee pinna heleduse pikiühtlus ( $U_1$ ) ei olnud tagatud Puiestee tänaval, Kaunase puiesteel ning Narva maantee tänavalõikudel (tabel 5). Tööde protokollist selgus, et eeldatust madalamad üldühtluse ja ka pikiühtluse väärtused olid osaliselt tingitud teekatte kulumisest, mistõttu vaheldusid mõõdetud aladel lõiguti teekatte omadused ning see mõjutas mõõtetulemusi, muutes tulemused madalamaks, kui see oleks kindlasti ühtlase teekatte puhul. Lisaks mõjutas mõõdistatud objektidel ühtluste väärtusi puude varjud Puiestee tn, Narva mnt, Kaunase pst, Roopa tn, Vabaduse pst, Võru tn lõikudel. Mõõdetud tulemused ületasid tootja poolt väljastatud valgusti tehnilistes parameetrites välja toodud teepinna keskmise heledus  $L$  ( $\text{cd/m}^2$ ) väärtusi ( $0,98$ ), kuid teisalt jäid mõõdetud heleduse pikiühtlused ( $U_1$ ) reklaamitule ( $0,87$ ) alla.

**Tabel 5.** Välisvalgustuse võrdlustabel tänavate lõikes.

Tänav	Planeeritud väärtused vastavalt standardiklassile ME4b			Mõõtmised		
	L cd/m <sup>2</sup> vähimalt	U <sub>o</sub> vähimalt	U <sub>I</sub> vähimalt	L cd/m <sup>2</sup>	U <sub>o</sub>	U <sub>I</sub>
Puiestee tn	0,75	0,4	0,5	1,14	0,3	0,4
Narva mnt 1	0,75	0,4	0,5	1,01	0,4	0,2
Narva mnt 2	0,75	0,4	0,5	2,17	0,2	0,5
Kaunase pst	0,75	0,4	0,5	1,62	0,2	0,4
Vabaduse pst LED	0,75	0,4	0,5	1,36	0,8	0,7
Vabaduse pst HPS	0,75	0,4	0,5	1,80	0,7	0,8
Roopa tn 1	0,75	0,4	0,5	1,32	0,5	0,6
Roopa tn 2	0,75	0,4	0,5	2,25	0,4	0,8
Riia mnt 1	0,75	0,4	0,5	1,32	0,5	0,6
Riia mnt 2	0,75	0,4	0,5	2,39	0,6	0,7
Turu tn	0,75	0,4	0,5	2,07	0,5	0,6
Võru tn 1	0,75	0,4	0,5	1,25	0,5	0,5
Võru tn 2	0,75	0,4	0,5	3,40	0,8	0,9
Võru tn 3	0,75	0,4	0,5	2,35	0,6	0,6

Märkmed:

L cd/m<sup>2</sup> = teepinna keskmine heledus

U<sub>o</sub> = teepinna üldühtlus

U<sub>I</sub> = teepinna pikiühtlus

Roheline värv = vastab nõuetele

Oranž värv = ei vasta nõuetele

Hall värv = kõrgrõhu-naatriumvalgusti (*HPS – high-pressure sodium*)

Võrdlusmomendina tehti valgusmõõtmised Vabaduse puiesteel ka kõrgrõhu-naatriumlampide (*HPS*) all ning saadud tulemused annavad aimduse gaaslahenduslambi ning leedlambi erinevustest. Nimelt on valgusdiodlambi valgus ühtlasem (üldühtlus +0,1), kuid teepinna keskmise heleduse väärtus jääb naatriumlambile alla (-0,44). Leedvalgustuse ühtlust illustreerivad ka mõõteprotokollide perspektiivvaadetes nähtavad ühtlased, kuid teisalt madalad teepinna keskmise heleduse väärtusega värvid.

## 5. Arutelu

Käesolev uuring Tartu linna analüüsina kinnitab leedvalgustite sobivust laialdaseks rakendamiseks linnade tänavavalgustuses. Energiasäästu tingimustes on valgustid vastavuses kehtivate valgustusnormidega, leedlampidele üleminek tasub majanduslik ennast ära ligi 4 aastaga ning linnaelanikud eelistavad leedvalgustust, sealjuures ligi 89% vastanutest toetas leedtehnoloogia ülelinnalist kasutuselevõttu.

Selgus, et valdav enamik linnaelanikest polnud märganud ega õieti isegi näinud uusi leedvalgusteid. Ka varasemad uuringud tõendavad, et kodanikud ei pane tähele tehnilisi parandusi, kui nad just ei satu silmitsi ebameeldiva või radikaalse valguse ereduse või värvuse muutusega (Meier *et al.* 2014). Välisvalgustus pole tavaliselt ka kõige pakilisem avalik probleem, tõustes harva päevakorda prioriteetse poliitikaemana ning omavalitsused ei taha üldjuhul investeerida hiljuti testitud uudsetesse ja kallitesse leedvalgustitesse ning sellega seotud kontrollsüsteemidesse (Meier *et al.* 2014).

Ligi kaks kolmandikku antud uuringu küsitluses osalenutest kinnitas paranenud nähtavust ja turvalisust uute leedlampidega tänaval. Kuigi igapäevaselt jääb muutus tänavapildis märkamata, siis olukorda täpsemalt hinnates on erinevus selgelt olemas. Parem nähtavus on selgitatav sellega, et vanade naatriumlampide värviedastus on kehv: kollane valgus moonutab värve ning ei ole silmade jaoks loomulik (Willis *et al.* 2005). Valgusdiodlampide emiteeritav valgus vastab kuuvalgusele, mis on pimedal ajal meile palju naturaalsem (Meier *et al.* 2014). Lisaks on valgus ühtlasem, sest leedlampid sisaldavad palju tulukesi, mis suunavad valgust erinevates suundades (Meier *et al.* 2014). Paranenud turvalisus on selgitatav sellega, et suurem nähtavus võimaldab lihtsamini ära tunda teiste inimeste nägusid, mis tõstab inimeste turvatunnet (Van Bommel 2015). Samuti on teistes uuringutes leitud, et tänavavalgustuse uuendamisel on kasu piirkonna kuritegevuse vähendamisel ning elanike turvatunde suurendamisel (Willis *et al.* 2005, Welsh, Farrington 2008).

Uuringust sai kinnitust asjaolu, et hoolimata uute valgustite väiksemast võimsusest ja seeläbi ka energiakulust, vastavad uued lambid valgustugevuse poolest elanike ootustele ning on kooskõlas kehtivate nõuetega. Sealjuures kaks kolmandikku küsitluses osalenutest hindas, et uued leedvalgustid on sobiva valguse hulgaga ning valgusmõõtmistest lähtuvalt olid kõikide mõõdistatud tänavalõikude teepinna keskmise heleduse väärtused vastavuses kehtivate valgustandarditega. Teatavaid probleeme esines küll üldühtluse ja pikiühtluse väärtustega, kuid puudujäägid olid eelkõige tingitud puude varjudest ning teekatte ebahühtlusest. Peale selle

toimused valgusmõõtmised ajal, mil lambid põlesid 75% võimsusega ehk täisvõimsusel oleksid tulemused veelgi paremad. Samas võib väita, et Tartu elanike jaoks ei oma valgustite hämardamine kellaajast sõltuvalt suurt tähtsust, sest hommikul ja õhtusel tipptunnil, kui on tänavatel kõige rohkem liiklust, töötavad valgustid alati täisvõimsusel.

Majanduslikult tasub Tartus läbi viidud leedtänavavalgustuse projekt ära 4 aastaga, mis tõestab valgusdioodide majanduslikku konkurentsivõimet. Euroopa Liidus 14 erineva leedtänavavalgusti projekti tulemustest selgus, et keskmine tasuvusaeg oli projektidel 6 aastat (Valentová *et al.* 2012b). Kuna need projektid teostusid mitmete aastate eest, siis on loomulik, et valgusdioodide odavnemise tõttu on Tartu linna valgustusprojektist lähtuv tasuvusaeg lühem. Tartu tänavavalgustuse uuendamise tulemusena saavutatakse aastane elektrienergia kokkuhoid 411 720 kWh ning säästetakse 41 172 eurot aastas. Energia kokkuhoiust tingituna väheneb tänavavalgustuse uuendamise järgselt ka süsihappegaasi heide 374 tonni võrra. Samas iseloomustab projekti suur investeering, 200 000€, mida võib pidada üheks peamiseks põhjuseks, miks esineb valgusdioodlampe Eesti linnade tänavavalgustuses veel üsna vähe. Tartu linnas on välisvalgustuse uuendamine kujunemas priorieetseks strateegiliseks valdkonnaks, eesmärgiga viia kogu tänavavalgustus üle leedlampidele.

Tänavavalgustuse uuendamine leedvalgustitega on pälvinud linlaste positiivse vastuvõtu. Küsitluses osalenud tõstsid esile leedlampide valguse meeldivat valget värvust ning üldist paranenud nähtavust. Samuti on tähenduslik, et küsitluses osalenutest tervelt 89% pooldab linna täielikku üleminekut leedvalgustitele. Eesti kontekstis on valgustuse uuendustega kaasas käimine eriti vajalik rohke pimedaja tõttu, mistõttu kulutame suhteliselt suure hulga elektrienergiast välisvalgustusele. Linnavõimud on mõistnud, et leedtänavavalgustuse abil on oluliselt võimalik vähendada energiakulusid ning parandada elukeskkonda (Gil-de-Castro *et al.* 2013). Sarnaseid leedvalgustuse projekte on teostatud sealjuures mitmetes linnades üle maailma (Holman *et al.* 2009; Myer *et al.* 2010; Jessup *et al.* 2012; Royer *et al.* 2012; Valentová *et al.* 2012a).

Kahteist suurlinna hõlmanud globaalne leedvalgustite katsetamine andis käesoleva uuringuga ühtivaid tulemusi (Jessup *et al.* 2012). Selgus, et leedtänavavalgustus suudab energiakuludes säästa 50–70% ning isegi energiasäästu tingimustes ületasid enamik tooted kohalike valgustusnõudeid. Küsitlused Londonis, Sydneys, Torontos ja Kolkatas näitasid, et linnaelanikud eelistavad leedvalgusteid ning 68–90% vastajatest toetasid ülelinnalist leedvalgustite kasutuselevõttu. Küsitluses osalenud tõid dioodlampide peamiste eelistena välja

paranenud turvalisuse ja nähtavuse. Samuti jõudis eelnimetatud uuring järeldusele, et leedlambid on nüüdseks saavutanud tehnoloogiliselt ja majanduslikult piisava küpsuse, mis võimaldab neid laialdasemaks kasutamiseks enamikes välitingimustes, tuues sealjuures majandusliku ja sotsiaalse kasu massideni. (Jessup *et al.* 2012).

Valgusdiodlambid tõid märkimisväärset majanduslikku kokkuvõidu võrreldes kõrgrõhunaatriumlampidega USA-s Sunnyvale'i linnas (Holman *et al.* 2009). Leedlambi tüübist sõltuvalt kujunes lihtsasuvusajaks 4,9–6,1 aastat, olles seega sarnases suurusjärgus käesoleva töö tulemustega. Lisaks saadi linnas uute leedvalgustitega seoses positiivset tagasisidet linnaelanikelt ning tagatud oli valgustuse kvaliteet. Linnaelanike hulgas teostatud küsitlusuuringust selgus, et 79% eelistas valgusdiodide võrdluses naatriumlampidega. Uuringu järeldustes toodi esile, et leedtehnoloogia jätkab kiiret arengut, sest nende vastu on suur nõudlus, mistõttu on ilmne, et välja reklaamitud eelised muutuvad veel paremaks ka edaspidi. Samas leiti, et leedlampide laialdasema kasutuselevõtu puhul on tähtis asjaolu, et aja möödudes muutuks paremaks võime täpselt ennustada nende eluiga (Holman *et al.* 2009).

Californias Palo Alto linna leedprojekti hindamisel (Myer *et al.* 2010) toodi esile, et leedvalgustite ning just hämardamisega süsteemi kasutuse puhul jääb esialgu teadmatuks lampide pikaajaline töökindlus ning seda eriti olukorras, kus lampide toimimise aluseks on mitmed erinevad elektroonilised komponendid, mida pole pikemalt kasutatud. Samuti peetakse potentsiaalseks probleemiks, et valgustite hämardamise suhtes tekib kaebusi vähese valgustustaseme tõttu öösiti (Myer *et al.* 2010).

Seni puuduvad kohalikud omavalitsused, kes oleks suutnud oma aegunud valgustid täielikult leedlampide vastu välja vahetada. Gil-de-Castro *et al.* (2013) hinnangul nõuab tänavavalgustuse uuendamine suurt kapitali hulka ning ajakulu planeerimisel. Leedvalgustite kiiremaks turule sisenemiseks peab just avalik sektor olema leedvalgustite kasutuselevõtuga teistele eeskujuks (Euroopa Komisjoni 2011). Sarnasele seisukohale on jõudnud valgustuse globaalset turgu hinnates Baumgartner *et al.* (2011), kelle hinnangul on avaliku võimu algatused võtmetähtsusega madalama süsinikutarbega leedlambid laialdasemaks kasutuselevõtuks. See on ka loogiline, sest valdav enamik välisvalgustusest kuulubki avalikule sektorile. Samuti aitab valgusdiodide turuosa suurendada pidev surve riikide valitsustele, et need kliimapoliitika raames vähendaksid CO<sub>2</sub> heitkoguseid (Baumgartner *et al.* 2011).

Vogler *et al.* (2010) leiavad, et valgusdiodlampide ulatuslikku juurutamist hoiab peaaegselt tagasi valgustite liiga kõrge hind, vähene riiklik tugi ning ebakindlus kiirelt areneva tehnoloogia suhtes. Nende hinnangul saab neid puudujääke ületada tootjate, edasimüüjate ning avaliku sektori otsustajate koostöö tihendamiseks. On selgeid tõendeid, et viimaste aastate diodlampide kiire arenguga on keeruline sammu pidada ning on tekkinud olukord, kus regulatsioonid ja standardid ehk õiguslik pool ei suuda muutustega kaasas ning võib osutada innovatsiooni takistajaks (Cole, Driscoll 2014; Vogler *et al.* 2010).

Leedlampide juurutamisele avaldavad mõju ka riikidevahelised kokkulepped. Näiteks Euroopa Liidus on palju kõneainet tekitanud nn ökodisaini direktiiv (2009/125/EÜ), mis sätestab minimaalsed nõudmised ökodisainile, sealhulgas lampidele, ning suunab seeläbi lampide valmistajaid ja tarbijaid järk-järgult keskkonnasõbralikele toodetele. Aleksejeva (2014) lõputööst „Strateegiliste arengusuundade määratlemine Narva linna välisvalgustuse näitel“ järeldeb, et Eestis on linnavalgustuse üheks strateegilised ohuks välisvalgustussüsteemi olukorra vähene tähtsustamine riikliku tasemel. Loomulikult on Eesti kohalikele omavalitsustele murekohaks väike riigipoolne tugi situatsioonis, kus paljud neist vaevlevad rahapuuduses ning ainsaks pääseteeks investeringutel on laenu raha, kuid tuleb tõdeda, et päris vaeslapse ossa ei ole välisvalgustus siiski jäänud, sest nt Eesti Euroopa Liidu vahendite kasutamise eesmärkide ja oodatavad tulemused on energiatõhusus prioriteetne suund, mille arendamisel nähakse ette energiasäästumeetmete terviklahenduste toetamist, mille hulka kuulub ka tänavavalgustuse renoveerimine (Rahandusministeerium 2014a). See loob olulise eelduse üldise energiatõhususe ja madala süsinikumajanduse eesmärkide saavutamisel (Rahandusministeerium 2014a).

Käesoleva uuringu vajalikkust kinnitab leedvalgustuse jõudmine turul läbimurdepunkti. 2020. aastaks on oodata turu 60%-list laienemist (Jessup *et al.* 2012). Seetõttu on juba praeguses arengufaasis oluline selgitada valgusdiodide konkurentsivõimet võrdluses traditsiooniliste valgusallikatega. Antud uuringus vaadeldi seda nii sotsiaalses (linlaste küsitlus), majanduslikus (tasuvus) kui funktsionaalses võtmes (valgustatus). Töös kogutud andmed võimaldasid anda ülevaadet leedtänavavalgustuse praegusest seisust ning ka vastuse töö eesmärgile, milleks oli hinnata leedvalgustite sobivust ulatuslikuks kasutamiseks linnade tänavavalgustuses. Tartu on oma leedvalgustite projektidega eeskujuks teistele omavalitsustele, kes soovivad sarnast uuenduslikku tehnoloogiat oma välisvalgustuses kasutada.

Kindlasti vajab antud teema täiendavat uurimist. Tulevikku silmas pidades oleks oluline teada valgustite pikemaajalist töökindlust. Samuti on tegemist väga kiiresti areneva valdkonnaga, mistõttu tuleb tehnoloogiliste uuendustega pidevalt kaasas käia ning süsteeme ühildada. Tõenäoliselt pakuvad lähiaastail enim uurimusainet nn targad lambid, mis võimaldaksid leedvalgustite väikest energiakulu veelgi vähendada, kui võtta kasutusele kontrollsüsteeme ja sensoriprogramme (Hartley *et al.* 2009). Juba praegu on uuemate lahendustega võimalik valgusteid reguleerida vastavalt ilmale, liiklustihedusele või toimunud õnnetusjuhtumitele (Hartley *et al.* 2009).

## Kokkuvõte

Elektrihindade tõustes on tänavavalgustus muutunud kriitiliselt kulukaks paljudele omavalitsustele, mistõttu otsitakse järjepidevalt uusi lahendusi energiasäästuks. Moodsad, targa linna tehnoloogilised lahendused võimaldavad nutikat lähenemist energia kokkuhoiule, tegemata seda linlaste turvatunde ja liiklusohutuse arvelt. Käesolevas magistritöös analüüsiti esimest ulatuslikumat leedvalgustite projekti Tartu linnas, mille raames vahetati 2013. aasta suvel 470 naatriumtänavavalgustit leedlampide vastu. Linna lõppeesmärgiks on viia kogu Tartu linna tänavavalgustus üle valgusdiodlampidele, parandades selle tulemusel tänavavalgustuse energiatõhusust, tõstes tänavavalgustuse kvaliteeti, vähendades energiatarvet ning sellest tulenevalt ka keskkonnasaastet.

Töös viidi läbi küsitlusuuring linnaelanike seas, teostati tasuvusanalüüs ning tugineti valgusmõõtmiste andmetele, et hinnata Tartu linna kogemuse näitel leedvalgustite sobivust laialdasemaks kasutamiseks linnade tänavavalgustuses. Töö teoreetilises osas anti ülevaade tänavavalgustuse rollist öises linnaruumis, leedlampide ajaloost ning keskkonnamõjust. Seejärel üldistati Tartu tänavavalgustuse hetkeseisu ja arenguperspektiive juba teostunud ning kavandatud leedvalgustite projektide alusel. Uuring kattis linnataristu innovatsiooni ja tehnoloogiastiiret nii sotsiaalses (linlaste küsitlus), majanduslikus (tasuvus) kui funktsionaalses, tehnoloogilises võtmes (valgustatus).

Esiteks, Tartu linna näite alusel võib leedvalgusteid pidada sobivaks laialdaseks kasutuseks asulate tänavavalgustuses. Seda väidet toetasid töö tulemused: energiasäästu tingimustes on valgustid vastavuses kehtivate valgustusnormidega ning isegi olukorras, kus tänavate valgusmõõtmised teostati ajaperioodil, kui lambid põlesid 75% võimsusega. Seda enam on valgustusnormid täidetud hommikul ja õhtusel tipptunnil, mil valgustid töötavad täisvõimsusel.

Teiseks, leedlambid on majanduslikult konkurentsivõimelised, sest nendele üleminek tasub Tartu näitel majanduslikult ennast ära 4 aastaga. Välisvalgustuse uuendamise tulemusel säästab kohalik omavalitsus ainuüksi energiakulude vähenemise tõttu 41 172 eurot aastas ning sellega väheneb CO<sub>2</sub>-heide 348 tonni võrra.

Kolmandaks, küsitlusuuringu alusel saab väita, et linnaelanikud pooldavad leedvalgustuse juurutamist, sealjuures ligi 89% küsitluses osalenutest toetas leedtehnoloogia ülelinnalist kasutuselevõttu ning 76% vastanutest eelistas uusi leedvalgusteid võrdluses vanade kõrgrõhu-

naatriumlampidega. Küsitluses osalenud tõstsid esile leedlampide valguse meeldivat valget värvust ning üldist paranenud nähtavust.

Saadud tulemused on kooskõlas varasemate sarnaste uurimustega. Leedtehnoloogia kiiret arengut silmas pidades laienevad edaspidi kindlasti ka uurimisvõimalused. Käesoleval hetkel on küll üha enam omavalitsusi üle maailma asunud uudseid leedvalgusteid katsetama, kuid seni on laiahaardelisemat kasutuselevõttu takistanud eelkõige leedlampide kallidus. Samas on valgusdioodide hinnad järjepidevalt langenud, mistõttu on oodata leedtehnoloogia läbimurdelist linnavalgustuse turule sisenemist selle ja järgneva kümnendi jooksul.

# **The Implementation of Light-emitting Diodes to the Street Lighting of Tartu: a Case Study**

Markus Roose

## **Summary**

Street lighting has become an integral part of the urban environment to ensure a safe and secure movement of residents. Improved street lighting has also a key role in creating 24-hour cities, where the cityscape can be open and actively used regardless of the time of day. However, the costs associated with the illumination of the streets is increasing due to the energy prices and it has become a burden for many local governments, which continually seek new solutions to save energy.

The current paper concentrates on the introduction of light-emitting diode (LED) street lights in the city of Tartu, where 470 new lights were installed in 2013. The aim of this paper is to evaluate the suitability of the wide-spread use of light-emitting diodes in cities street lighting. The theoretical part of this study highlights the importance and role of streetlights in the night cityscape. Also, a brief overview of the history of LEDs and the environmental aspects of an LED street light is included.

This study shows that the initial LED installation will save the city nearly 41 000€ per year and reduces annual greenhouse gas emissions by 374 tonnes of CO<sub>2</sub>. The calculated simple payback of the LED project using a 15 year analysis period was 4 years, which makes LED seem like a economically viable option. In addition, the measured lighting levels were in accordance with national standards. Furthermore, street lighting upgrades gained positive reception from its citizens. The majority of respondents found the new lights appealing (91%) and they preferred the new lights to the old lights (76%). Also, they felt the lights had improved visibility (61%) and safety (59%). The vast majority of respondents interviewed (89%) were in favour of city-wide rollout of the technology.

The results are in accordance with research carried out by others. LEDs are acknowledged to be mature enough to be used in most outdoor applications, bringing the economical and social benefits to the masses. The city of Tartu will continue to replace high-pressure sodium lamps with LEDs, with the eventual goal of replacing all of the public lighting with LEDs, which leads us to believe that Tartus streetlight future will indeed be bright.

## **Tänuavaldused**

Suur tänu töö juhendajale Antti Roosele asjakohaste nõuannete ning abi eest. Samuti tänan meeldiva koostöö eest Tartu linnavalitsuse töötajaid, kes jagasid lahkelt nõu ning vajaminevaid andmeid.

## **Kasutatud kirjandus**

### **Trükitud väljaanded**

**Aleksejeva, R., 2014.** Strateegiliste arengusuundade määratlemine Narva linna välisvalgustuse näitel. Lõputöö. Tartu Ülikooli Narva Kolledž, Ühiskonnateaduste lektoraat, Narva.

**Baumgartner, T., Wunderlich, F., Wee, D., 2011.** Lighting the Way: Perspectives on the Global Lighting Market. Second edition. McKinsey, Company Inc, Munich.

**Boyce, P. R., Eklund, N. H., Hamilton, B. J., Bruno, L. D., 2000.** Perceptions of Safety at Night in Different Lighting Conditions. *Lighting Research and Technology* 32: 79–91.

**Cole, M., Driscoll, T., 2014.** The Lighting Revolution: If We Were Experts Before, We're Novices Now. *IEEE Transactions on Industry Applications* 50: 1509–1520.

**Cozens, P. M., Neale, R. H., Whitaker, J., Hillier, D., Graham, M., 2003.** A Critical Review of Street Lighting, Crime and Fear of Crime in the British City. *Crime Prevention, Community Safety: An International Journal* 5: 7–24.

**Dale, A. T. , Bilec, M. M., Marriott, J., Hartley, D., Jurgens, C., Zatcoff, E., 2011.** Preliminary Comparative Life-Cycle Impacts of Streetlight Technology. *Journal of Infrastructure Systems* 17:193–199.

**Eesti Standardikeskus, 2007.** Eesti Standard EVS-EN 13201-2:2007. Teevalgustus. Osa 2: Teostusnõuded. Tallinn.

**Elvik, R., Vaa, T., Hoye, A., Erke, A., Sorensen, M., 2009.** The Handbook of Road Safety Measures. 2nd revised edition. Elsevier, Amsterdam, 1124pp.

**Fotios, S., Unwin, J., Farrall, S., 2014.** Road Lighting and Pedestrian Reassurance After Dark: a Review. *Lighting Research and Technology* 0: 1–21.

**Gil-de-Castro, A., Munoz-Moreno, A., Larsson, A., de la Rosa, J., Bollen M., 2013.** LED Street Lighting: A Power Quality Comparison Among Street Light Technologies. *Lighting Research and Technology* 45: 710–728.

**Hartley, D., Jurgens, C., Zatcoff, E., 2009.** Life Cycle Assessment of Streetlight Technologies. University of Pittsburgh, Pittsburgh.

**Health, T., 1997.** The Twenty-four Hour City Concept. A Review of Initiatives in British Cities. *Journal of Urban Design* 2: 193–204.

**Holman, R., Gould, S., Ahnen, K., 2009.** LED Street Lighting. Final Report Prepared in Support of the City of Sunnyvale. De Anza College Environmental Studies Department, Sunnyvale.

**IEA, 2014.** Solid State Lighting Annex: Life Cycle Assessment of Solid State Lighting. Final Report. International Energy Agency 4E Solid State Lighting Annex Task 1, Paris.

**Islam, W., Rahman, S., Rahman M., Islam O., Mahmud, I., 2015.** Economic Feasibility of Solar Powered Street Lights. Department of Telecommunication and Electronic Engineering, Hajee Mohammad Danesh Science, Technology University, Bangladesh.

**Jessup, P., Finighan, R., Walker, J., Curley, P., Cai, H., 2012.** Lighting the Clean Revolution: The Rise of LEDs and What It Means for Cities. The Climate Group, London.

**Kiisk, V., Sildos, I., 2005.** Valgusdiodid: tööpõhimõte ja kiirguskarakteristikud. Praktikumi juhend. Tartu Ülikool, Materjaliteaduse Instituut, Tartu.

**Mars, M., Vilipuu, M., Aas, T., Pustõnski, V-V., 2012.** Valgusreostuse pikaajaliste muutuste uurimine Tallinnas ja valgusreostuse hetkeseisu määramine Eestis. Aruanne. Tallinna Tehnikaülikool, Füüsika instituut, Tallinn.

**Matsui, T., 2007.** A Study on a Street Lighting That Makes Change Illuminance is Effective for Both Reducing Fear of Crime and Saving energy. 26th Session of the CIE, China, Beijing.

**Meier, J., Hasenöhrl, U., Krause, K., Pottharst, M., 2014.** Urban Lighting, Light Pollution and Society. Routledge, New York, 324 pp.

**Myer, M. A., Kinzey, B. R., Tam, C., 2010.** Demonstration Assessment of Light-Emitting Diode (LED) Roadway Lighting on Residential and Commercial Streets in Palo Alto, California. Final Report Prepared in Support of the U.S. DOE Solid-State Lighting Technology Demonstration GATEWAY Program. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington.

**Rahandusministeerium, 2014a.** Ühtekuuluvuspoliitika fondide rakenduskava 2014-2020. Tallinn.

- Rink, B., 2013.** Infrastructures of Darkness and Light. RC21 Conference 2013, Berlin.
- Royer, M.P., Tuenge, J.R., Poplawski, M.E., 2012.** Demonstration Assessment of LED Roadway Lighting. Pacific Northwest National Laboratory, Philadelphia.
- Swanson, G., Carlson, C., 2012.** Cost-Benefit Analysis of Energy Efficient Technologies Available for Use in Roadway Lighting. Energy Management Solutions Inc., Chanhassen.
- Tartu linnavalitsus, 2012.** Tartu linna transpordi arengukava 2012-2020. Tartu.
- Transport for London, 2011.** LED Street Lighting Trial Assessment Report. FDS International Ltd., London.
- Valentová, M., Quicheron, M., Bertoldi, P., 2012a.** Public Procurement of LED Lighting in European Union Member States. JRC Scientific and Policy Reports. Joint Research Centre.
- Valentová, M., Quicheron, M., Bertoldi, P., 2012b.** LED Projects and Economic Test Cases in Europe. JRC Scientific and Policy Reports. Joint Research Centre.
- Van Bommel, W., 2015.** Road Lighting: Fundamentals, Technology and Application. Springer International Publishing, London.
- Van Liempt, I., Van Aalst, I., Schwanen, T., 2015.** Geographies of the Urban Night. *Urban Studies* 52: 407–421.
- Wanvik, P. O., 2009.** Effects of Road Lighting: an Analysis Based on Dutch Accident Statistics 1987-2006. *Accident Analysis, Prevention* 41: 123–128.
- Welsh, B. P., Farrington, D. C., 2008.** Effects of Improved Street Lighting on Crime. *Campbell Systematic Reviews*. The Campbell Collaboration, Oslo.
- Willis, K. G., Powe, N. A., Garrod, G. D., 2005.** Estimating the Value of Improved Street Lighting: A Factor Analytical Discrete Choice Approach. *Urban Studies* 42: 2289–2303.
- Vitta, P., Dabasinskas, L., Tuzikas, A., Petruilis, A., Meskauskas, D., Zukauskas, A., 2012.** Concept of Intelligent Solid-State Street Lighting Technology. *Elektronika ir Elektrotechnika* 10: 37-41.
- Vogler, O., Wee, D., Wunderlich, F., 2010.** LED at the Crossroads: Scenic Route or Expressway? McKinsey's LED Competence Center, Munich. *LED Magazine* 7: 66–72.

## **Internetiallikad**

**Covenant of Mayors (CoM), 2010.** How to Develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) – Guidebook. Publications Office of the European Union, Luxembourg. [http://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/004\\_Part\\_II.pdf](http://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/004_Part_II.pdf), 14.05.2015.

**Euroopa Komisjon, 2010.** Euroopa Komisjoni teatis KOM(2010) 2020 lõplik, 03.03.2010. Euroopa 2020. aastal. Aruka, jätkusuutliku ja kaasava majanduskasvu strateegia. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:2020:FIN:ET:PDF>, 19.02.2015.

**Euroopa Komisjon, 2011.** Euroopa Komisjoni roheline raamat KOM(2011) 889 lõplik, 15.12.2011. Valgustuse tulevik. Uuendusliku valgustustehnoloogia kasutuselevõtmise kiirendamine. <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2011/ET/1-2011-889-ET-F1-1.Pdf>, 17.02.2015.

**Euroopa Parlament ja nõukogu, 2009.** Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2009/125/EÜ, 21.10.2009, mis käsitleb raamistikute kehtestamist energiamõjuga toodete ökodisaini nõuete sätestamiseks. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009L0125&from=ET>, 22.02.2015.

**Lighting Urban Community International (LUCI), 2015.** The LUCI Charter on Urban Lighting. Promoting a Culture of Sustainability in Lighting. <http://www.luciassociation.org/wp-content/uploads/2015/01/23075-CHARTE-LUCI-ENGEXE.pdf>, 10.05.2015.

**OÜ Elektroskandia Baltics, 2013.** Elektroskandia ja KH Energia-Konsult võitsid Tartu tänavavalgustite hanke. <http://www.elektroskandia.ee/uudised/2013/elektroskandia-ja-kh-energia-konsult-voitsid-tartu-tanavavalgustite-hanke>, 15.02.2015.

**Rahandusministeerium, 2014b.** Ühtekuuluvuspoliitika Fondide rakenduskava meetmete nimekiri. [http://www.struktuurifondid.ee/public/meetmete\\_nimekiri\\_15\\_12\\_2014.xls](http://www.struktuurifondid.ee/public/meetmete_nimekiri_15_12_2014.xls), 18.02.2015.

**Tartu linnavalitsus, 2014b.** Tartu linna eelarve. [http://www.tartu.ee/?lang\\_id=1&menu\\_id=2&page\\_id=28](http://www.tartu.ee/?lang_id=1&menu_id=2&page_id=28), 16.04.2014.

**U.S. Department of Energy (DOE), 2013a.** Energy Efficiency of LEDs. [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led\\_energy\\_efficiency.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led_energy_efficiency.pdf), 10.05.2015.

**U.S. Department of Energy (DOE), 2013b.** The Street and Parking Facility Lighting Retrofit Financial Analysis Tool. <http://energy.gov/eere/ssl/retrofit-financial-analysis-tool>, 12.03.2015.

**U.S. Department of Energy (DOE), 2013c.** Guidance for Using the Street and Parking Facility Lighting Retrofit Financial Analysis Tool. [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/retrofit-financial-analysis-tool\\_guidance.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/retrofit-financial-analysis-tool_guidance.pdf), 12.03.2015.

**Woolcott Research, 2011.** Evaluation of Public Perceptions of LED Lighting Trials. City of Sydney and The Climate Group. <http://www.theclimategroup.org/assets/files/TCG-Public-Survey-City-of-Sydney.pdf>, 03.02.2015.

#### **Kasutatud andmed**

**Tartu linnavalitsus 2014a.** Tartu tänavavalgustuse üldkirjeldus .pdf formaadis.

**Tartu linnavalitsus 2014c.** 470 eeldimmerdatud valgusti tehnilised parameetrid .doc formaadis.

**Varjas, T., Armas, J., 2013.** Tänavavalgustuse valgusmõõtmised. Mõõtmistööde protokoll .pdf formaadis. Minotec DC OÜ, Tallinn.

## Lisad

Lisa 1. Leedvalgustite teemaline küsitlusuuring

### KÜSIMUSTIK

Palume Teil vastata küsimustele enda kui jalakäija seisukohast!

- 1. Kas Te olete märganud, et tänaval põlevad teistsugused valgustid kui mujal?**

Jah	<input type="checkbox"/> 1
Ei	<input type="checkbox"/> 2
- 2. Kas Teie arvates on uute leedvalgustitega üldine nähtavus tänaval paranenud või vähenenud?**

Oluliselt paranenud	<input type="checkbox"/> 1
Mõnevõrra paranenud	<input type="checkbox"/> 2
Ei tähelda erinevust	<input type="checkbox"/> 3
Mõnevõrra vähenenud	<input type="checkbox"/> 4
Oluliselt vähenenud	<input type="checkbox"/> 5
Ei oska öelda	<input type="checkbox"/> 6
- 3. Kas uued leedlambid valgustavad sobival määral või on valgus liiga ere või hämar?**

Sobiv valguse hulk	<input type="checkbox"/> 1
Pigem liiga ere	<input type="checkbox"/> 2
Pigem liiga hämar	<input type="checkbox"/> 3
Ei oska öelda	<input type="checkbox"/> 4
- 4. Kas Teie arvates pimestavad leedlambid rohkem või vähem võrreldes naatriumlampidega?**

Pimestavad palju vähem	<input type="checkbox"/> 1
Pimestavad mõnevõrra vähem	<input type="checkbox"/> 2
Ei tähelda erinevust	<input type="checkbox"/> 3
Pimestavad mõnevõrra rohkem	<input type="checkbox"/> 4
Pimestavad palju rohkem	<input type="checkbox"/> 5
Ei oska öelda	<input type="checkbox"/> 6
- 5. Kas Teie arvates on leedvalgustitega turvalisus tänaval paranenud või vähenenud?**

Oluliselt paranenud	<input type="checkbox"/> 1
Mõnevõrra paranenud	<input type="checkbox"/> 2
Ei tähelda erinevust	<input type="checkbox"/> 3
Mõnevõrra vähenenud	<input type="checkbox"/> 4
Oluliselt vähenenud	<input type="checkbox"/> 5
Ei oska öelda	<input type="checkbox"/> 6
- 6. Üldiselt, kas Teile meeldivad uued paigaldatud leedvalgustid?**

Meeldivad	<input type="checkbox"/> 1
Ei meeldi	<input type="checkbox"/> 2
Ei oska öelda	<input type="checkbox"/> 3
- 7. Kas Te eelistate pigem uusi leedvalgusteid või vanu kõrgrõhunaatriumlampe?**

Tugevalt eelistan uusi valgusteid	<input type="checkbox"/> 1
Mõnevõrra eelistan uusi valgusteid	<input type="checkbox"/> 2
Pole vahet	<input type="checkbox"/> 3
Mõnevõrra eelistan vanu valgusteid	<input type="checkbox"/> 4
Tugevalt eelistan vanu valgusteid	<input type="checkbox"/> 5
Ei oska öelda	<input type="checkbox"/> 6

Palun selgitage lühidalt oma sõnadega, miks Te eelistate uusi või vanu valgusteid?

.....

**8. Kuidas suhtute ideesse, et kogu Tartu linna tänavavalgustus läheb üle leedvalgustitele?**

- |                      |                            |
|----------------------|----------------------------|
| Tugevalt pooldan     | <input type="checkbox"/> 1 |
| Pigem poolt          | <input type="checkbox"/> 2 |
| Pole poolt ega vastu | <input type="checkbox"/> 3 |
| Pigem vastu          | <input type="checkbox"/> 4 |
| Tugevalt vastu       | <input type="checkbox"/> 5 |
| Ei oska öelda        | <input type="checkbox"/> 6 |

**9. Kas soovite omalt poolt midagi lisada leedvalgustitega seoses? (arvamusi, mõtteid või kommentaare)**

.....

.....

**Vastaja profiil:**

**10. Vanusegrupp:**

- |              |                            |
|--------------|----------------------------|
| (üli)õpilane | <input type="checkbox"/> 1 |
| Tööealine    | <input type="checkbox"/> 2 |
| Eakas        | <input type="checkbox"/> 3 |

**11. Sugu:**

- |       |                            |
|-------|----------------------------|
| Mees  | <input type="checkbox"/> 1 |
| Naine | <input type="checkbox"/> 2 |

**12. Kui tihti Te läbite keskmiselt antud tänavat pimedal ajal?**

- |                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Peaaegu iga päev    | <input type="checkbox"/> 1 |
| Korra nädalas       | <input type="checkbox"/> 2 |
| Kord kuus           | <input type="checkbox"/> 3 |
| Kord aastas         | <input type="checkbox"/> 4 |
| See on esimene kord | <input type="checkbox"/> 5 |

**13. Kas Te olete Tartu linna kodanik?**

- |     |                            |
|-----|----------------------------|
| Jah | <input type="checkbox"/> 1 |
| Ei  | <input type="checkbox"/> 2 |

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Markus Roose,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Leedtehnoloogial põhineva tänavavalgustuse arendamine Tartu linnas,

mille juhendaja on Antti Roose,

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **25.05.2015**