EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Janno Siil

Narva linna tänavavalgustus

Narva Town Street Lighting

Magistritöö
Energiakasutuse erialal

Tartu 2014

ABSTRACT

Siil. J. Narva Town Street Lighting. Master thesis. 3 copys. Tartu, 2014. 100 pages, 18 figures, 8 tables, format A4, In Estonian.

This thesis deals with the Narva town street lighting reconstruction planning. The work includes calculation of short-circuit currents and voltage drops. Requirements of street lightning system design are provided.

Overall description and quality of existing street lighting are presented. Consumption is calulated and 2012 year consumption is measured by electrical meter.

The aim is to find out how much energy is possible to save by using street lighting control and dimming system. How much is possible to save when replacing high pressure lamps with LED lights? In order to find out the amount of saved energy, lightning scenarios need to be developed. For the simplified and more efficient use of street lighting visualization system needs to be integrated.

Some examples for electrical drawings are given in Appendices.

Keywords: electrical energy, lightning control, LED lighting, high pressure sodium lamp, visualization system, street lighting, innovative lighting, smart street lighting.

SISUKORD

SISSEJUHATUS 6
1. TÖÖ EESMÄRK JA PÜSTITATUD ÜLESANDED 7
2. TÄNAVAVALGUSTUSE HETKE OLUKORD 8
2.1. Hetke olukorra hindamise metoodika 8
2.2. Üldandmed 8
2.3. Tänavavalgustuse kilbid 9
2.3.1. Fotoelement-juhtimissüsteem 9
2.3.2. Astronoomiline kell 10
2.3.3. Impulssjuhtimine 10
2.3.4. Tähelepanekud valgustuskilpides 11
2.4. Valgustusliinid 11
2.5. Valgustipostid 13
2.6. Valgustusmastid 13
3. TÄNAVAVALGUSTUSE UUENDAMINE 15
3.1. Tänavavalgustuskilpide rekonstrueerimine 15
3.1.1. Tänavavalgustuskilpide ülesehitus 15
3.1.2. Nõuded kilbile, arvestile, peakaitsmele 16
3.1.3. Kilbi tähistus 17
3.2. Kilbi juhtimis- ja kontrollseadmed 19
3.3. Tänavavalgusti punktipõhise juhtimise integreerimine 19
3.4. Valgustusmastide ja maakaabelliini rekonstrueerimine 20
3.4.1. Madalpinge maakaabelliinide üldnõuded 20
3.5. Tänavavalgustuse juhtimissüsteemi arendus 22
3.5.1. Tänavavalgustuse visualiseerimine 24
3.5.2. Süsteemi juhtimine 27
3.5.3. Häirete registreerimine ja edastamine 27
3.5.4. Andmeside turvalisus 28
4. LIINI ARVUTUSED 29
4.1. Lühisvoolude arvutused 29
4.1.1. Lühisvoolude arvutuse metoodika tänavavalgustuses 29
4.1.2. Lühisvoolude arvutus valgustuskilpides 31
4.1.3. Alajaama trafo näivtakistuse arvutus 31

4.1.4. Lühisvoolu arvutus valgustuskilbis ... 31
4.1.5. Lühisvoolu arvutused VK 23 liinilõpus ... 33
4.2. Pingekao arvutus ... 35
5. MAJANDUSARVUTUSED ... 38
5.1. Valgustite lülitusega saavutatav energia kokkuhoid ... 38
5.1.1. Valgustite kogu aasta energiakulu ... 38
5.1.2. Valgustuskilbi põhine dimmerdamine ... 39
5.1.3. Valgustipõhine dimmerdamine ... 39
5.1.4. Valgustite vahetamine LED-valgustite vastu ... 40
5.2. Valgustusmastide vahetuse orienteeruv kapitali mahukus ... 42
5.3. Tänavavalgustuse aastase säästu suunamine investeeringutesse ... 42
6. VALGUSARVUTUSED ... 44
6.1. Valgustuskilbi VK 23 näitel ... 44
6.1.1. Arvutused etteantud punktis ... 44
6.1.2. Pimedate tänavate valgustuse planeerimine ... 47
7. 2012 AASTA TARBIMISE ANALÜÜS ... 49
KOKKUVÕTE ... 51
KIRJANDUS ... 52
LISAD ... 54
Lisa A. ANDME TABELID ... 55
Lisa B. Illustratiivsed joonised ... 65
LISA C. DIALux Evo 3 tarkvarapaketi arvutuste aruandlus ... 81
LISA D. 2012 aasta tarbimisgraafikud ... 90
LISA E. JOONISED ... 97
Joonis E.1. Asendiplaan ... 97
Joonis E.2 VK 23 kilbiskeem ... 98
Joonis E.3. VK 23 automaatika skeem ... 99
Joonis E.4. VK 23 elektriskeem ... 100

TÄHISED JA LÜHENDID

A	–	tarbitav elektrienergia aastas, kW·h
aj	–	alajaam;
C	–	mahtuvus;
C_k	–	köisjuhtme spiraalsustegur;
C_p	–	pinnanähtust arvestav tegur;
C_θ	–	temperatuuritegur;
$\cos \varphi_k$	–	keskmine võimsustegur;
$\cos \varphi$	–	võimsustegur;
d	–	juhtme läbimõõt, m;
r'	–	juhtme raadius, m;
I	–	vool, A;
I_k	–	lühisvool, A;
T_C	–	temperatuur *Celciuse* kraadides, °C;
k_k	–	koormustegur;
L	–	pikkus, m;
n	–	juhtmete arv, tk;
P	–	võimsus, W;
P_n	–	nimivõimsus, W;
p_0	–	tuule erisurve, N/m^2;
R	–	takistus, Ω;
r_e	–	juhtme ekvivalentne raadius, m;
r_0	–	aktiivtakistus juhtme 1 km kohta, Ω;
r_{10}	–	liini 1 km aktiivtakistus, Ω;
rb	–	raudbetoonmast;
S_t	–	näivvõimsus, kV·A;
s	–	ristlõige, mm^2;
t	–	aeg, s;
U	–	pinge, V;
U_n	–	nimipinge, V;
VK	–	tänavavalgustuskilp
x_0	–	liini juhtme 1 km induktiivtakistus, Ω;
x_0'	–	liini väline induktiivtakistus, Ω;
x_0''	–	juhtme sisemine induktiivtakistus, Ω;
x_{10}	–	ühefaasilise liini 1 km reaktiivtakistus, Ω;
x_L	–	induktiivtakistus, Ω;
z	–	näivtakistus, Ω;
α_{15}	–	takistuse temperatuuritegur;
γ	–	erijuhtivus;
ρ	–	eritakistus, (Ω·mm^2)/m;

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritööga on analüüsitud Narva linna olemasolevat tänavavalgustust ning välja pakutud võimalik tänavavalgustuse arenduse suund. Narva linna tänavavalgustuse piirkond on esitatud joonisel 1.

Magistritöös on välja toodud tänavavalgususe kirjeldus, erisused ja põhimõtted ning liini-ehituses kasutatavatele põhimaterjalidele esitatavad ja muud vajalikud nõuded.

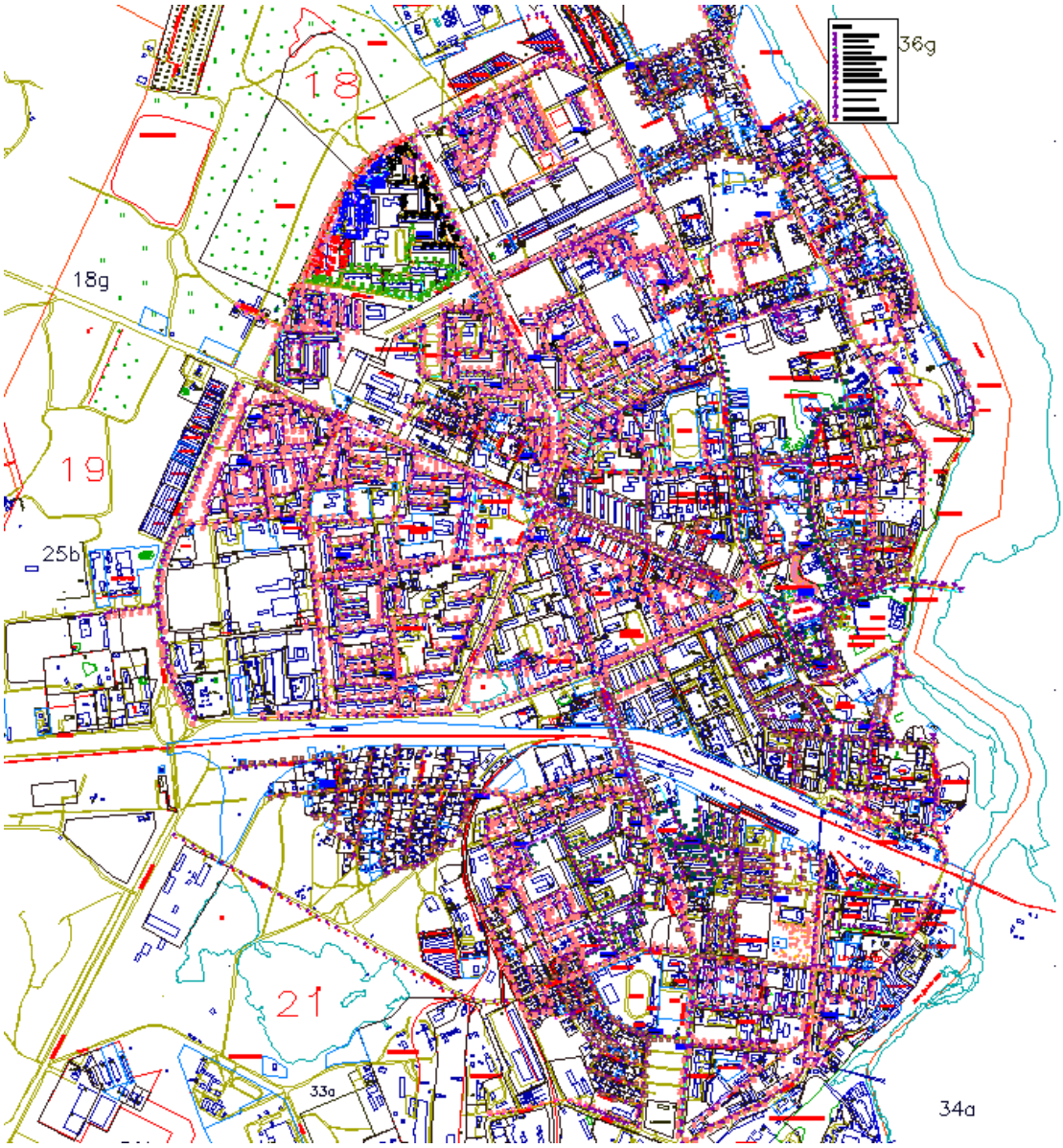
Joonis 1. Narva linna tänavavalgustuse piirkond.

1. TÖÖ EESMÄRK JA PÜSTITATUD ÜLESANDED

Käesoleva töö eesmärgiks on koostada kava Narva tänavavalgustuse korrastamiseks ning ülevaatliku valgustuse juhtimissüsteemi rajamiseks. Narva linna tänavavalgustuse plaan on esitatud joonisel 2.

Töö eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

- selgitada tänavavalgustuse hetke olukorda;
- olemasolevate valgustite paiknemise abil hinnata rekonstrueerimiskulusid;
- anda hinnang pimedate tänavalõikude valgustuse väljaehitamise kuludele;
- vähendada tänavavalgustuse püsikulusid parandades samaaegselt sotsiaalset turvatunnet.



Joonis 2. Narva tänavavalgustuse plaan.

2. TÄNAVAVALGUSTUSE HETKE OLUKORD

2.1. Hetke olukorra hindamise metoodika

Narva linnavalitsuse poolt lähtematerjalide hulka kuulusid 2005. aastal esitatud välisvalgustuse paiknemise joonis .dwg formaadis, tänavavalgustuse koondtabel ning valgustuskilpide tabelid paberkandjal. Lisaks veel VKG ehituse poolt teostatud parandustööd (Lisa B, joonis B1. VKG tänavavalgustuse parandustööde aruandlus).

Võttes aluseks välisvalgustuse paiknemise joonise said parema andmetöötluse eesmärgil AutoCAD keskkonnas koostatud dünaamilised plokid (Lisa B, joonis B2. Dünaamilistest plokkidest tingmärgid). Enamus valgusteid paikneb raudbetoon mastidel ning on üks valgusti masti kohta, seetõttu põhitingmärgiks sai dünaamilisele plokile omistatud üks valgusti raudbetoonmastil, millel on 150 W naatriumlamp ja mis asub linna territooriumil.

Antud joonise alusel sai teostatud visuaalne mastide kontroll, mille tulemusena selgus, et 2005. aastal esitatud joonisel puudus 187 vana raudbetoon mastiga valgustit, lisaks aastate jooksul uuendatud liinilõigud ja vahetatud mastid.

2.2. Üldandmed

Tänavavalgustuse liinide üldpikkus on umbes 112 km, kasutusel on enamasti õhuliini kaabel EX ALUS 4x25.

Valgustimastide arv on linnas 3 416, valgustuspunktide arv on 4 725 ja kasutusel on põhiliselt kõrgrõhu naatrium-gaaslahenduslambid võimsusega 150 W. Olemasolevad valgustid on Philips Malaga ja analoogsed valgustitüübid. Erandina kasutatakse mõne tänavalõigu ja pargi valgustitena LED valgusteid ning metallhaliid-lampe kirikute valgustamiseks (valgustite asukoha paiknemise leiab lisast A1, Tänavavalgustuse koondtabelist).

2.3. Tänavavalgustuse kilbid

Tänavavalgustuse juhtimiskilbid on enamuses amortiseerunud. Juhtimissüsteeme on kolme sorti. Esiteks fotoelement, teiseks astronoomiline kell ning kolmandaks impulssjuhtimine üle õhuliini teisest juhtvalguskilbist.

Mõiste *juhtvalgustuskilp* tähendab valgustuskilpi, mis edastab valgustuse juhtimiseks elektrisignaali selleks ettenähtud kaablisoones. Tänavavalgustuse kilpide tunnused ja aadressid ning kilbis rakendatud juhtimispõhimõtte leiab lisa A tabelist A1.

Fiidrite numeratsiooni ja kaitseaparatuuri tüüpide kirjeldust koos nimiandmetega ei ole võimalik teostada, tulenevalt sellest, et kahel kilbil oli olemas enam-vähem korrektne skeem ning 58-l kilbil puudusid nii skeemid ja kilbisisene markeerimine kui ka fiidrite füüsiline markeerimine liinidel. Sellest tulenevalt ei ole võimalik siduda fiidrite ees olevaid kaitseseadmeid konkreetsete fiidritega.

2.3.1. Fotoelement-juhtimissüsteem

Fotoelement-juhtimissüsteemi tööpõhimõte on lülitada tänavavalgus sisse ja välja vastavalt väljas olevale loomulikule valgusele. Üldjuhul on kilpides kasutusel fotoreleed reguleeritava valgusvoo tugevusega, mis tähendab seda, et on võimalik muuta tänavavalguse sisse- või väljalülitamise aega.

Fotoelement-juhtimissüsteemi plussid:

- iga valgustuskilp on isereguleeruv vastavalt kilbi piirkonnas olevale välisvalguse olukorrale.

Fotoelement-juhtimissüsteemi miinused:

- olukordades kus releede seadistus on erinevalt reguleeritud või fotoelement pealt määrdunud (näiteks tänava tolmuga), on üldise tänavavalgustuse sisselülitamise aegu võrdseks peaaegu võimatu sättida;

- reguleerimise võimalus soovitud kellaaja järgi soovitud piirkonnas puudub. Näiteks öösel teatud piirkonnas, kus tuled ei peaks põlema kell 24:00-06:00, ei saa neid reguleerida vastavalt vajadusele kasutades ainult fotoreleed.

2.3.2. Astronoomiline kell

Astronoomiline kell ehk astrokell võimaldab valgustite sisse- ja väljalülitamist antud piirkonnas vastavalt astronoomilisele pimedusele.

Lisavõimalusena võimaldab seade teha sisse- ja väljalülitamisi omakorda veel tava kellaaja suhtes (näiteks öösel 24:00-st kuni 06:00-ni).

Astrokella plussid:

- laialdane valgustite juhtimisvõimalus.

Astrokella miinused:

- iga paari aasta järel peab üle kontrollima kellaaja vastavuse.

2.3.3. Impulssjuhtimine

Impulsi saamiseks on mitmeid võimalusi. Jäädes Narva linna raamidesse, on kasutusel kaks varianti impulsi saamiseks: esiteks fotoelemendist ja teiseks astrokellast läbi juhtvalguskilbi.

Impulssjuhtimine on süsteem, kus tänavavalgustuskilp (edaspidi nimetatud VK) saab tulede sisselülitamiseks juhtimpulsi eelnevast VK-st. Praegu on Narva linna valgustusvõrgus selleks üks kaablisoon, mille kaudu jõuavad impulsid kilbist kilbini. Impulss omakorda juhib teises VK-s valgustite sisse- ja väljalülitamist. Sellise süsteemi puhul on VK sõltuv otseselt teise valguskilbi ja sinna vahele jääva tänavalõigu olukorrast.

Kokkuvõtlikult võib öelda, et terve kvartal võib jääda pimedaks:

- tulenevalt eelneva VK rikkest;
- juhtkilbi toitevoolu katkestusest;

- liinirikkest kahe VK vahel.

Impulssjuhtimise plussid:

- ühtlane valgustite sisselülitamine kogu juhtkilbi piirkonnas.

Impulssjuhtimise miinused:

- kogu kvartali pimedaks jäämise oht tulenevalt juhtkilbi rikkest;
- enamusel kilpidest puudub põhimõtteskeem.

2.3.4. Tähelepanekud valgustuskilpides

VK, mis asub Tallinna maantee sissesõidu peal (täpsemalt Statoili kõrval), on varustatud kontrolleriga ning GSM modemiga, kuid juhtimine käib olemasoleva fotoelemendi järgi. Tegemist on pilootprojektiga, mille kasutusse võtmine pole veel teostatud ning on jäänud ootama süsteemi juhtimise välja arendamist.

VK 6 asub piirivalve territooriumil. Ligipääs puudus.

VK 19 Thriumph bastion´i seisukord on järgnev: kaabel on varastatud ja kilbi uks kinnitatud poltidega, mistõttu hooldusfirma VKG elektri ehitusmees ligi ei pääse. Ka meie ei pääsenud ligi. Välja tuleks selgitada kilbi vajalikkus või kaaluda toiteskeemi ümberehitamise võimalusi.

VK 33 on selgete liiklusavarii tunnustega.

Toimuvad VK 53 Bastioni renoveerimistööd, mida valvab turvafirma. Seetõttu ei pääsenud olukorda fikseerima ei meie ega ka VKG elektri esindaja. Kilbile, kus asub Kadastiku tänava liitumine, ei võimaldanud VKG elektri ehitusmees meile ligipääsu.

2.4. Valgustusliinid

Valgustusliinide mastide tehniline olukord on halb, kuna enamus linnas asuvaid betoonmaste on amortiseerunud. Natuke parem on õhukaabelliinide olukord, kuna kogu linna haldusterritooriumil on välja vahetatud rikkekindlama isoleeritud õhuliini vastu

EX ALUS 4x25. Antud õhuliini kaabel on ka ohutum ümbritsevale keskkonnale tänavamasti murdumise korral. Õhuliinid on kaitstud välistegurite eest. Välisteguriteks on murdunud ja kukkunud oksad, mis vajuvad liinidele, või liiklusõnnetuse tagajärjed. Tulenevalt sellest, et ehitus on teostatud ilma igasuguse projekti dokumentatsioonita, on suur tõenäosus, et olukord ei vasta elektriohuseadusele. Tulenevalt ehitusaja mitteteadmisest ning dokumentatsiooni puudusest, ei saa teha perspektiivseid liini hoolduskulude ja amortisatsiooni kalkulatsioone.

Juriidilises mõistes on olukord halb, kuna liinid lõikuvad, ristuvad, ületavad ja asetsevad eraomanike maadel. Sellest tulenevalt on nii hooldustööd kui ligipääs raskendatud.

Eraldi probleemiks on Spordi tänav 2 majasein, kus on kasutusel maja pikkuse jagu amortiseerunud kaableid, mille ristlõige ei vasta põhiliini omale. Lisaks on tõsine rikkeoht majaseinal oleva valgusti ühenduskohas, mis on isoleeritud mitteilmastikukindla isoleermaterjaliga.

Valgustusliinide omandisuhe on ilmselgelt eraomanike kasuks, kuna umbes 1100 valgustit asuvad eramaal, mille elektri, õhuliini ja masti seisukorra eest peaksid hoolitsema eramaaomanikud, kuid see on linna bilansis ja seega linna hooldada.

Valgustiliinide üleandmine eraomanikele peab käima väga täpsetel alustel, vastasel korral võivad jääda mõned tänavalõigud ilma elektrienergia toitest.

Arvestades eramaal olevate valgustite asukohta nii kaardil kui looduses, peab kindlasti kohapeal üle vaatama eramaaomanikega kõik üleantavad mastid ja liinid. Kindlasti leidub selliseid valgusteid, mis valgustavad nii linnatänavat kui eramaad. Selliste juhtumite jaoks peab linn esitama varakult oma seisukoha, kas vaidlusalune valgusti läheb üle või mitte.

Kindlasti on ka selliseid eramaaomanikke, kellele linna poolt pakutava valguse äravõtmine ei ole probleem ning ei tekita pahameelt. Sellist tööd oleks majanduslikult otstarbekas teha kas kord kuus või pikema aja tagant vastavalt soovijate arvust.

Valgustiliinide nimistu ja omandisuhte eristus ning määratlus on välja toodud lisa A

tabelites Tänavavalgustuskilbid.

Valgustusliinide vanuse kindlaksmääramine on raskendatud, tulenevalt sellest, et puudub dokumentatsioon ehitusaja ja mahu kohta. Seetõttu võib öelda ainult hinnangulise vanuse, mis jääb 10-20 aasta vahele, kui olemasolevatel mastidel vahetati paljasjuhtmeline õhuliin EX ALUS 4x25 keerdkaabli vastu.

Lisaks on Lääne ja Rahu tänava ristis olevad reklaamtuled samuti toidetud läbi VK 25. Olemas on vahearvesti, ent siiski on kaheldav, et keegi on võtnud sealt näite ja teinud tasaarveldust.

2.5. Valgustipostid

Postide nimistu koos tunnuste, materjali ja lisakirjeldustega on lisa A andmetabelites, väljaarvatud postide vanus, mida ei ole täpselt võimalik kirjeldada ehitusdokumentatsiooni puuduse tõttu. Hinnanguliselt võib ainult oletada, et vanad raudbetoonmastid ning rauast valgustusmastid on paigaldatud 1960-1980-ndate aastate paiku. Sellest tulenevalt on maksimaalne vanus 54 aastat ja miinimaalne 34 aastat. Eeldatav mastide ekspluatatsiooni iga oli sellist tüüpi mastidel 40 aastat.

Postide eristus omandivormi suhtes ei ole võimalik tulenevalt sellest, et puuduvad ehitusdokumendid. Selle tõttu on võimatu täpselt hinnata omandi suhteid nii munitsipaal- kui jaotusvõrgu ja ka eraomandi suhtes. Võib oletada, et mastid, mille otsas on ainult valgustid ja valgustusliin, on linnaomandid ja valgustusliinid, mis asuvad jaotusvõrguga samal mastil, on jaotusvõrgu omandid. Juriidiliselt tuleb jaotusvõrguga lepingute põhjal välja selgitada ja kindlaks määrata, millised liinid kuuluvad jaotusvõrgule ning millised linnale.

2.6. Valgustusmastid

Tänavavalgustusmastidel puudub füüsiline eraldustunnus, mille järgi oleks võimalik identifitseerida valgustimaste. Olemas on dwg kaart, kus on numbrid peal, kuid selline ühepoolne identifitseerimine ei võimalda mõistlikult tänavavalgusteid ekspluateerida. Näiteks, kui mõnel tänaval ei põle valgusti või on vajalik mõni muu hoolduseks ettenähtud

töö, pole võimalik masti kohapeal identifitseerida. Sellest tulenevalt kulutatakse liigset ressurssi masti asukoha määramiseks linna territooriumil. Seega võib öelda, et puudub igasugune füüsiline mastipõhine ülevaade nii linnal kui valgustit hooldaval firmal.

Kui ühe valgusti valgusallikas põleb läbi 2 korda aastas, peaks välja vahetama kas valgusti elektroonse poole või terve valgusti (korpus-, valgusallika sokkel vigane), sest tegemist on ilmselgelt mingi muu defektiga kui valgusallikas.

Füüsilise valgustimasti markeerimine on hädavajalik linna valgustipargi selge ülevaate saamiseks. Ka parendus ettepanekute elluviimise eelduseks on füüsiline markeerimine.

Valgustusmastidena on kasutusel raudbetoon, malm, tsink, puit ja plastikust valgustimastid. Eelnimetatud mastid on amortiseerunud, kuna eeldatav raudbetoonmasti, puidu ja malmi ekspluatsiooniaeg on 40 aastat. Narva tänavavalgustus on rajatud aastatel 1960-1980, mistõttu võib öelda, et enamuse tänavavalgustuse mastide eluiga on möödas ja tuleb läbi viia uuendused.

Väike osa puitmaste on uuendatud viimase 20. aasta jooksul seoses avariide likvideerimisega või uue tänavavalgustuse rajamisega. Valgustusmastide uuendamisel peaks üle vaatama ka valgustusliinid. Linnaruumis peab kasutama maakaabelliini, sest see ei sea valgustite paigaldamisel erilisi tehnilisi ja omandiõiguse piiranguid võrreldes õhuliiniga, kus peaks olema tõmmits või tugi vastavalt liini tõmbele. Õhuliiniga tänavavalgustite toitmine suurendab olulisel määral mastide käituskulusid. Õhuliin on välisteguritele olulisel määral vastuvõtlikum, olgu selleks siis jäide, mis koormab õhuliine, või liiklusõnnetuse tagajärjel mastile otsasõit. Mastid vajuvad viltu ning seotuna kõrvalolevate mastidega saavad läbi õhuliini sisemisi konstruktsioonilisi vigastusi, mida esmapilgul ei pruugi näha.

Valgustusmastide korrastamise eesmärk on välja vahetada amortiseerunud mastid.

3. TÄNAVAVALGUSTUSE UUENDAMINE

Arvestades masti eluaeaga, 40 aastat, tuleb 90 % mastidest välja vahetada 20 aasta jooksul. Õhuliiniga raudbetoonmaste on võimalik asendada puitmastidega, kuid need ei sobi linna territooriumile.

3.1. Tänavavalgustuskilpide rekonstrueerimine

Esimeses etapis ehitatakse ümber valgustuskilbid, kuhu paigaldatakse kontrollerid ja dubleerivad arvestid. Rohkem kui ühe valgustuse grupiga kilbis mõõdetakse kogu tarbitavat võimsust. Juhtimissüsteemis valgustuse gruppide statistilised andmed energiakasutuses on arvutuslikud ning erinevate liinigruppide tarbimine visualiseerimise eesmärgil arvutatakse. Selleks, et arvutuslikult tarbitava elektrienergia koguseid visualiseerida, on vaja igale valgustile lisada näiteks *Philips Starsense* moodul, mille abil on võimalik iga valgustit eraldi dimmerdada ning hetkvõimsused leida dimmerdusastme järgi [1].

3.1.1. Tänavavalgustuskilpide ülesehitus

Kaablivõrgu korral monteeridakse mõõtekilp spetsiaalsele raamile, eraldi vundamendile või kinnitatakse transiitkilbi külge. Mõõtekilp peab sõltuvalt paigaldusviisist olema valmistaja poolt komplekteeritud vajalike liidestega ning omama vajaminevaid kaablite ühendusklemme [2].

Olemasolevad valgustuskilbid on enamasti paigaldatud kas alajaama seinale või esimese valgustusmasti külge. Maapinnal paiknevate kilpide maakaabelliini võrgus puudub kilbipõhjast kergkruus ning suurveede ajal võib kilpi sattuda vesi.

Paigaldatava mõõtekilbi ees peab olema teenindusruumi vähemalt 1 m, kilbi uks peab avanema vähemalt 120° [2].

Üldiselt on olemasolevatel valgustuskilpidel tagatud teenindusruum. On näha, et alajaamade ümbrust on korrastatud ning eemaldatud võsa.

Nõuded kilbile [2]:
Kilp peab olema varustatud lukuga vältimaks kõrvaliste isikute juurdepääsu. Välitingimustes kasutatav mõõtekilp peab olema valmistatud ilmastikukindlast materjalist (tsingitud metall, alumiiniumkest või plastik) ja värvituna omama soovitavalt UV-kindlat värvkatet.

Linnas leidub veel vanu tsinkimata metalliga olemasolevaid valgustuskilpe nagu näiteks VK 32. Valgustuskilbi VK 8 värv koorub ning kilp on tugeva korrosiooni kahjustusega.

Kilp peab olema ventileeritav ja võimaldama tekkinud kondensatsioonivee äravoolu.

Kilbi kesta kaitseaste peab olema sisetingimustes vähemalt IP 20 ja välistingimustes vähemalt IP 34D; avatud ukse korral vähemalt IP 20.

Peab olema tagatud arvestini kulgeva juhtmestiku plommitavus. Plommitavad peavad olema ka arvesti klemmliist, programmkell ja peakaitsmed.

Kilp koosneb arvestisektsioonist ning alumisest ja ülemisest ühendusruumist. Kilp peab mahutama vähemalt kahte kolmefaasilist induktsioonarvestit, programmkella, peakaitset, liinikaitsmed, kontaktoreid ja klemmliistu [2].

Uutel kilpidel on arvesti osa plommitud. Piisavalt ruumi on korrektsete ühenduste tegemisel.

Valgustuskilp peab vajadusel jääma toimima ka avariirežiimis ehk valgustite juhtimine ehitatakse üles kontaktorlülituste ning aegviite releedega. Hilisemas etapis lisatakse kontrollerid.

3.1.2. Nõuded kilbile, arvestile, peakaitsmele

Mõõtepunktide ehitamisel, rekonstrueerimisel või täiendamisel paigaldatavad seadmed peavad olema toodetud vastavalt IEC ja nõuetelt samaväärsete standardite (näiteks EN, DIN jne) kohaselt [2].

Kõik mõõtesüsteemi seadmed peavad taluma vähemalt 8 kV impulsspinget, kui üksikutele seadmetele pole eraldi kehtestatud kõrgemaid nõudmisi [2].

Liitumiskilbis kasutatav peakaitselüliti peab vastama IV liigpingeklassi (impulsspinge-taluvus 6 kV) nõuetele [2].

Liitumispunkti peakaitse peab olema C-rakendustunnusjoonega liigkoormus-kaitselüliti.

Juhi kaitseseade peab rahuldama kahte allolevat tingimust [2]:

1) $IB \leq In \leq Iz$, (3.1)

kus I_B on vooluahela arvutuslik vool;
I_n – kaitseseadme nimivool;
I_z – juhi kestvalt lubatav koormusvool.

2) $I2 \leq 1{,}45\ Iz$, (3.2)

kus I_2 on vool mis tagab kaitseseadme rakendumise etteantud aja jooksul.

Kollarohelise markeeringuga soont tohib kasutada üksnes kaitse- (PE-) või ühitatud kaitse- ning neutraal- (PEN-) juhina. Helesinise markeeringuga soont tuleb kasutada eelkõige neutraaljuhina (N), aga mõnikord võib kasutada ka teistel eesmärkidel, näiteks lülitusjuhtmetes. Kilpi siseneva kaabli isolatsioon peab olema eemaldatud 10…15 cm pikkuselt kaabli otsast [2].

Kilbisisese juhtmestikuna kasutada vaskjuhtmeid järgmiste ristlõigetega [2]:
peakaitsmete nimivooluga kuni 32 A – 6 mm²;
peakaitsmete nimivooluga kuni 63 A – 16 mm²;
peakaitsmete nimivooluga kuni 100 A – 25 mm².

3.1.3. Kilbi tähistus

Elektripaigaldise või –seadme tähistus annab käidu- või ohutusalast eriteavet kujutise, värvi, tingmärgi, numeratsiooni või kirje kombinatsiooni kaudu. Suletud elektrikäidualadel tuleb iga elektriseadme ruum tähistada väljaspool ruumi ning igale sissepääsule paigaldada

teabesilt ruumi identifitseerimiseks ja võimalike ohtude märkimiseks. Kõigile juurdepääsu-ustele ja välispiirdeaedade igale küljele tuleb paigaldada Euroopa Nõukogu direktiivi 92/58/EEC nõuetele vastavad kolmnurksed hoiatusmärgid [3].

Tähis peab olema valmistatud võimalikult purunemis-, ilmastiku- ja keskkonnakindlast materjalist. Välistähistuseks kasutada peale värvi ainult tugevat plast- või metallmaterjali, mis kinnitada ülesseadmiskohale neetimise või kruvikinnitusega. Võrgustandardis on tähistuste mõõtmete valikul lähtutud piisavast lugemiskaugusest [3].

Osadele uutele kilpidele on paigaldatud tehase poolt kolmnurkne elektriohumärk. Vanemat tüüpi kilpidele on peale värvitud elektriohusele viitav märgistus, aga seda ka mitte kõigil kilpidel, näiteks VK 11. Uuel valgustuskilbil VK 25 puudub elektriohumärk.

Tähise värvus ja paigalduskoht peavad tagama tema hea nähtavuse ja arusaadavuse. Nähtavuse tagamiseks paigutatakse tähis vaatenurga suhtes sobivale kõrgusele, vältides seejuures varjamist konstruktsioonielementide või seadmeosade poolt. Tähised aparaatidel ja seadmetel paigaldada eelkõige kohtadesse, mis on valmistaja poolt ette nähtud [3].

Üldjoontes valgustuskilpide tähistused on puudulikud. Uuemates kilpides on tähistused olemas – kasutusele võtuks on paigaldatud korrektne tähistus, aga kui seal on muudatusi tehtud, siis pole tähistusi uuendatud.

Reeglina näeb võrgustandard ette väliselektripaigaldistes kasutada musta kirja kollasel taustal. Erandina võib kasutada ka teisi värvikombinatsioone, eriti juhul, kui kvaliteetne tähis on imporditud seadmele valmistajatehase poolt kaasa komplekteeritud [3].

Kilpide markeerimisel on peale värvitud heleda taustaga kilbile musta värviga elektriohumärk. Rõhutamaks rohkem ohu olemasolu on hea, kui tähistused peale kilpide ülevärvimist rohkem esile toodaks.

Soovitavalt on sisepaigaldistes kasutatavate tähistuste värvilahenduseks tume kirje heledal taustal. Pealüliti tähistel on erandina lubatud kasutada teisi värvikombinatsioone [3].

Kõik kirjed maandusseadmete tähistustel peavad olema punast värvi. Punase värvi kasutamine teiste tähiste kirjena on keelatud [3].

Tähtede kõrgusele vastavaid soovitatavaid joonejämedusi vaata tabelist 3.1.

Tabel 3.1. Tähtede kõrgused tähistel

Tähe kõrgus H, mm	8 või 10	25	40	50	80	160
Joone-jämedus, mm	1…2	2…3	4…5	5…6	8…10	15…20

Ohumärkide maksimaalne äratundmiskaugus sõltuvalt märgi suurusest on toodud sotsiaalministri määruses nr 75 30. novembrist 1999. a "Ohumärguannete kasutamise nõuded töökohas".

3.2. Kilbi juhtimis- ja kontrollseadmed

Tänavavalgustuse kilbid varustatakse tulemüüriga kaitstud segmendi kontrolleritega. Segmendi kontrollerid registreerivad info ning jagavad käsklusi. Antud kontrolleriga võib ühendada kuni 4 000 erinevat kontrollerit, milleks võivad olla valgusti kontrollmoodulid, liikumisandurid, kaitsmete oleku kontrollerid, kaitsme lülitusajamid ja nii edasi. Kilbi uksed varustatakse tamperlülititega, mille hilisemal sidumisel valvesüsteemiga on võimalik saata häire turvaettevõttele, kui toimub autoriseerimata valgustuskilbi ukse avamine. Samuti paigaldatakse vibratsiooniandurid registreerimaks vandalismi või liiklusõnnetust kindla kilbiga. Antud häirete korral sõidab kohale turvafirma ning rikkemeeskond, et ära hoida võimalikku kahju valgustuskilbile ja kontrollitava piirkonna valgustusele.

3.3. Tänavavalgusti punktipõhise juhtimise integreerimine

Teises etapis tänavavalgustuse uuendamine kestab ning suuremas osas baseerub naatrium kõrgrõhulampidel, mille energiatarve on suur. Nende vahetamine LED-valgustitega ei tule kõne alla, kuna nende soetuskulud on suured ning töötavate kõrgrõhulampide ära viskamine on majandusliku mõtlemise seisukohast lubamatu. Tulenevalt antud faktidest on hetkel üleminek teist tüüpi valgustitele piiratud ning valgustuse juhtimine tuleks kohandada nii, et olemasolevatele valgustitele lisatakse moodulid, mis võimaldavad suhtlust üle andmesidevõrgu ning mida on võimalik kasutada ka uuete valgusti tüüpidega.

Sellise astmelise üleminekuga hajutatakse kulusid pikemale perioodile, kuid ei piirata pikemas perspektiivis energiatõhusamatele valgustitele üleminekut. Antud uuendus eeldab lisaks mastidele andmesidekaabelliini riputust, mille abil valgustite juhtimisega kilbi põhiselt on võimalik muuta valgustust energiatõhusamaks ning saavutada kokkuhoidu suuremate tänavavalgustuste ümberehitusteta.

3.4. Valgustusmastide ja maakaabelliini rekonstrueerimine

Kolmandas etapis vahetatakse täismahus välja olemasolevad õhuliiniga tänavavalgustuse mastid maakaabelliiniga metallmastidega. Lisaks maakaabelliinile paigaldatakse mastidele ka nõrkvoolu maakaabelliin, millega hilisemal juhtimissüsteemi arendamisel on võimalik valgustipunktipõhist juhtimist välja töötada. Kaabelliini paigaldamisel on otstarbekas välja ehitada või lisaks paigaldada reservtoru valgustuskilpide andmeside kaabli tarbeks. Võimalik on andmeside ühendus teostada GSM-modemi abil, kuid suure hulga valgustuskilpide ühendamisel mobiiltelefoni operaatori andmeside võrguga toob kaasa suuremad püsikulud. Püsikulude minimaliseerimisel on otstarbekas valgustuskilbid omavahel siduda andmeside kaabelvõrguga.

3.4.1. Madalpinge maakaabelliinide üldnõuded

Madalpinge kaabelliinid tuleb ehitada neljasoonelise, markeeritud neutraalsoonega alumiinium- või vasksooneliste kaablitega, kui pole esitatud erinõudeid. Kaablid peavad vastama standardile IEC 60502-1. Kaabli materjalid, konstruktsioon, omadused ja testid peavad vastama standardile CENELEC HD 603 [29].

Soovitatavad on polüvinüülkloriid- (PVC-) ja polüetüleen- (PE, PEX, PEH, XLPE) isolatsiooniga kaablid. Isolatsiooni struktuur peab takistama niiskuse levimist pikisuunas ja olenevalt paigaldustingimustest vajadusel ka ristisuunas. Tuleohtlikes ruumides eelistada tuld mitte levitava (PVC) isolatsiooniga kaableid [4].

Kaablisoone suurimaks lubatud temperatuuriks võtta [4]:

- kestval töövoolul PVC-isolatsiooniga +70 °C;
- (XL-)PE-isolatsiooniga pinnases +65 °C õhus +70 °C;

- lühisel 5 s jooksul PVC-isolatsiooniga kuni +160 °C (>300 mm² +140 °C) ja (XL-)PE-isolatsiooniga +250 °C.

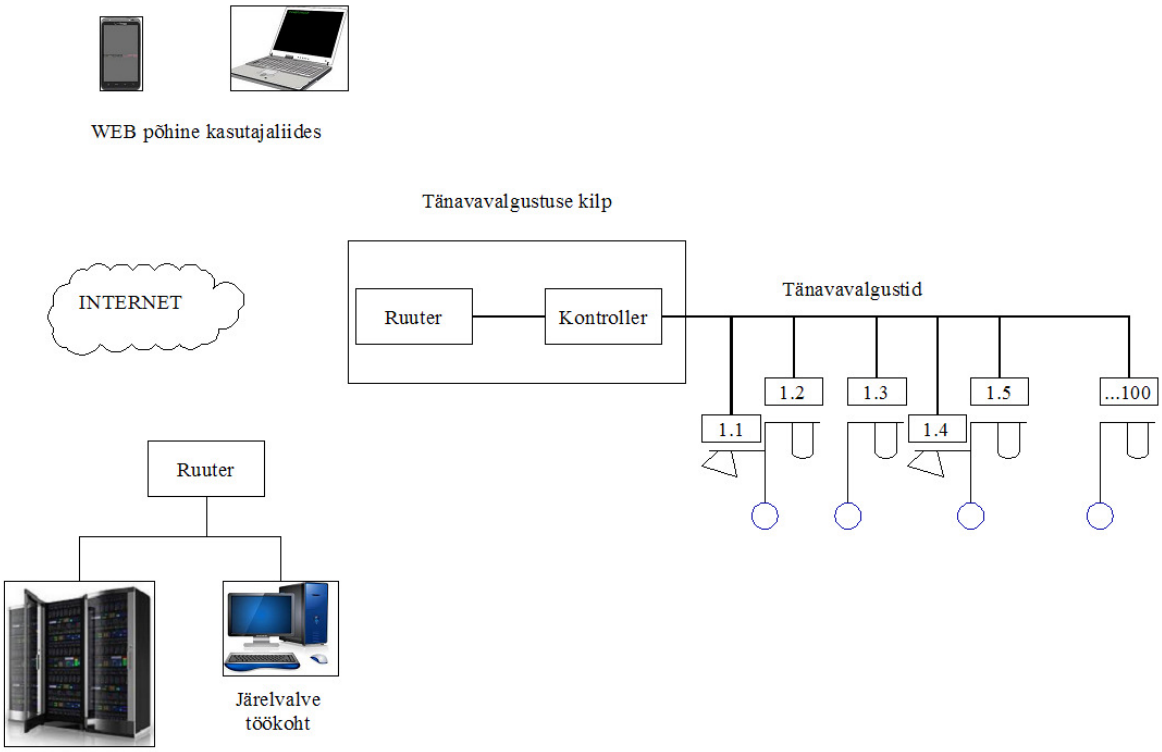
Kaabli ristlõige määratakse lähtudes lubatud pingekaost, arvestades, et kaitseaparatuuri rakendusvool ei ületaks antud paigaldustingimustes tootja poolt määratud (kataloogides antud) kestvalt lubatud väärtust. Kaitse nimivool määratakse lähtudes suurimast arvutuslikust töövoolust ja vähimast (ühe-) ning suurimast (kolmefaasilisest) lühisvoolust vastavalt lubatud soojenemistingimustele [4].

Tabel 3.2. Kaabli vahekaugused ja paigaldussügavused paigaldatuna torus või ilma toruta [4]

Nimetus	**Vahekaugus või sügavus, m**	
Pinnases	≥ 0,5 / ≥ 0,7	
Sõidutee, parkla, liiklemiseks avatud õu	≥ 1,0 / -	
Maantee- ja kuivenduskraavide põhjast	≥ 0,5 / -	
Puutüvedest	≥ 2,0 / > 2,0	
Künnimaa	≥ 1,0 / ≥ 1,0	
Alla 1 kV õhuliini mast	≥ 0,5 / ≥ 1,0	
	Paralleelkulgemisel, m	**Ristumisel, m**
Vee- ja kanalisatsioonitoru	≥ 1,0 / > 1,0	≥ 0,25 / ≥ 0,5
Sidekaabel	0,25…0,5 / > 0,5	≥ 0,15 / ≥ 0,5
Elektrikaabel nimipingega kuni 1 kV	≥ 0,07 / ≥ 0,1	≥ 0,1 / ≥ 0,1…0,5
Elektrikaabel nimipingega üle 1 kV	≥ 0,07 / ≥ 0,1	≥ 0,1 / ≥ 0,25…0,5

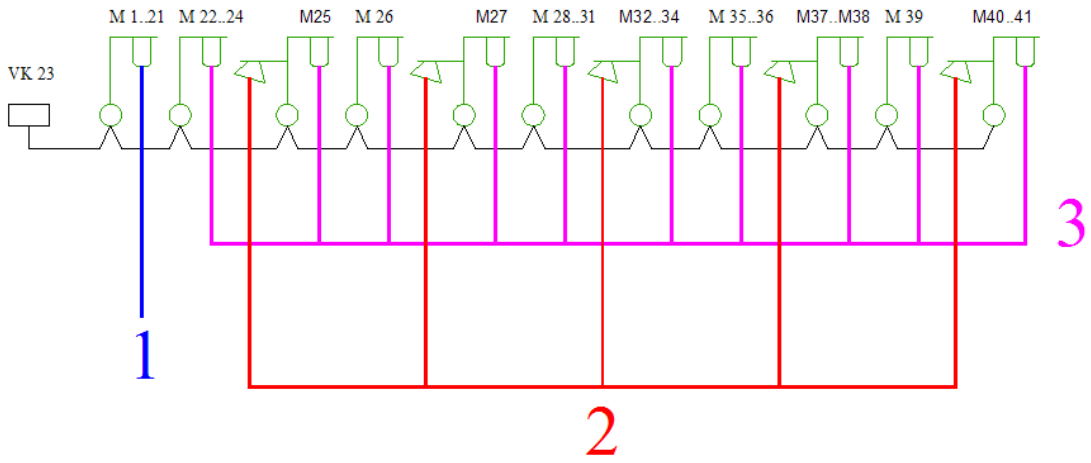
3.5. Tänavavalgustuse juhtimissüsteemi arendus

Neljandas etapis koondatakse tänavavalgustuse juhtimine ühte olemasolevatest Riigi Kinnisvara AS serveritest (TAC Vista, Honeywell, Siemens, Johnston Control). Järelvalvekeskusega ühendamisel kasutatakse avatud BACnet või avatud LonTalk protokolli. Joonisel 3.1 on näidatud tänavavalgustuse juhtimissüsteemi ülesehitus. Kasutades juba töösolevate süsteemide põhimõtteid on lihtsam integreerida tänavavalgustust juhtimissüsteemidega [5].



Joonis 3.1. Tänavavalgustuse juhtimissüsteemi ülesehitus

Punktipõhise valgustuse juhtimise rakendamisega saab ümber kujundada kogu valgustuse struktuurselt – rõhutades probleemsemaid ja suurema liiklustihedusega alasid. Joonisel 3.2 on ära näidatud tihedaliiklusega tänava ääres paiknevad valgustid (number 1), ülekäiguraja valgustus (number 2) ja magalate tänavate ning parklate valgustus (number 3). Praeguseks välja kujunenud ning ehitatud valgustuse gruppe ümber planeerimata on võimalik saavutada kokkuhoidu ja suurendada turvalisust. Valguslahenduse kujundamisel saavad kaasa rääkida arhitektid, linna kunstnikud, liiklusjärelvalve spetsialistid, linna kodanikud ja nii edasi, luues ühtsema ja kasutussõbralikuma keskkonna kõigile [6].



Joonis 3.2. Valgustite struktureerimine

Kogu linna valgustuse struktureerimiseks ei piisa kolmest alagrupist. Parema tulemuse saamiseks toon välja struktuuri, millest lähtuvalt on võimalik hinnata valgustuse vajalikkust ning otstarvet.

Tänavavalgustuse grupid:

- peatänavate ja linna läbivate magistraalide valgustus;
- ülekäiguraja valgustus;
- kõrvaltänavate ja magalate vaheline valgustus;
- parkimisalade valgustus;
- parkide ja mänguväljakute valgustus;
- skulptuuride ja hoonete valgustus;
- reklaamitahvlite ja bussipeatuste valgustus;
- kõrgema kuritegevuse ohuga piirkondade valgustus [6];
- suurema liiklusõnnetuste arvuga alade valgustus.

Ristumiste ja ristumisest järgnevatele valgustusmastide külge paigaldatavad liikumisandurid aitavad statistikat koostada inimeste ja autode liikumisest. Liikumisharjumuste analüüs võimaldab paremat valgustuse reguleerimist ning annab parema ülevaate tänavate koormusest.

Ainult astronoomilise kellaga valgustuse sisselülitamine ei ole õigustatud. Näiteks märtsi keskpaigas õhtusel ajal sompus ilmaga oleks vaja ülekäiguraja valgustus pool tundi varem

sisse lülitada, sest jalakäija ei tunne ennast piisavalt turvaliselt teed ületades, kuna pole kindel, kas autojuht märkab ülekäigurajal viibivat inimest või mitte. Antud juhul lisatakse juhtimissüsteemile fotoandurid, mille signaalide analüüsi abil lülitatakse varem tööle ülekäiguraja valgustus.

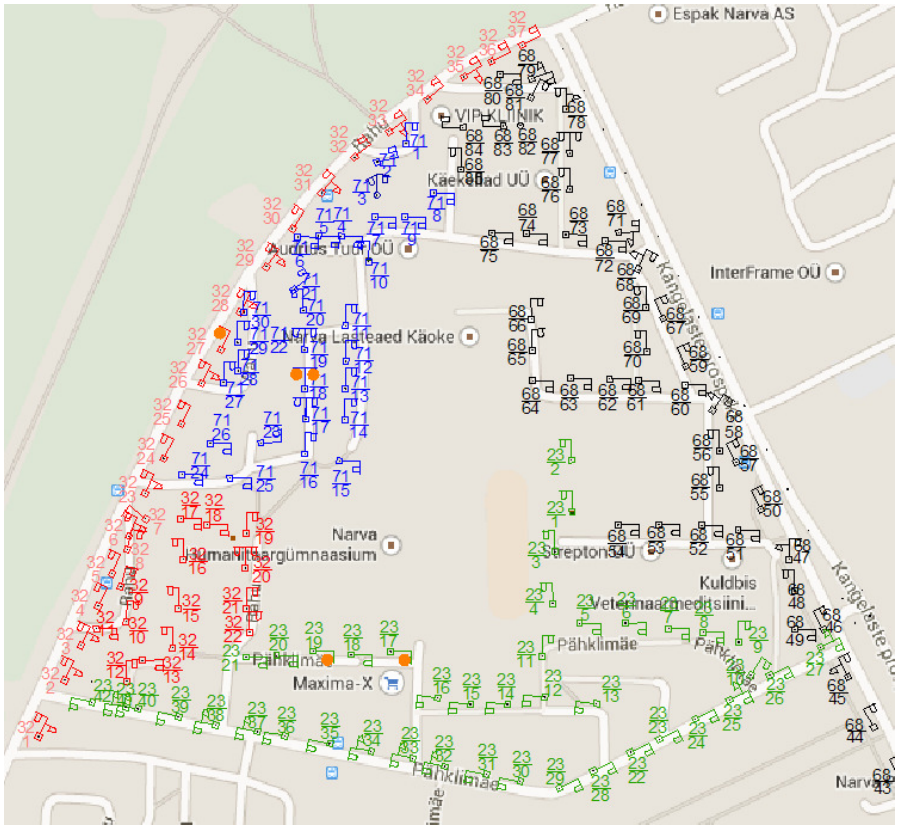
3.5.1. Tänavavalgustuse visualiseerimine

Objektil toimuvast kiiremaks ülevaate saamiseks visualiseeritakse valgustus ja valgustuskilbid Google Maps kaardirakenduse põhjale [7]. Kasutades kasutajasõbralikku kaardirakendust on töötajatel lihtsam tuttavas keskkonnas orienteeruda. Valgustite paiknemine koos numbritega on näidatud joonisel 3.3. Üksikuid valgusteid kuvatakse kaardil alates mastaabist 1:500. Väikesema mõõtkava korral kuvatakse valgustuskilp ja valgustusgrupid võrguna ning valgustid punktina vastavalt piirkonnale. Näitlik visualiseerimine joonisel 3.4 mastaapide 1:500 kuni 1:1 000 puhul. Veel väiksema mõõtkavaga kuvatakse ainult valgustuskilpide tähised [8].

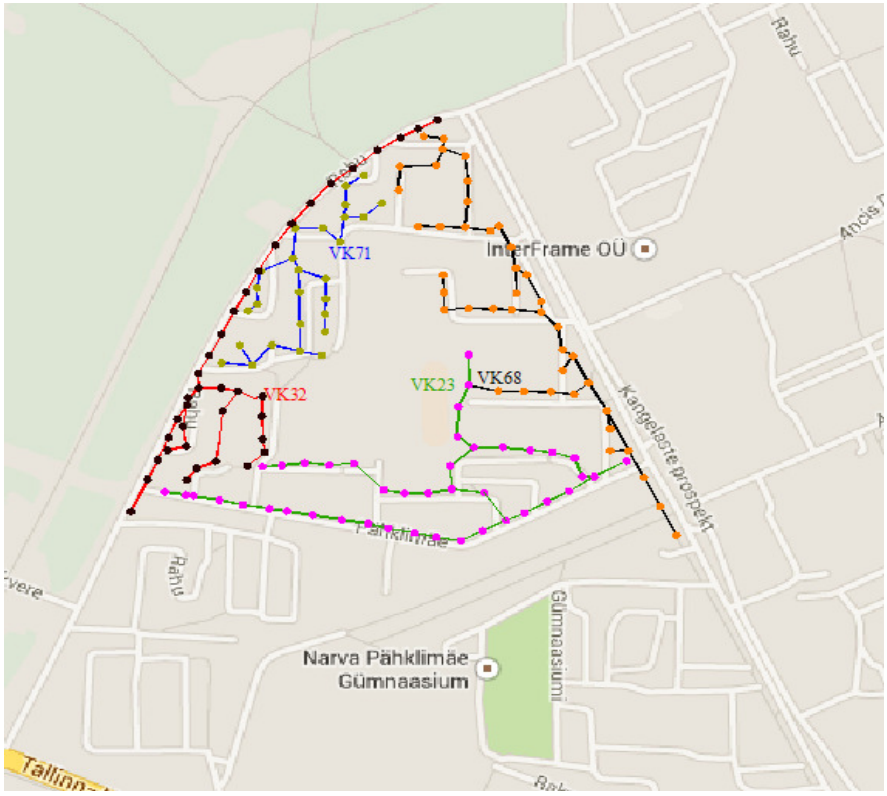
Tänavavalgustuse visualiseerimine tellitakse valitud visualiseerimistarkvarapaketi maaletooja käest. Tarkvarapaketi valikul tuleb lähtuda operatsioonisüsteemist. Visualiseerimistarkvara sidumisel objektiga tuleb arvesse võtta tellija soove ning antud töös käsitletud visualiseerimise struktuuri.

Tänavavalgustuse visualiseerimise eeltöö eesmärk on struktureerida piisavalt valgustuste lahendused luues parema ülevaate ametnikele, kes saavad tööd suunata lihtsama ja tõhusama tänavavalgustuse juhtimissüsteemi loomiseks. Lihtsa kasutajasõbraliku keskkonna loomine muudab efektiivsemaks valgustuse hoolduse ja töö koordineerimise ning annab ülevaate valgustusega toimuvast ja sinna kuuluvast kapitali mahust.

Valgustite grupeerimist, nimetust, dimmerdusastet, töötamist ja mittetöötamist ning valgustiga seotud probleeme on võimalik jälgida alates 1:500 mõõtkavast. Valgustus-kilpide tähistusel klikkimisel on võimalik valida valgustusgrupi vaatlemine elektriskeemi kujul, kus on võimalik täpsemaid valgusti parameetreid määrata. Elektriskeemi kujul välja toodud joonisel 3.6.

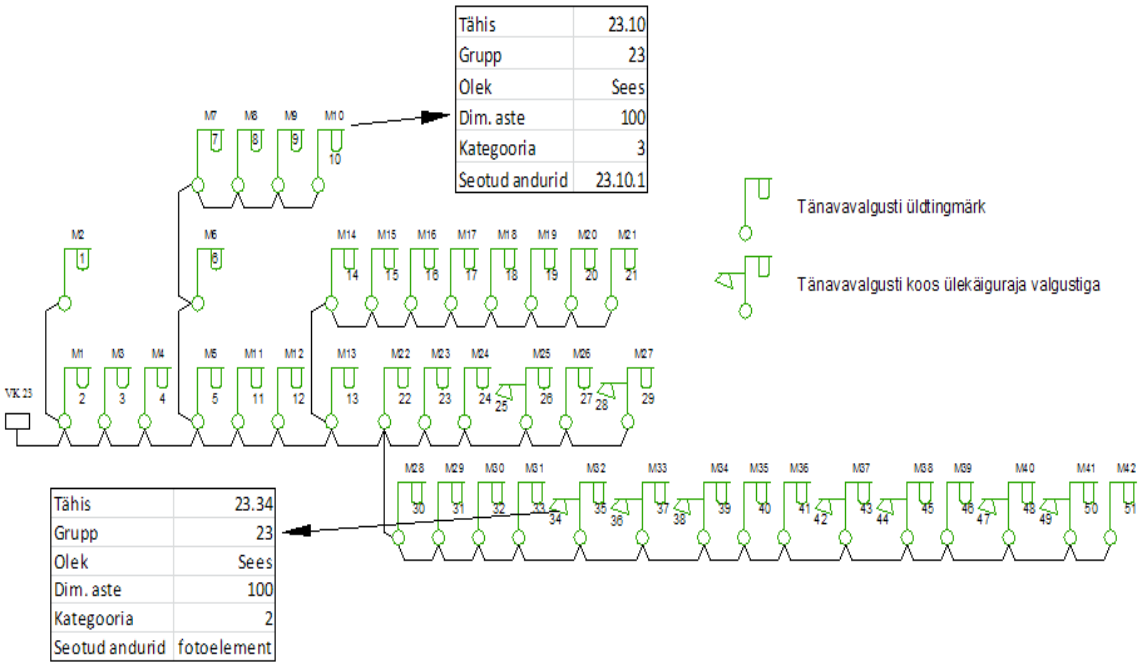


Joonis 3.3. Valgustite paiknemine Google Maps kaardirakenduse põhjal.



Joonis 3.4. Valgustusgruppide visualiseerimine mõõtkava vahemikes 1:500-1:1000.

Joonis 3.5. Valgustuskilpide visualiseerimine alates mõõtkavast 1:1000.



Joonis 3.6. Valgustusgrupi VK 23 vaatlemine elektriskeemi kujul.

3.5.2. Süsteemi juhtimine

Süsteemi administraatoril peab olema võimalik teha piiramatu hulk kasutajaid ning reglementeerida nende kasutusõigusi ekraanide ja parameetrite redigeerimise õiguse kaupa. Süsteemi kasutajaid on võimalik jagada erinevatesse kasutaja tasanditesse. Igal kasutajal on oma kasutaja tasand ja kasutajanimi, et kaitsta süsteemi kõrvaliste isikute juurdepääsu eest. Vastavalt kasutaja nimele saab kohe paika panna ka kasutaja keelelise eelistuse, see on oluline kuna tegemist on Narva linnaga ning VKG ettevõtte töötajad räägivad valdavalt vaid vene keelt. Igale käsklusele peab olema määratud kasutaja tasand nii, et ainult selle omaja saab konkreetset käsku edastada. Kasutaja tasandite kohta peavad arvutis olema loetelud.

Kasutaja tasandid:

- administraatori tasand, millega on võimalik juurde lisada kasutajaid ja muuta kogu infot ja ülesehitust;
- valgustuse struktuuri spetsialist, kes saab muuta kõiki parameetreid ja kasutajaid juurde lisada alates kontrollija tasandist alla poole;
- kontrollija tasand, millega saab tehniku tasandi kasutajate tööd kontrollida ning vea likvideerimisel kinnitada, et viga on eemaldatud; kontrollija saab juurde tekitada tehniku tasandi kasutajaid;
- tehniku tasand, millega saab valgusteid sisse-välja lülitada, kilpe valve alt maha võtta, vigade kontrollimisel ja vea parandamisel põhjenduse lisada;
- andmekoguja tasand, millega saab vaadelda tarbitavaid võimsusi ja valgustite olekuid.

Serveril peab olema ka veebipõhine haldusliides, millega on võimalik operatiivselt objektil kilpe valvest maha võtta ja valgustite kontrolltoiminguid teostada. Veebiliidesel peab olema ka võimalus saata probleemse valgusti koordinaadid näiteks telefoni gprs seadmele, et kuluks vähem aega valgusti otsimisele [8].

3.5.3. Häirete registreerimine ja edastamine

Häirete loetelu kuvatakse tabeli kujul. Häirete jälgimine peab olema vaadeldav nii ajalises järjekorras kui ka valgustuspunkti või -kilbi põhiselt. Häirete loetelu ajalugu peab olema vähemalt 1 000 häiret punkti kohta, et häirete analüüsil oleks võimalik parendusi sisse viia.

Häired prioriseeritakse:

- Registreerimata valgustuskilbi ukse avamine või vibratsiooniandur häire. Häire edastatakse turvaettevõttele koordinaadi täpsusega. Häire edastatakse ka rikkemeeskonnale.
- Kõrge tähtsusega häired, mis vajavad kohest reageerimist. Häired, mis ohustavad süsteemi töövõimet.
- Olulised häired, mis tuleb kõrvaldada esimesel võimalusel, näiteks valgustiga mingi probleem.

3.5.4. Andmeside turvalisus

Andmeside turvalisuse huvides tuleb välja ehitada valgustuskilpide, valgustite ja juhtserveri vahel eraldi seisev andmesideliin. Valgustuskilpide ja serveri vahele on otstarbekas paigaldada valguskaabelliin. Valgustite ja valgustuskilpide vaheline kaabeldus tuleks teostada andmeside kaabliga UTP CAT 6e. Eraldi magistraalliiniga vähendatakse andmepakkide võimalikku väärkasutust.

Andmeside seadmete ja keskserveri vahel peab olema krüpteeritud SSL-standardi alusel või samaväärselt.

4. LIINI ARVUTUSED

4.1. Lühisvoolude arvutused

4.1.1. Lühisvoolude arvutuse metoodika tänavavalgustuses

Üldine valem lühisvoolude arvutamiseks [9]

$$I^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3}\sum z} = \frac{U_f}{\sum z} = \frac{U_f}{\sqrt{\left(\sum r\right)^2 + \left(\sum x\right)^2}}, \tag{3.1}$$

kus $I^{(3)}$ on kolmefaasilise vooluringi lühisvool;

U_f – faasipinge, U_f = 230 V;

r – vooluahela aktiivtakistus, Ω;

x – vooluahela induktiivtakistus, Ω;

z – vooluahela näivtakistus, Ω.

Seega vooluahela lühisvoolu arvutamiseks on vaja leida selle kõikide osade takistused.

Trafo näivtakistus kolmefaasilise lühisvoolu puhul arvutatakse valemitega [9]

$$z_t^{(3)} = \frac{U_{k\%} U^2}{100 \cdot S_t}, \tag{3.2}$$

kus $z_t^{(3)}$ on trafo kolmefaasilise lühise näivtakistus, mΩ;

$U_{k\%}$ – trafo lühispinge;

S_t – trafo näivvõimsus, kV·A.

Trafo näivakistus ühefaasilise lühisvoolu puhul arvutatakse valemiga [9]

$$z_t^{(1)} = \frac{26\ 000}{S_t}. \tag{3.3}$$

Liini kolmefaasiline aktiivtakistus arvutatakse valemiga [9]

$$r^{(3)} = r_0 \cdot l, \tag{3.4}$$

kus r_0 on 1,0 km liini akiivtakistus, km·Ω.

Liini 1-faasiline aktiivtakistus arvutatakse valemiga [9]

$$r^{(1)} = r_0 \cdot 2l \,. \tag{3.5}$$

Liini aktiivtakistus 1 km kohta leitakse täpsemate arvutuste puhul valemiga [9]

$$r_0 = C_\vartheta \cdot C_k \cdot C_p \cdot \rho_{15} \frac{10^3}{s}, \tag{3.6}$$

kus C_υ on juhtme temperatuuri arvestav tegur;

C_k – tegur,mis arvestab köisjuhtmete kiudude spiraalsust, $C_k \approx 1{,}02$;

C_p – tegur, mis arvestab juhtmete pinnanähtust, värvilisest metallist juhtmete puhul on $C_p \approx 1$;

ρ_{15} – juhi materjali eritakistus temperatuuril 15ºC, Ω·mm^2/m.

Juhtme temperatuuri arvestav tegur arvutatakse valemiga [9]

$$C_\vartheta = 1 + \alpha_{15}(\vartheta - 15), \tag{3.7}$$

kus α_{15} on juhtmematerjali temperatuuritegur, α_{15}=0,004 K^{-1}.

Liini induktiivtakistus arvutatakse valemiga [9]

$$x = x_0 \cdot l \,. \tag{3.8}$$

Liini kolmefaasiline induktiivtakistus 1 km kohta arvutatakse valemiga [9]

$$x_0^{(3)} = 0{,}145(\lg \frac{a_k}{r_e} + 0{,}0157), \tag{3.9}$$

kus $x_0^{(3)}$ on 1 km kolmefaasilise liini induktiivtakistus, Ω/km;

a_k – juhtmetevaheline keskmine kaugus, mm;

r_e – ühe juhtme raadius, mm.

Liini ühefaasiline induktiivtakistus 1 km kohta arvutatakse valemiga [9]

$$x_0^{(1)} = 0{,}1256\ (\ln \frac{a}{r_e} + 0{,}0314\ ), \tag{3.10}$$

kus $x_0^{(1)}$ on 1,0 km ühefaasilise liini induktiivtakistus, Ω/km;

a – juhtmetevaheline kaugus, mm.

Lisaks juhtide takistustele tuleb arvestada ka kontaktide üleminekutakistusi r_k. Iga klemmi ja lüliti ühenduse kohta võetakse r_k = 0,015 Ω [9].

Näivtakistus leitakse valemiga [9]

$$z = \sqrt{r^2 + x^2}\ . \tag{3.11}$$

4.1.2. Lühisvoolude arvutus valgustuskilpides

Lühisvool VK 23 valgustuskilbis kulgeb läbi maakaabelliini ja jõutrafo alajaamas. Kõigepealt arvutatakse nende vooluringi osade näivtakistused ning siis lühisvool.

4.1.3. Alajaama trafo näivtakistuse arvutus

AJ-216 alajaama trafod on nimivõimsusega 400 kV·A, mille trafo näivtakistus leitakse kolmefaasilise lühisvoolu puhul valemi 3.2 järgi

$$z_t^{(3)} = \frac{U_{k\%} U^2}{100 \cdot S_t} = \frac{4{,}1 \cdot 400^2}{100 \cdot 400} = 16{,}4\ \text{m}\Omega\ .$$

Trafo näivtakistus ühefaasilise lühisvoolu korral arvutatakse valemiga 3.3

$$z_t^{(1)} = \frac{26\ 000}{S_t} = \frac{26\ 000}{400} = 65\ \text{m}\Omega\ .$$

4.1.4. Lühisvoolu arvutus valgustuskilbis

Kontrollime VK 23 kaitsme rakendumist, kui lühis toimub valgustuskilbis, selle tarbeks on

läbi tehtud all olevad arvutused.

Maakaabelliini 1 km liini aktiivtakistus kaabelliini maksimaalse lubatava temperatuuri 70ºC korral arvutatakse valemi 3.6 järgi, leides enne temperatuurist sõltuv tegur C_υ valemi 3.7 järgi.

$$C_\vartheta = 1 + \alpha_{15}(\vartheta - 15) = 1 + 0{,}0039\ (70 - 15) = 1{,}21,$$

$$r_0 = C_\vartheta \cdot C_k \cdot C_p \cdot \rho_{15} \frac{10^3}{s} = 1{,}22 \cdot 1{,}02 \cdot 1 \cdot 0{,}0280 \cdot \frac{10^3}{25} = 1{,}394\ \Omega \cdot \text{km}.$$

Maakaabelliini AXPK 4G25 kolme- ja ühefaasiline aktiivtakistus, kui kaabli pikkus on 0,01 km leitakse valemitega 3.4 ja 3.5

$$r^{(3)} = r_0 \cdot l = 1{,}394 \cdot 0{,}01 = 0{,}0139\ \Omega,$$

$$r^{(1)} = r_0 \cdot 2l = 1{,}394 \cdot 2 \cdot 0{,}01 = 0{,}028\ \Omega.$$

Maakaabelliini AXPK 4G25 kolme- ja ühefaasiline ühe kilomeetri induktiivtakistus, kui a_k = 11 mm ja r_e = 2,82 mm leitakse valemitega 3.8 ja 3.9

$$x_0^{(3)} = 0{,}145(\lg \frac{a_k}{r_e} + 0{,}0157) = 0{,}145 \cdot (\lg \frac{11}{2{,}82} + 0{,}0157) = 0{,}0880\ \Omega,$$

$$x_0^{(1)} = 0{,}1256\ (\ln \frac{a}{r_e} + 0{,}0314\ ) = 0{,}1256\ \cdot (\ln \frac{11}{2{,}82} + 0{,}0314\ ) = 0{,}175\ \Omega.$$

Maakaabelliini AXPK 4G25 kolme- ja ühefaasiline induktiivtakistus, kui kaabli pikkus on 0,01 km leitakse valemiga 3.10

$$x^{(3)} = x_0^{(3)} \cdot l = 0{,}0880 \cdot 0{,}01 = 0{,}00088\ \Omega,$$

$$x^{(1)} = x_0^{(1)} \cdot l = 0{,}175 \cdot 0{,}01 = 0{,}00175\ \Omega.$$

Maakaabelliini AXPK 4G25 kolme- ja ühefaasiline näivtakistus, kui kaabli pikkus on 0,01 km leitakse valemiga 3.11

$$z^{(3)} = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{(1{,}0176 + 0{,}015)^2 + (0{,}064)^2} = 1{,}35\ \Omega,$$

$$z^{(1)} = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{(2{,}04 + 0{,}015)^2 + 0{,}13^2} = 2{,}059\ \Omega.$$

Kolme- ja ühefaasilised lühisvoolud VK 23 valgustus kilbis on arvutatavad valemiga 3.1

$$I_k^{(3)} = \frac{U_f}{\sum z} = \frac{230}{0{,}03} = 7\ 666\ \text{A},$$

$$I_k^{(1)} = \frac{U_f}{\sum z} = \frac{230}{0{,}043} = 5\ 348\ \text{A}.$$

Alajaamas olevate sularitega gG50 rakendumisel probleeme ei ole, sest liin on lühike ning lühisvoolud suured.

4.1.5. Lühisvoolu arvutused VK 23 liinilõpus

Valgustuskilbist on viimase valgustini 730 meetrit AXPK 4G25. Leian lühisvoolu viimases valgustis 42.

Maakaabelliini AXPK 4G25 kolme- ja ühefaasiline aktiivtakistus, kui kaabli pikkus on 0,730 km leitakse valemitega 3.4 ja 3.5

$$r^{(3)} = r_0 \cdot l = 1{,}394 \cdot 0{,}73 = 1{,}0176\ \Omega,$$

$$r^{(1)} = r_0 \cdot 2l = 1{,}394 \cdot 2 \cdot 0{,}73 = 2{,}04\ \Omega.$$

Maakaabelliini AXPK4G25 kolme- ja ühefaasiline induktiivtakistus, kui kaabli pikkus on 0,730 km leitakse valemiga 3.10

$$x^{(3)} = x_0^{(3)} \cdot l = 0{,}0880 \cdot 0{,}73 = 0{,}064\ \Omega,$$

$$x^{(1)} = x_0^{(1)} \cdot l = 0{,}175 \cdot 0{,}73 = 0{,}13\ \Omega.$$

Maakaabelliini AXPK 4G25 kolme- ja ühefaasiline näivtakistus, kui kaabli pikkus on 0,730 km leitakse valemiga 3.11

$$z^{(3)} = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{(1{,}0176 + 0{,}015)^2 + (0{,}064)^2} = 1{,}35\ \Omega,$$

$$z^{(1)} = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{(2{,}04 + 0{,}015)^2 + 0{,}13^2} = 2{,}059\ \Omega.$$

Kolme- ja ühefaasilised lühisvoolud VK 23 mastis 42 on arvutatavad valemiga 3.1

$$I_k^{(3)} = \frac{U_f}{\sum z} = \frac{230}{0{,}03 + 1{,}35} = \frac{230}{1{,}38} = 167\ \text{A},$$

$$I_k^{(1)} = \frac{U_f}{\sum z} = \frac{230}{0{,}043 + 2{,}059} = \frac{230}{2{,}102} = 109\ \text{A}.$$

Valgustuskilpi VK 23 võib paigaldada arvestades lülitusel tekkivaid voolude kordsusi 20 A B-karakteristikaga kaitsme, mis rakendub ühefaasilise lühise puhul nõutud viie sekundi jooksul.

Ülejäänud arvutused on teostatud analoogselt ja on toodud välja lisa E elektriskeemi joonisel.

4.2. Pingekao arvutus

Kaablite ristlõiked valitakse pingekao ja lühisvoolude järgi liini lõpus. Arvestist elektritarvitini ei tohi pingekadu langeda alla 4 % [10].

Pingekao arvutamiseks 3-faasiliste tarbimise puhul juhtme lõigus avaldame valemiga [10]

$$\Delta U_{\%} = \frac{100 \cdot \rho \cdot \sum P \cdot l}{s \cdot U^2}, \tag{3.12}$$

kus s on juhi ristlõige, mm^2;

P – tarbitav võimsus, W;

l – kaabli pikkus, m;

ρ – juhi materjali eritakistus, ρ_{Al} = 0,0280 Ω·mm^2/m, ρ_{Cu} = 0,0172 Ω·mm^2/m;

U – liinipinge, V (400 V).

Pingekao arvutamiseks 1-faasiliste tarbijate puhul arvestatakse kahekordse liini pikkusega [10]

$$\Delta U_{\%} = \frac{200 \cdot \rho \cdot \sum P \cdot l}{s \cdot U^2}. \tag{3.13}$$

Kontrollime tegelikku pingekadu lõigus alajaamast kuni valgustuskilbini alumiiniumkaabliga AXPK 4G25, arvutuslikuks võimuseks on peakaitsme 3×13 A järgi 7 050 W

$$\Delta U_{\%} = \frac{100 \cdot 0{,}0280 \cdot 7\,050 \cdot 10}{25 \cdot 400^2} = \frac{197\,400}{4\,000\,000} = 0{,}05\ \%.$$

Kogu pingekao alajaamast kuni valgustikilbini leian valemiga 3.12, kuhu lisan trafo näivtakistuse 0,15, üleminekutakistused alajaama trafo klemmidel 0,015 Ω, SZ tüüpi kaitselüliti klemmidel kaks üleminekut kogutakistusega 0,030 Ω ja lülituskilbi klemmidel kaks üleminekut kogutakistusega 0,030 Ω

$$\Delta U_{\%} = \frac{100 \cdot (0{,}0280 \cdot 10 + 0{,}225) \cdot 7\,050}{25 \cdot 400^2} = \frac{35\,6025}{4\,000\,000} = 0{,}09\ \%.$$

Pingekadu valgustuskilbis on suhteliselt väikene, sest paikneb alajaama kõrval.

Leian valgustite pingekaod. Vaatluse alla võtan ühe faasi ning arvutused teostan iga kolmanda valgusti kohta valemiga 3.13, kuhu lisan trafo näivtakistuse, üleminekutakistused alajaama trafo klemmidel ja kaitselüliti klemmidel, valgustuskilbi klemmidel ning valgustite klemmidel.

Pingekadu valgustusmastis 3

$$\Delta U_{\%} = \frac{200 \cdot (0{,}0280 \cdot (10+40) + 0{,}225 + 0{,}03) \cdot 2300}{25 \cdot 400^2} = \frac{761\ 300}{4\ 000\ 000} = 0{,}19\ \%.$$

Pingekadu valgustusmastis 11

$$\Delta U_{\%} = \frac{200 \cdot (0{,}0280 \cdot 113 + 0{,}225 + 0{,}06) \cdot 2000}{25 \cdot 400^2} = \frac{1\ 379\ 600}{4\ 000\ 000} = 0{,}35\ \%.$$

$$\sum \Delta U_{\%} = 0{,}19 + 0{,}35 = 0{,}69\ \%.$$

Pingekadu valgustusmastis 22

$$\Delta U_{\%} = \frac{200 \cdot (0{,}0280 \cdot 231 + 0{,}225 + 0{,}09) \cdot 1250}{25 \cdot 400^2} = \frac{1\ 695\ 750}{4\ 000\ 000} = 0{,}42\ \%.$$

$$\sum \Delta U_{\%} = 0{,}19 + 0{,}35 + 0{,}42 = 1{,}11\ \%.$$

Pingekadu valgustusmastis 30

$$\Delta U_{\%} = \frac{200 \cdot (0{,}0280 \cdot 328 + 0{,}225 + 0{,}12) \cdot 950}{25 \cdot 400^2} = \frac{1\ 810\ 510}{4\ 000\ 000} = 0{,}45\ \%.$$

$$\sum \Delta U_{\%} = 0{,}19 + 0{,}35 + 0{,}42 + 0{,}45 = 1{,}56\ \%.$$

Pingekadu valgustusmastis 33

$$\Delta U_{\%} = \frac{200 \cdot (0{,}0280 \cdot 426 + 0{,}225 + 0{,}15) \cdot 800}{25 \cdot 400^2} = \frac{1\,968\,480}{4\,000\,000} = 0{,}49\ \%.$$

$$\sum \Delta U_{\%} = 0{,}19 + 0{,}35 + 0{,}42 + 0{,}45 + 0{,}49 = 2{,}05\ \%.$$

Pingekadu valgustusmastis 36

$$\Delta U_{\%} = \frac{200 \cdot (0{,}0280 \cdot 524 + 0{,}225 + 0{,}18) \cdot 550}{25 \cdot 400^2} = \frac{1\,658\,470}{4\,000\,000} = 0{,}42\ \%.$$

$$\sum \Delta U_{\%} = 0{,}19 + 0{,}35 + 0{,}42 + 0{,}45 + 0{,}49 + 0{,}42 = 2{,}47\ \%.$$

Pingekadu valgustusmastis 39

$$\Delta U_{\%} = \frac{200 \cdot (0{,}0280 \cdot 624 + 0{,}225 + 0{,}21) \cdot 300}{25 \cdot 400^2} = \frac{1\,074\,420}{4\,000\,000} = 0{,}27\ \%.$$

$$\sum \Delta U_{\%} = 0{,}19 + 0{,}35 + 0{,}42 + 0{,}45 + 0{,}49 + 0{,}42 + 0{,}27 = 2{,}74\ \%.$$

Pingekadu valgustusmastis 42

$$\Delta U_{\%} = \frac{200 \cdot (0{,}0280 \cdot 730 + 0{,}225 + 0{,}24) \cdot 150}{25 \cdot 400^2} = \frac{627\,150}{4\,000\,000} = 0{,}16\ \%.$$

$$\sum \Delta U_{\%} = 0{,}19 + 0{,}35 + 0{,}42 + 0{,}45 + 0{,}49 + 0{,}42 + 0{,}27 + 0{,}16 = 2{,}9\ \%.$$

Pingekadu liinilõpus tuli 2,9 %, mis on lubatust pingekaost väiksem.

Ülejäänud pingekaod on leitud analoogselt ja on toodud lisas elektriskeemil.

5. MAJANDUSARVUTUSED

5.1. Valgustite lülitusega saavutatav energia kokkuhoid

5.1.1. Valgustite kogu aasta energiakulu

Kasutades juba töös olevate süsteemide põhimõtteid on lihtsam integreerida tänavavalgustust juhtimissüsteemidega. Selleks vaatleme Narva linnas Narva Humanitaargümnaasiumi ümbritsevat valgustuse lahendust. Ala piiritleme Rahu, Kangelaste ja Pähklimäe tänavate ristumisega.

Jooniselt 3.3 on võimalik välja lugeda, et antud alale jääb 4 valgustuse gruppi. Valgustusgrupid 23, 32 ja 68 valgustavad nii sõiduteed kui ka kortermajade vahelisi parklaid ja sissesõiduteid. Grupp 71 valgustab ainult kortermajade vahelisi alasid. Põhitänavate valgustuseks on 60 valgustit ning hoonete vahelist ala valgustab 110 valgustit.

Pähklimäe, Kangelase ja Rahu tänava äärsed valgustid töötavad 20 % ajast 100 % võimsusega, 20 % ajast 80 % võimsusega ning 60 % ajast 50 % võimsusega. Korterelamute vahelisel alal rakendatakse säästurežiimi. Maksimum koormusel töötavad valgustid 20 % ajast ning säästurežiimil 80 % ajast. Valgustitena kasutatakse 150 W naatrium kõrgrõhulampe [11]. Võttes aastas valgustuse tööajaks 4 000 tundi, saame ilma valgusteid dimmerdamata tarbitava aastase elektrienergia

$$A = n \cdot (P \cdot t), \tag{4.1}$$

kus A on tarbitav elektrienergia aastas kW·h;

n – valgustite arv;

P – valgusti võimsus W;

t – valgustite tööaeg aastas h.

$$A = 170 \cdot 150 \cdot 4\,000 = 102\,000 \text{ kW·h}.$$

170 valgusti aastane tarbimine on 102 000 kW·h.

Rakendades näidispiirkonna põhjal arvutusmetoodikat kogu linnas, kus 90 % valgusteid on kõrgrõhulambid, leiame, et 4 250 valgusti dimmerdamata valgustite aasta tarbimine on:

$$A_k = 4\,250 \cdot 150 \cdot 4\,000 = 2\,550\,000 \quad \text{kW·h} = 2\,550 \text{ MW·h} .$$

5.1.2. Valgustuskilbi põhine dimmerdamine

Kasutades valgustuskilpide põhiseid lülitusi ja dimmerdusi näidispiirkonnas saame aastas tarbitava elektrienergia A_1:

$$A_1 = 170 \cdot [(150 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}6 \cdot 4\,000) + (150 \cdot 0{,}2 \cdot 1 \cdot 4\,000) + (150 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}8 \cdot 4\,000)] =$$
$$= 73\,440 \text{ kW·h} .$$

Kasutades valgustuskilpide põhiseid lülitusi ja dimmerdusi kogu linna jaoks saame aastas tarbitava elektrienergia $A_{kdim.}$

$$A_{k\,\text{dim}} = 4\,250 \cdot [(150 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}6 \cdot 4\,000) + (150 \cdot 0{,}2 \cdot 1 \cdot 4\,000) + (150 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}8 \cdot 4\,000)] =$$
$$= 1\,836\,000 \text{ kW·h} .$$

Saadav kokkuhoid aastas on 2 550 – 1 836 = 714 MW·h .

5.1.3. Valgustipõhine dimmerdamine

Kasutades valgustipõhiseid lülitusi ja dimmerdusi näidispiirkonnas saame aastas tarbitava energia arvestades, et tänava ääres paiknevad valgustid ja korterelamute ümbruses paiknevad valgustid töötavad erinevates režiimides:

$$A_{2.1} = 60 \cdot [(150 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}6 \cdot 4\,000) + (150 \cdot 0{,}2 \cdot 1 \cdot 4\,000) + (150 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}8 \cdot 4\,000)] =$$
$$= 25\,920 \text{ kW·h} ,$$

$$A_{2.2} = 110 \cdot [(150 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}6 \cdot 4\,000) + (150 \cdot 0{,}2 \cdot 1 \cdot 4\,000)] = 44\,880 \text{ kW·h} ,$$

$$A_2 = A_{2.1} + A_{2.2} = 70\,800 \text{ kW·h} \ .$$

Valemi põhjal selgub, et aastane elektrienergia kokkuhoid valgustusgrupi põhise juhtimisega on 102 000 – 73 440 = 28 560 kW·h. Valgustipõhise dimmerdusega on kokkuhoid 102 000 – 70 800 = 31 200 kW·h antud näite põhjal.

Kanname üle näidispiirkonna arvutusmetoodika kogu linnale, kus tänavate ääres paiknevaid valgusteid on 2 550 ning parklate ja magalate vahelistel aladel on valgustite hulk 1 700

$$A_{k.1} = 2\,550 \cdot [(150 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}6 \cdot 4\,000) + (150 \cdot 0{,}2 \cdot 1 \cdot 4\,000) + (150 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}8 \cdot 4\,000)] =$$
$$= 1\ 102\ 000 \quad \text{kW·h} \ ,$$

$$A_{k.2} = 1\,700 \cdot [(150 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}6 \cdot 4\,000) + (150 \cdot 0{,}2 \cdot 1 \cdot 4\,000)] =$$
$$= 571\,200 \text{ kW·h} \ ,$$

$$A_k = A_{k.1} + A_{k.2} = 1\,673{,}2 \text{ MW} \cdot \text{h} \ .$$

Kui kogu linna tarbimine on 2 550 MW·h, siis valgustipõhise dimmerdusega on kokkuhoid 2 550 – 1 673,2 = 876,8 MW·h kogu linna jaoks.

5.1.4. Valgustite vahetamine LED-valgustite vastu

Kõrgrõhulampide välja vahetamisel LED-valgustitega aastase elektrienergia kokkuhoiu saamiseks võtan samaväärseks naatriumlambiga, kuid parema valgusspektriga 90W LED-valgusti [12]. Saame valgustite aastas tarbitava elektrienergia näidispiirkonnas

$$A_3 = 170 \cdot 90 \cdot 4\,000 = 61\,200 \text{ kW·h} \ .$$

Kogu linna valgustuse LED-valgustitega asendamisel, saame aastas tarbitava elektrienergia

$$A_{kled} = 4\,250 \cdot 90 \cdot 4\,000 = 1\,530 \text{ MW} \cdot \text{h} \quad .$$

Valgustite välja vahetamisel LED-valgustitega näite põhjal on võimalik säästa 102 000 – 61 200 = 40 800 kW·h elektrienergiat. Terve linna valgustite välja vahetamisel LED-valgustitega saavutame 2 550 – 1 530 = 1 020 MW·h väiksema energia tarbimise aastas [13].

Saavutamaks suuremat energiasäästu, rakendame valgustipõhist juhtimist üle liikumisandurite, kus korterelamute vahelised valgustid 50% ajast lülitame üle ühe välja. Liikumisanduritega varustatud valgustid välja lülitatud olekus reageerivad tunnis 10 korda ning lülituvad 3 minutiks tööle.

$$A_{4.1} = 60 \cdot 90 \cdot 4\,000 = 21\,600 \text{ kW·h} \quad ,$$

$$A_{4.2} = 110 \cdot \left[(90 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 4\,000) + (90 \cdot 0{,}5 \cdot 4\,000)\right] = 29\,700 \text{ kW·h} \quad ,$$

$$A_4 = A_{4.1} + A_{4.2} = 51\,300 \text{ kW·h} \quad .$$

Kohandame terve linna valgustusele:

$$A_{k\,4.1} = 2\,550 \cdot 90 \cdot 4\,000 = 918\,000 \text{ kW·h} \quad ,$$

$$A_{k\,4.2} = 1\,700 \cdot \left[(90 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 4\,000) + (90 \cdot 0{,}5 \cdot 4\,000)\right] = 459\,000 \text{ kW·h} \quad ,$$

$$A_{k\,4} = A_{k\,4.1} + A_{k\,4.2} = 1\,377 \text{ MW} \cdot \text{h} \quad .$$

LED-valgustite juhtimisel saavutame näite põhjal säästu 61 200 – 51 300 = 9 900 kW h. Kogu linna valgustite juhtimisel saavutame kokkuhoidu 1 530 – 1 377 = 153 MW·h aastas.

Kokku LED valgustite kasutusele võtmisel saavutame kokkuhoidu 1 020 + 153 = 1 173 MW·h aastas.

5.2. Valgustusmastide vahetuse orienteeruv kapitali mahukus

Ühe valguspunkti rekonstrueerimine jätkusuutliku ettevõtte arenduse seisukohalt koos valgustusliinide, valgustimasti, valgustuse projekteerimise ja ehituse hinnaga oli 2013. aastal 1 800 eurot. Olemasolevate raudbetoon mastide vahetusel puitmastiga hinnati tööde maksumust koos mastiga 1 000 eurot.

Lähtuvalt hindadest on kogu tänavavalgustuse mastide vahetus puitmasti vastu maksumusega 3 074 000 eurot. Puitmastid ei sobi linna pilti ning sellest tulenevalt on vaja välja vahetada maakaabelliiniga metallmastide vastu. Hind amortiseerunud mastide vahetusel aastal 2013 hindade alusel on 5 533 200 eurot.

Antud hinnale lisandub veel pimedate tänavate valgustusele kuluv kapital, mida võib hinnata 1 296 000 eurole.

5.3. Tänavavalgustuse aastase säästu suunamine investeeringutesse

Ühe valguspunkti rekonstrueerimine koos valgustusliinide, valgustimasti, valgustuse projekteerimise ja ehitusega oli 2013. aastal 1 800 eurot. Arvestades erinevaid valgustusrežiime on võimalik säästa aastas 33 486 eurost kuni 55 013 euroni, tabel 5.1. Valides LED-valgustite juhtimisega saavutatav kapitali kokkuhoid, on võimalik aastas välja vahetada 30 amortiseerunud raudbetoonmasti. Ilma lisa kapitali suunamata tänavavalgustusse jõuaks valgustuspark uuendatud 114 aastaga.

Tabel 5.1. Tarbimine erinevates režiimides.

Jrk nr	Valgustuse režiim	Aastane tarbimine, MW h	Elektri ja võrguteenuse hind aastal 2013[14] €/(MW h)	Aastas makstav elektrienergia hind, €	Säästetav kapital, €	Aastane sääst, %
1	Tavarežiimis	2 550	46,9	119 595	0	0
2	Valgustuskilbi põhine dimmerdamine	1 836	46,9	86 108,4	33 486,6	28
3	Valgustipõhine dimmerdamine	1 673	46,9	78 463,7	41 131,3	34
4	LED-valgustus	1 530	46,9	71 757	47 838	40
5	LED-valgustus juhtimisega	1 377	46,9	64 581,3	55 013,7	46

Lähima 20 aastaga valgustuse uuendamine eeldab linna valgustuse rekonstrueerimisele suunatavat lisa investeeringut 230 000 eurot aastas. Siia juurde tuleb arvestada ka pimedate tänavate valgustuse projekteerimine ning ehituse osakaal 70 000 eurot aastas lisaks. Sellisel juhul oleks 20 aasta pärast valgustusmastid vahetatud ning pimedad tänavad valgustatud.

6. VALGUSARVUTUSED

Valgustus soovitused sõltuvad arvestusliku piirkonna geomeetriast, liiklusoludest ja ajafaktorist. Nende asjaolude kirjeldamine arvestusliku piirkonna jaoks ja liiklusparameetrite hindamine on liiklusametkonna ülesanne [15].

Kuna Narva linna territooriumil pole valgustusklassid määratud, siis arvutuste aluseks sai võetud standard CEN/TR 13201-1:2004 teevalgustus. Osa 1: Valgustusklasside valik.

6.1. Valgustuskilbi VK 23 näitel

Analüüsides tänava iseloomulikke parameetreid ning valgustusolukordi on antud tänavale valgustussituatsioon B2, mille alusel on valgusklass me3c, arvestades sõidukite arvu, tänava keerukust, liiklejaid ja liikumiskiirust.

Valgustuse arvutusel kasutatavad matemaatilised lihtsustused [16]:

- valgusti loetakse punktikujuliseks valgusallikaks;
- valguse peegeldumist ümbrusest ega mitmekordset peegeldumist ei arvestata;
- valgustite varjamist puude ega muude objektidega ei arvestata;
- õhu neeldumistegur on null;
- teepind loetakse tasaseks ja selle peegeldumise omadused kogu arvestusliku piirkonna ulatuses loetakse ühesugusteks.

6.1.1. Arvutused etteantud punktis

Ühest valgustist tingitud heledus etteantud punktis määratakse alljärgneva valemiga [17]

$$I_\alpha = I \frac{\Phi}{1\,000}, \tag{6.1}$$

kus I_a on punkti suunaline valgustugevus cd;

I – valgusti valguskõveralt leitud valgustugevused cd/klm;

Φ – valgusti lambi valgusvoo tugevus cd.

Ühe valgusti poolt esilekutsuv valgustustihedus etteantud punktis määratakse valemiga

$$E_A = \frac{I_\alpha}{r^2}\cos\alpha = \frac{I_\alpha}{h^2}\cos^3\alpha = \frac{I_\alpha h}{r^3}, \qquad (6.2)$$

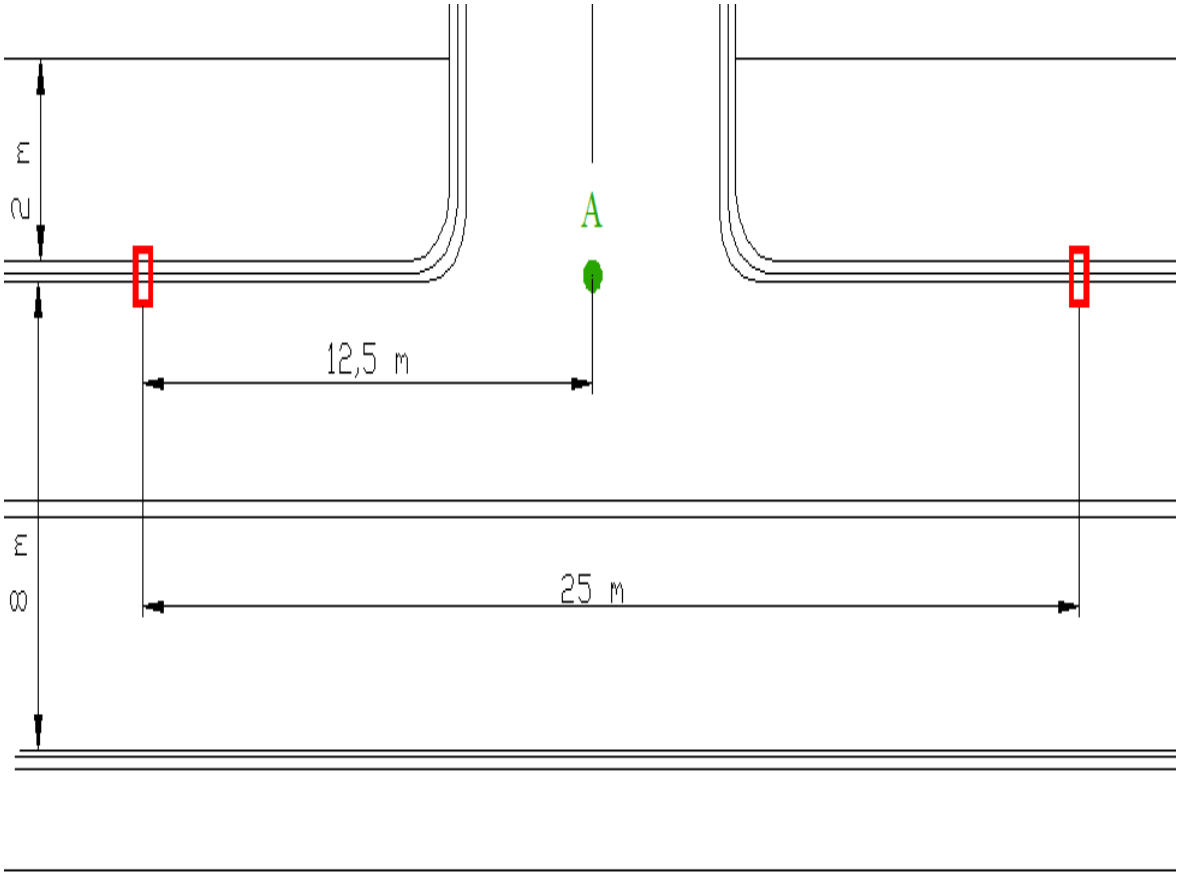
kus I_α on punkti A suunaline valgustugevus cd;

α – suunanurk kraadides;

r – valgustatava punkti ja valguskeskme vaheline kaugus m;

h – arvutuslik kõrgus m.

Arvutame Pähklimäe tänava kahe valgusti vahelise punkti suurused. Valgustite vahe on antud juhul 25 m, sest seal on hoovi mahasõit. Üldiselt on mastide vahe 30 m. Arvutatav punkt paikneb kahe masti vahel. Arvutus punkt A joonisel 6.1.



Joonis 6.1. Arvutuspunkti A paiknemine.

Valgustatava punkti ja valguskeskme vaheline punkt on leitud valemiga

$$r = \sqrt{h^2 + d^2} = \sqrt{10^2 + 12{,}5^2} = 16{,}01\,\text{m}. \tag{6.3}$$

Suunanurk kraadides on leitud valemiga 6.1

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{d}{r}\right) = \arcsin\left(\frac{12{,}5}{16{,}01}\right) = 51{,}33\,°. \tag{6.4}$$

Valgusti valgusjaotuskõveralt on leitud nurga juures 51,33° valgustugevus I = 320 cd/klm. Valgusti valgusvoog Φ = 11 329 lm.

Punkti A suunaline valgustugevus on arvutatud valemiga 6.1

$$I_\alpha = I\frac{\Phi}{1\,000} = 320 \cdot \frac{11\,329}{1\,000} = 3\,625{,}3\,\text{cd}.$$

Valgustihedus tee pinnal on arvutatud valemiga 6.2

$$E_{A1} = \frac{I_\alpha}{r^2}\cos\alpha = \frac{3\,625{,}3}{16{,}01^2}\cos(51{,}33) = 8{,}84\,\text{lx}.$$

Punkt A paikneb kahe valgusti vahel:

$$\sum E_A = E_{A1} + E_{A1} = 17{,}68\,\text{lx}. \tag{6.5}$$

Punktis A on valgustihedus tee pinnal 17,68 lx. DIALux Evo tarkvarapaketiga leitud tasapinna valgustihedus on natuke väiksem, kuna programm arvutab täpsemate tegurite abil.

DIALux Evo tarkvarapaketiga leitud tee ja kõnnitee aruandlus lisas C.

Arvutustulemuste põhjal on näha, et naatrium kõrgrõhuvalgustite vahetamine samaväärsete

LED-valgustitega Pähklimäe tänava mahasõidul on valitud valgussituatsiooni B2 ja mille alusel me3c valgustehnilised tingimused on täidetud. Valgustite paiknemine kogu tänava ulatuses, kus mahasõite pole, on 30 m ning siis pole me3c valgustehnilised tingimused täidetud. Aga kuna me3c tehnilised tingimused on mõeldud eeskätt mahasõitude ja ristumiste tõttu, siis võib tänava valgustehniliste tingimustena võtta me4b. Antud juhul täidetakse kõik tingimused. Arvutustes pole arvesse võetud olemasolevaid ülekäiguraja valgustusi, mis parendavad valgustuse näitajaid antud teelõigul.

6.1.2. Pimedate tänavate valgustuse planeerimine

Elektrijaama tee on on 8 km ulatuses valgustamata. Kasutades näidisarvutuses samu valgusteid, mida kasutati Pähklimäe tänaval olemasolevate valgustite võrdlusel. Tänava valgustussituatsioon on B2, mille alusel on valgustusklass me3c. Pähklimäe tänavaga võrreldes on Elektrijaama tee laiem, laiusega 10 m. Tänava arvutusel ei kajasta kohe kõrval paiknevat kõnniteed, vaid arvestame lähtuvalt teekoormatusest, et lähiajal ehitatakse antud tee kõrvale ka kergliiklustee, kus on sihtotstarbeline tänavavalgustus.

Valguse arvutuste tulemused on Lisas C.

Valgusarvutuse tulemustest võime välja lugeda, et ühtluse saavutamiseks on otstarbekas kasutada 12 m masti küljes paiknevaid valgusteid 40 meetrise sammuga. Valgustid paiknevad mõlemal pool teed. Sellega saavutatakse ühtlane valgustihedus ning värelus ei häiri autojuhtide silmi.

Kasutades võimsamaid valgusteid on võimalik valgustite vahelist ala suurendada, aga antud juhul muutub valgustuse räigus valgusti all nii palju suuremaks, et hakkab häirima liiklejate tähelepanu. Sellega seonduvalt pigem paigaldada valgusteid väiksema sammuga, et saavutada ühtlasem valguse jaotus. Väiksema sammuga pandud valgustimastidele võib võimsamad valgustid paigaldada, kui valgustusjuhtimisesüsteem on integreeritud kogu linna tänavavalgustusega. Sellisel juhul on võimalik valgusteid normaaltingimustel dimmerdades, ilma udu ja raskendavate ilmaoludeta, vältida räigust. Kui ilmastikuolud halvenevad udu või tuisu näol ning nähtavustingimused muutuvad raskemaks on võimalik dimmerdusega parendada hetke olukorda.

Valgustuse projekteerimisega arvestatakse valgustussituatsioonidest tuleneva valgus-klassiga, kuid ei nähta ette valgustusele lisa võimsust, võimalike halvemate ilmatingimuste tarbeks. Valgusarvutuste tulemus siiski arvestab enam valdavaid ilmastikuolusid ning reserve valgustusele ei jäeta. Kui aga juhtimissüsteemi piisav paindlikkus seda võimaldab, siis saab valgustuse projekteerida ja ehitada välja näiteks raskusastmelt klass kõrgemal asetseva tänava tüübile, millega on võimalik parendada nähtavust siis, kui üldjuhul tänavavalgustus seda ei võimalda.

7. 2012 AASTA TARBIMISE ANALÜÜS

Linna välisvalgustuse 2012 aasta tarbimise graafikutelt, Lisa D., tarbimisgraafikutelt võib välja lugeda, et aasta 2012 lõikes valgustuste vahetamisel kokkuhoidu märgatavalt pole saavutatud. Minimaalne öine ja päevane tarbimine on juuni kuus, kui päevane tarbimine on 4 886 kW·h ja öine tarbimine on 83 504 kW·h. Maksimaalne tarbimine on aasta lõpus detsembri kuus, kui päevane tarbimine on 125 665 kW·h ja öine tarbimine 223 510 kW·h.

Välja on toodud graafilises osas ka 46 % tarbimise kahanemise graafikud, kui kogu valgustus vahetatakse LED-valgustite vastu ning rakendatakse valgustuse juhtimissüsteemi läbimõeldult.

Kõige suurem muutus aastalõikes toimub valgustuskilbi VK 23 tarbimisgraafikul. Aasta alguses jaanuari kuu päevane tarbimine on 2 262 kWh ja öine tarbimine 4 054 kW·h. Minimaalne tarbimine jääb juuni kuusse, kus päevane tarbimine on 19 kW·h ja öine tarbimine 1 612 kW·h. Huvitav muutus toimub tarbimises aasta algusega võrreldes alates oktoobri kuust, kus graafikult vaadeldes võib järeldada, et kasutatakse valgustuse kilbi juhtimisel täpsemaid juhtimissüsteeme ning tarbimise alusel on valgustite tööaega lühendatud. Reaalselt 2012 aasta lõikes pole antud valgustuskilbis ning valgustitega muudatusi tehtud. Energiasäästu on antud valgustuskilbis andnud fotoelement, mille tundlikust on muudetud nii, et valgustus süttib hiljem ja kustub varem. Valgustuskilbi fotoelemendi tööd võib segada ka humanitaargümnaasiumi territooriumi rekonstrueeritud valgus, mille süttimisel fotoelemendi tööd segatakse – sellisel juhul tuleb anduri asukohta muuta nii, et rekonstrueeritud valgustus ei paistaks otse andurile. Antud valgustusgrupp on tekitanud linnaelanikes kahtlusi ning kuna valgustusliin süttis hiljem kui kõrval tänavates paiknevad valgustid, siis seetõttu helistati linna rikketelefonile ja tunti muret, kas valgustusliin on korras. Valgustusgruppide kontrolliks koheselt rikkemeeskondi välja ei saadetud, sest iga valgustuskilbi juhtimine on eraldi seisev ning see tõttu on lülitustes viited.

Lisas D.7. Valgustuskilbi 23 valgusite tarbimisgraafikul on illustreerivalt välja toodud tarbimine aasta lõikes valgustusliinide ja kilpide rekonstrueerimisel ning süstemaatilisel juhtimisel saavutatav kokkuhoid.

Kogu linna tarbimisgraafikul muutusi antud piirkonna valgustuse VK 23 juhtimise muutus ei anna, sest kogu tarbimisest moodustab see imeväikese osa. Kui kogu linna valgustust juhtida sama tarbimise vähenemisega, oleks energia kokkuhoid kuni 15 %.

KOKKUVÕTE

Tänavavalgustuse olemasolevad raudbetoonmastid ning metallmastid on paigaldatud aastatel 1960-1980, nende orienteeruv vanus on 34-54 aastat. Arvestades masti elueaga, 40 aastat, tuleb 90 % mastidest välja vahetada 20 aasta jooksul.

Hetke olukord tänavavalgustuse mastide osas on halb. Mastid vajavad vahetust ning turul pakutavast mastide valikust sobivad mastid õhukaabelliinile puuduvad. Toiteliinid on valdavas osas vahetatud paarikümne aasta jooksul ning nende kindlust võrreldes paljasjuhtmelise õhuliiniga on suurendatud.

Valgustusmastide uuendamisega tuleb tänavavalgustus ümber projekteerida ning õhukaabel maakaabelliinidega asendada. Sellega tõstetakse valgustuse töökindlust.

Läbimõeldud valgustuse juhtimissüsteemide integreerimisega on võimalik koos energiatõhusamate valgustite paigaldusega saavutada kokkuhoidu 46 %. Effektiivne valgustuse juhtimissüsteemi töösse seadmine eeldab kogu linna analüüsi ja spetsialistide nägemust erinevate valgustus kujunduste osas. Sellisel juhul saavutatakse parim lahendus, mis on suunatud linnakodanikele tõstmaks sotsiaalset kindlustunnet ning edendamaks turismindust.

Valgustuskilbi VK 23 näitel valgustite vahetusel samaväärsete ökonoomsete LED-valgustitega on otstarbekas ning tänavate kasutuse otstarbest lähtuvad tehnilised tingimused täidetud.

Tänavavalgustuse rekonstrueerimise eel on otstarbekas linnal kaaluda ühtse valgustuse juhtimissüsteemi ehitamist. Sellega muudetakse lihtsamaks ja efektiivsemaks valgustuse juhtimine. Ülevaade valgustusest paraneb ning rikete likvideerimine kiireneb. Valgustitega tehtavad hooldustööd ning parandused on ühtselt üles tähendatud ning aastalõikes võimalik järele vaadata tööde mahud ja töödele kulunud kapitali mahukus.

KIRJANDUS

1. Philips, LFC7065 Segment Controller. 2012. Kättesaadav: http:// www. lighting. philips.com/pwc_li/main/products/controls/assets/LFC7065ds.pdf (03.04.2014).

2. Eesti Energia AS (0,4…20) kV võrgustandard PE343 " 0,4 kV LIITUMISPUNKT". Kättesaadav: http://www1.elektrilevi.ee/Hankekonkursid.nsf/ b5c70e1888b8a801 c2256e4e002ca8dc/066be70f7f632123c2257a6b003fa866/$FILE/P343%200,4-20%20kV%20vorgustandard_0,4%20kV%20liitumispunkt,%20ver.1.pdf (10.05.2014).
3. Eesti Energia AS (0,4…20) kV võrgustandard P364 "Osa 10: TÄHISTUSED". Kättesaadav: http://www1.elektrilevi.ee/Hankekonkursid.nsf/b5c70e1888b8a801c225 6 e4e002ca8dc/35375c016bad858dc22573c6002ee0e9/$FILE/P346%200,4-20%20kV %20vorgustandard_tahistused,%20ver.1.pdf (10.05.2014).
4. Eesti Energia AS (0,4…20) kV võrgustandard EE 10421629-JV ST 5-6:2001 "Osa 6: 0,4 kV KAABELLIINID". Kättesaadav: http://www1.elektrilevi.ee/Hankekonkursid. nsf/b5c70e1888b8a801c2256e4e002ca8dc/a15178ab0b80f402c2257a690030c129/$FIL E/ATT32YXJ.pdf/VJ204%200_4-20%20kV%20vorgustandard_0_4kV_kaabelliinid .pdf (10.05.2014).
5. Riigi Kinnisvara, Tehnilised nõuded kooli- ja büroohoonetele RKAS-12, OSA 12 – HOONEAUTOMAATIKA. 2013. Kättesaadav: http://www.rkas.ee/files/ 12_hooneautomaatika_2013.pdf (03.04.2014).

6. Google Inc, Google Maps kaardirakendus. Kättesaadav: https://**maps.google**.ee (10.05.2014)
7. Crime Prevention Unit Paper NO. 28, The Influence Of Streer Lightning On Crime And Fear Of Crime, Kättesaadav: http://www.celfosc.org/biblio/seguridad/atkins.pdf (10.04.2014)
8. European Commission, Lighting the Cities – Accelerating the Deployment of Innovative Lighting in European Cities. Kättesaadav: http://cordis.europa.eu/fp7/ict/photonics/docs/ssl-cip/lighting-the-cities_en.pdf (10.04.2014)
9. Okk, E., Vaabel, V. Elektriku teatmik. Põhja elektrivõrgud. – Tallinn, 1996. – 178 lk.
10. Lepa, J. Jürjenson, K. Energiavarustus. – Tartu: EPMÜ, 2000. – 176lk.

11. General Electric Company. Lucalox XO Superlife High Pressure Sodium Lamps. 2014. Kättesaadav: http://www.gelighting.com/LightingWeb/emea/images/HPS_Lucalox_XO_Superlife_Lamps_Data_sheet_EN_tcm181-12784.pdf (03.04.2014).
12. AS Keilar. 90W tänavavalgusti 4K L140 DM. 2012. Kättesaadav: http://www.keilar.com/et/e-pood/led/tanavavalgustid/90w-tanavavalgusti-4k-l140-dm (03.04.2014).
13. Capstone Project, Increasing the Efficiency of Street Lighting in the City of Sandy. Kättesaadav: http://www.pdx.edu/sites/www.pdx.edu.eli/files/Increasing%20the%20Efficiency%20of%20Street%20Lighting%20in%20Sandy%20-%20Grisha%20Alpernas%20Capstone.pdf (10.04.2014)
14. OÜ Elektrilevi, Võrguteenuse hind. 2014. Kättesaadav: https://www.elektrilevi.ee/hind(10.04.2014)
15. Eesti Standardikeskus, CEN/TR 13201-1:2004. Valgusklasside valik – Eesti Standardikeskus, 2004. – 23 lk.
16. Eesti Standardikeskus, CEN/TR 13201-3:2007. Valgustussuuruste arvutamine – Eesti Standardikeskus, 2007. – 14 lk.
17. Altpere, E. Valgustustehnika käsiraamat. – Tallinn: Valgus, 1981. – 328 lk.

LISAD

Lisa A. ANDME TABELID

Tabel A1. Tänavavalgustuse koondtabel

Lülituskilp	Masti kogus				Valgusti kogus					
Nr	**RB-KANT**	**METALL**	**PUIT**	**Kokku**	**Na**	**LED**	**Kokku**	**ÕK**	**MK**	**Kokku**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
1 Raudsilla, Juhkentali, Vaivara,	37	12		49	49		49	2041,60		2041,60
2 Puškini, Bastrakovi, Malmi, Kosmonaudi, Linda, Peetri	21			21	20		20	875,50		875,50
3 Peetri plats	34			34	34		34	1484,50		1484,50
4 Tallinna mnt.	86			86	81	4	85	3609,50		3609,50
5 Tuleviku,Vestervalli, Viru	8			8	8		8	279,80		279,80
6 Peterburi, Lossi Aed	19			19	19		19	649,70		649,70
7 Kraavi, Suur, Rüütli, Sepa, Koidula, Karja	103			103	103	2	105	4830,70		4830,70
8 Rakvere, Kangelaste, Kevade, Hariduse	68		7	75	59	16	75	3319,70		3319,70
9 Jõesuu, Taime, II Jõe, Paadi, Pargi põik, I Jõe, Pargi	54		54	108	108		108	3854,50		3854,50
10 Kreenholmi, Haigla, Gerassimovi, Kooli põik	70			70	81		81	3400,90		3400,90
11 Võidu, Mõisa	28			28	28		28	1473,90		1473,90
12 Paemurru, Parve, Oru			20	20	20		20	941,90		941,90
13 Palli, Männiku, Metsa, Mängu, Savi, Betooni	9		56	65	64		64	3924,20		3924,20
14 Kreenholmi, Gerassimovi	65			65	67		67	2108,70		2108,70
15 Kreenholmi, Kerese, Võidu	47			47	61		61	1669,00		1669,00
16 Energia, Tallinna mnt, Kerese	94		8	102	104		104	3743,60		3743,60
17 Gerassimovi park	36			36	36		36	959,50		959,50
18 Võidu, Kerese	52			52	57		57	1664,10		1664,10
19 Triumph bastion	11			11	11		11	318,60		318,60
21 Uusküla, Oru	54			54	54		54	2372,70		2372,70

Tabel A1. Tänavavalgustuse koondtabel järg

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22 Tiimani, Vahtra, Rahu	57			57	57		57	565,10		565,10
23 Kangelaste, Pähklimäe	42			42	42		42	1655,50		1655,50
25 Rahu	49			49	92		92	485,30		485,30
26 Gerassimovi	72		1	73	73		73	3003,10		3003,10
27 Paemurru, Oru, Parve tn	9		59	68	68		68	3354,10		3354,10
28 Joala, Kalda, Kose	70			70	70		70	2902,90		2902,90
29 Päikese, Pikse, Vihma, Pilve, 2 Jõesuu	6		66	72	72		72	2719,10		2719,10
30 Juhhanovi, Paju	26		9	35	36		36	1156,70		1156,70
31 Tiimani, Mõisa, Partisani	54			54	54		54	1911,80		1911,80
32 Rahu	37			37	37		37	1081,30		1081,30
33 Energia, Kreenholmi	35			35	35		35	1274,40		1274,40
34 Siivertsi	53			53	53		53	2178,20		2178,20
35 Raja, Grafovi, 1 mai	53			53	53		53	1902,20		1902,20
36 Tallinna mnt.,Tiimani	64		1	65	66		66	2504,00		2504,00
37 Kerese, Tiimani, Partisani	65		1	66	66		66	3406,70		3406,70
38 Uusküla, Puuvilla, Lina, Kanepi, Luha, 26 Juuli	56		31	87	95		95	3473,40		3473,40
40Kangelaste	43			43	50		50	1343,20		1343,20
41 Daumani tn	20			20	32		32	625,50		625,50
42 Tallinna mnt.32, 34, 36, 38, 42	42			42	42		42	1643,00		1643,00
43 Aasa, Kangelaste, Pähklimäe, Uus põik	84			84	87		87	3611,60		3611,60
44 Kreenholmi 24, 26, 30, 38, 40, 26 Juuli 1, 3, 5	94			94	94		94	3764,20		3764,20
45 Joala,Kulgu	36		1	37	37		37	1196,90		1196,90
46 Kreenholmi	14		2	16	16		16	482,00		482,00
48 Kerese,Tiimani,Vahtra	51		6	57	57		57	765,00		765,00
49 Sepa,Jõe,Tolli,Bastion	53		1	54	60		60	2284,50		2284,50

Tabel A1. Tänavavalgustuse koondtabel järg

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
51 Puškini tn	26			26	26		26	716,40		716,40
52 26 Juuli	15			15	15		15	466,70		466,70
58 Tallinna mnt.,Tiimani,Rahu	48		2	50	54		54	408,90		408,90
59 Rahu 6, 16, 14a, 14, Pähklimäe, Tallinna mnt. 59, 61, 63, 65	68			68	68		68	2356,70		2356,70
61 Rakvere,Kangelaste 11, 17, 15, 23, 19	46			46	46		46	1850,50		1850,50
66 Puškini 45, 49, 51, 53	31			31	32		32	872,10		872,10
67 Daumani 5, 9, 15, 13, 17, 4, 12	53		1	54	58		58	1473,80		1473,80
68 Kangelaste 4, 6, 10, 12, 24, 36, 42, 30, 44	85			85	93		93	3323,90		3323,90
69 Rahu 38, Kangelaste 53, 51, 49, 43, 45	76			76	78		78	2655,50		2655,50
70 Rakvere 30, 32, 34, 20 A, B, C, Rakvere-erasektor	30			30	30		30	1104,40		1104,40
71 Rahu tn	30			30	34		34	974,40		974,40
72 Daumani tn	9			9	9		9	271,50		271,50
73 Puškini tn	41			41	41		41	1459,40		1459,40
74 Kreenholmi tn	38			38	38		38	1584,10		1584,10
75 Rakvere tn	20			20	20		20	473,20		473,20

Tabel A2.1. Tänavavalgustuskilp VK 1

JRK NR	Tänava nimi	MASTI NR	MASTI TÜÜP	Valgusti võimsus	Valgusti hulk mastil	Kaabli ristlõikedd	LIINI PIKKUS	ASUKOHT LINNA/ ERA/ JAOTUSVÕRK (L, J või E)	Valgusklass	Juhtimissüsteem
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
1	Raudsilla tn	VK 1/1	RB	150	1	4x25	18,7	L	ME3C	Fotosilm
2	Raudsilla tn	VK 1/2	RB	150	1	4x25	50,8	L	ME3C	Fotosilm
3	Raudsilla tn	VK 1/3	RB	150	1	4x25	30,2	L	ME3C	Fotosilm
4	Raudsilla tn	VK 1/4	RB	150	1	4x25	29,8	L	ME3C	Fotosilm
5	Raudsilla tn	VK 1/5	RB	150	1	4x25	35,7	L	ME3C	Fotosilm
6	Raudsilla tn	VK 1/6	RB	150	1	4x25	11,8	L	ME3C	Fotosilm
7	Raudsilla tn	VK 1/7	Metall	150	1	4x25	35,5	L	ME3C	Fotosilm
8	Raudsilla tn	VK 1/8	RB	150	1	4x25	11,6	L	ME3C	Fotosilm
9	Raudsilla tn	VK 1/9	RB	150	1	4x25	35,4	L	ME3C	Fotosilm
10	Juhkentali tn	VK 1/10	Malm	150	1	4x25	26,5	L	ME3C	Fotosilm
11	Juhkentali tn	VK 1/11	Malm	150	1	4x25	30,6	E	ME3C	Fotosilm
12	Juhkentali tn	VK 1/12	Malm	150	1	4x25	69,3	E	ME3C	Fotosilm
13	Juhkentali tn	VK 1/13	Malm	150	1	4x25	37,9	L	ME3C	Fotosilm
14	Juhkentali tn	VK 1/14	Malm	150	1	4x25	34,3	L	ME3C	Fotosilm
15	Juhkentali tn	VK 1/15	Malm	150	1	4x25	36,1	L	ME3C	Fotosilm
16	Juhkentali tn	VK 1/16	Malm	150	1	4x25	28,6	L	ME3C	Fotosilm
17	Juhkentali tn	VK 1/17	Malm	150	1	4x25	33,5	L	ME3C	Fotosilm
18	Juhkentali tn	VK 1/18	Malm	150	1	4x25	42,2	L	ME3C	Fotosilm
19	Juhkentali tn	VK 1/19	RB	150	1	4x25	28,4	L	ME3C	Fotosilm
20	Juhkentali tn	VK 1/20	RB	150	1	4x25	314,4	L	ME3C	Fotosilm
21	Raudsilla tn	VK 1/21	RB	150	1	4x25	24,7	L	ME3C	Fotosilm
22	Raudsilla tn	VK 1/22	RB	150	1	4x25	22,3	L	ME3C	Fotosilm

Tabel A2.1. Tänavavalgustuskilp VK 1 järg

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
23	Raudsilla tn	VK 1/23	RB	150	1	4x25	30	L	ME3C	Fotosilm
24	Raudsilla tn	VK 1/24	RB	150	1	4x25	32,5	L	ME3C	Fotosilm
25	Valvara tn	VK 1/25	RB	150	1	4x25	29,2	L	ME3C	Fotosilm
26	Valvara tn	VK 1/26	RB	150	1	4x25	27	L	ME3C	Fotosilm
27	Valvara tn	VK 1/27	RB	150	1	4x25	30,7	L	ME3C	Fotosilm
28	Valvara tn	VK 1/28	RB	150	1	4x25	49,8	L	ME3C	Fotosilm
29	Valvara tn	VK 1/29	RB	150	1	4x25	27,2	L	ME3C	Fotosilm
30	Valvara tn	VK 1/30	RB	150	1	4x25	22,2	L	ME3C	Fotosilm
31	Valvara tn	VK 1/31	RB	150	1	4x25	26,7	L	ME3C	Fotosilm
32	Vaksali tn	VK 1/32	RB	150	1	4x25	39,9	E	ME3C	Fotosilm
33	Vaksali tn	VK 1/33	RB	150	1	4x25	19,6	L	ME3C	Fotosilm
34	Vaksali tn	VK 1/34	RB	150	1	4x25	25,4	L	ME3C	Fotosilm
35	Vaksali tn	VK 1/35	RB	150	1	4x25	40,1	L	ME3C	Fotosilm
36	Vaksali tn	VK 1/36	RB	150	1	4x25	35,1	L	ME3C	Fotosilm
37	Vaksali tn	VK 1/37	RB	150	1	4x25	95,8	L	ME3C	Fotosilm
38	Vaksali tn	VK 1/38	RB	150	1	4x25	20,1	L	ME3C	Fotosilm
39	Vaksali tn	VK 1/39	RB	150	1	4x25	41,8	L	ME3C	Fotosilm
40	Vaksali tn	VK 1/40	RB	150	1	4x25	92,8	L	ME3C	Fotosilm
41	Vaksali tn	VK 1/41	RB	150	1	4x25	22,6	L	ME3C	Fotosilm
42	Vaksali tn	VK 1/42	RB	150	1	4x25	20,1	L	ME3C	Fotosilm
43	Vaksali tn	VK 1/43	RB	150	1	4x25	21,1	L	ME3C	Fotosilm
44	Vaksali tn	VK 1/44	RB	150	1	4x25	183,7	L	ME3C	Fotosilm
45	Raudsilla tn	VK 1/45	RB	150	1	4x25	20,6	L	ME3C	Fotosilm
46	Raudsilla tn	VK 1/46	RB	150	1	4x25	38,5	L	ME3C	Fotosilm
47	Raudsilla tn	VK 1/47	Metall	150	1	4x25	25,3	L	ME3C	Fotosilm

Tabel A2.1. Tänavavalgustuskilp VK 1 järg

48	Raudsilla tn	VK 1/48	RB	150	1	4x25	35,5	L	ME3C	Fotosilm
49	Raudsilla tn	VK 1/49	RB	150	1	4x25	0	L	ME3C	Fotosilm

Märkused: Valgusti tüüp naatrium. Fiidrite numeratisoon puudub.

Tabel A2.2. Tänavavalgustuskilp VK 1 tehnilised andmed

Peakaitse, A	3xC80A
Instaleeritav võimsus, kW	7,35
Tarbitav võimsus, kW	7,35
Toidepinge	3x230
Mõõtepunkdi ID	EIC 38ZEE-07614265-Z
Võrgulepingu nr	36060328
VK asukoht	Juhkentali 12B
Juhtimissüsteem	Astrokell
VK kirjeldus	Rahuldavas korras

Tabel A3.1. Tänavavalgustuskilp VK 2

JRK NR	Tänava nimi	MASTI NR	Valgusti võimsus	Valgusti hulk mastil	Kaabli tüüp	Kaabli ristlõikedd	LIINI PIKKUS	ASUKOHT LINNA/ ERA/ JAOTUSVÕRK (L, J või E)	Valgusklass	Juhtimissüsteem
1	Malmi tn	VK 2/A7	150	1	ÕL	4x25	27,9	L	ME3C	Impulss VK18
2	Malmi tn	VK 2/A8	150	1	ÕL	4x25	33,8	L	ME3C	Impulss VK18
3	Malmi tn	VK 2/A9	150	1	ÕL	4x25	28,4	L	ME3C	Impulss VK18
4	Malmi tn	VK 2/A10	150	1	ÕL	4x25	26,9	L	ME3C	Impulss VK18
5	Malmi tn	VK 2/A11	150	1	ÕL	4x25	33	L	ME3C	Impulss VK18
6	Malmi tn	VK 2/A12	150	1	ÕL	4x25	137,2	L	ME3C	Impulss VK18
7	Malmi tn	VK 2/A63	150	1	ÕL	4x25	32,5	L	ME3C	Impulss VK18
8	Malmi tn	VK 2/A64	150	1	ÕL	4x25	32,4	L	ME3C	Impulss VK18
9	Malmi tn	VK 2/A65	150	1	ÕL	4x25	31,2	L	ME3C	Impulss VK18
10	Malmi tn	VK 2/A66	150	1	ÕL	4x25	35,2	L	ME3C	Impulss VK18
11	Malmi tn	VK 2/A67	150	1	ÕL	4x25	128,7	L	ME3C	Impulss VK18
12	Malmi tn	VK 2/A68	150	1	ÕL	4x25	29,4	L	ME3C	Impulss VK18
13	Malmi tn	VK 2/A69	150	1	ÕL	4x25	33,9	L	ME3C	Impulss VK18
14	Malmi tn	VK 2/A70	150	1	ÕL	4x25	33,2	L	ME3C	Impulss VK18
15	Malmi tn	VK 2/A71	150	1	ÕL	4x25	33,5	L	ME3C	Impulss VK18
16	Malmi tn	VK 2/A72	150	1	ÕL	4x25	20	L	ME3C	Impulss VK18
17	Malmi tn	VK 2/A73	150	1	ÕL	4x25	26,6	L	ME3C	Impulss VK18
18	Malmi tn	VK 2/A74	150	1	ÕL	4x25	36,8	L	ME3C	Impulss VK18
19	Malmi tn	VK 2/A75	150	1	ÕL	4x25	30,5	L	ME3C	Impulss VK18
20	Malmi tn	VK 2/A76	150	1	ÕL	4x25	84,4	L	ME3C	Impulss VK18
21	Malmi tn	VK 2/A77	150	1	ÕL	4x25	30	L	ME3C	Impulss VK18

Märkused: Valgusti tüüp naatrium. Fiidrite numeratisoon puudub. Raudbetoon mastid.

Tabel A3.2. Tänavavalgustuskilp VK 2 tehnilised andmed

Peakaitse, A	80
Instaleeritav võimsus, kW	3,15
Tarbitav võimsus, kW	3,15
Toidepinge	3x230
Mõõtepunkdi ID	EIC 38ZEE-07600636-I
Võrgulepingu nr	36060315
VK asukoht	Impulss VK18
Juhtimissüsteem	Astrokell
VK kirjeldus	amortiseerunud

Tabel A4.1. Tänavavalgustuskilp VK 3

JRK NR	Tänava nimi	Masti nr	Valgusti võimsus	Valgusti hulk mastil	Kaabli tüüp	Kaabli ristlõikedd	Liini pikkus	Asukoht linna/ era/ jaotusvõrk (L, J või E)	Valgusklass	Juhtimissüsteem
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
1	Malmi tn	VK 3/A1	150	1	ÕL	4x25	29,3	L	ME3C	Fotosilm
2	Malmi tn	VK 3/A2	150	1	ÕL	4x25	29,7	L	ME3C	Fotosilm
3	Malmi tn	VK 3/A3	150	1	ÕL	4x25	28,8	L	ME3C	Fotosilm
4	Malmi tn	VK 3/A4	150	1	ÕL	4x25	29,5	L	ME3C	Fotosilm
5	Malmi tn	VK 3/A5	150	1	ÕL	4x25	24,7	L	ME3C	Fotosilm
6	Malmi tn	VK 3/A6	150	1	ÕL	4x25	73	L	ME3C	Fotosilm
7	Malmi tn	VK 3/A7	150	1	ÕL	4x25	35,9	L	ME3C	Fotosilm
8	Malmi tn	VK 3/A8	150	1	ÕL	4x25	33,5	L	ME3C	Fotosilm
9	Malmi tn	VK 3/A9	150	1	ÕL	4x25	21,9	L	ME3C	Fotosilm
10	Malmi tn	VK 3/A10	150	1	ÕL	4x25	30,4	L	ME3C	Fotosilm
11	Malmi tn	VK 3/A11	150	1	ÕL	4x25	24,6	L	ME3C	Fotosilm
12	Malmi tn	VK 3/A12	150	1	ÕL	4x25	32,2	L	ME3C	Fotosilm
13	Malmi tn	VK 3/A13	150	1	ÕL	4x25	23,2	L	ME3C	Fotosilm
14	Malmi tn	VK 3/A14	150	1	ÕL	4x25	25,6	E	ME3C	Fotosilm
15	Malmi tn	VK 3/A15	150	1	ÕL	4x25	24,6	E	ME3C	Fotosilm
16	Malmi tn	VK 3/A16	150	1	ÕL	4x25	24,1	E	ME3C	Fotosilm
17	Malmi tn	VK 3/A17	150	1	ÕL	4x25	0	E	ME3C	Fotosilm
18	Kosmonaudi tn	VK 3/B1	150	1	ÕL	4x25	35	L	ME3C	Fotosilm
19	Kosmonaudi tn	VK 3/B2	150	1	ÕL	4x25	352	L	ME3C	Fotosilm
20	Kosmonaudi tn	VK 3/B3	150	1	ÕL	4x25	34,3	L	ME3C	Fotosilm
21	Kosmonaudi tn	VK 3/B4	150	1	ÕL	4x25	30,7	L	ME3C	Fotosilm
22	Kosmonaudi tn	VK 3/B5	150	1	ÕL	4x25	32,8	L	ME3C	Fotosilm
23	Kosmonaudi tn	VK 3/B6	150	1	ÕL	4x25	30,4	L	ME3C	Fotosilm

Tabel A4.1. Tänavavalgustuskilp VK 3 jätk

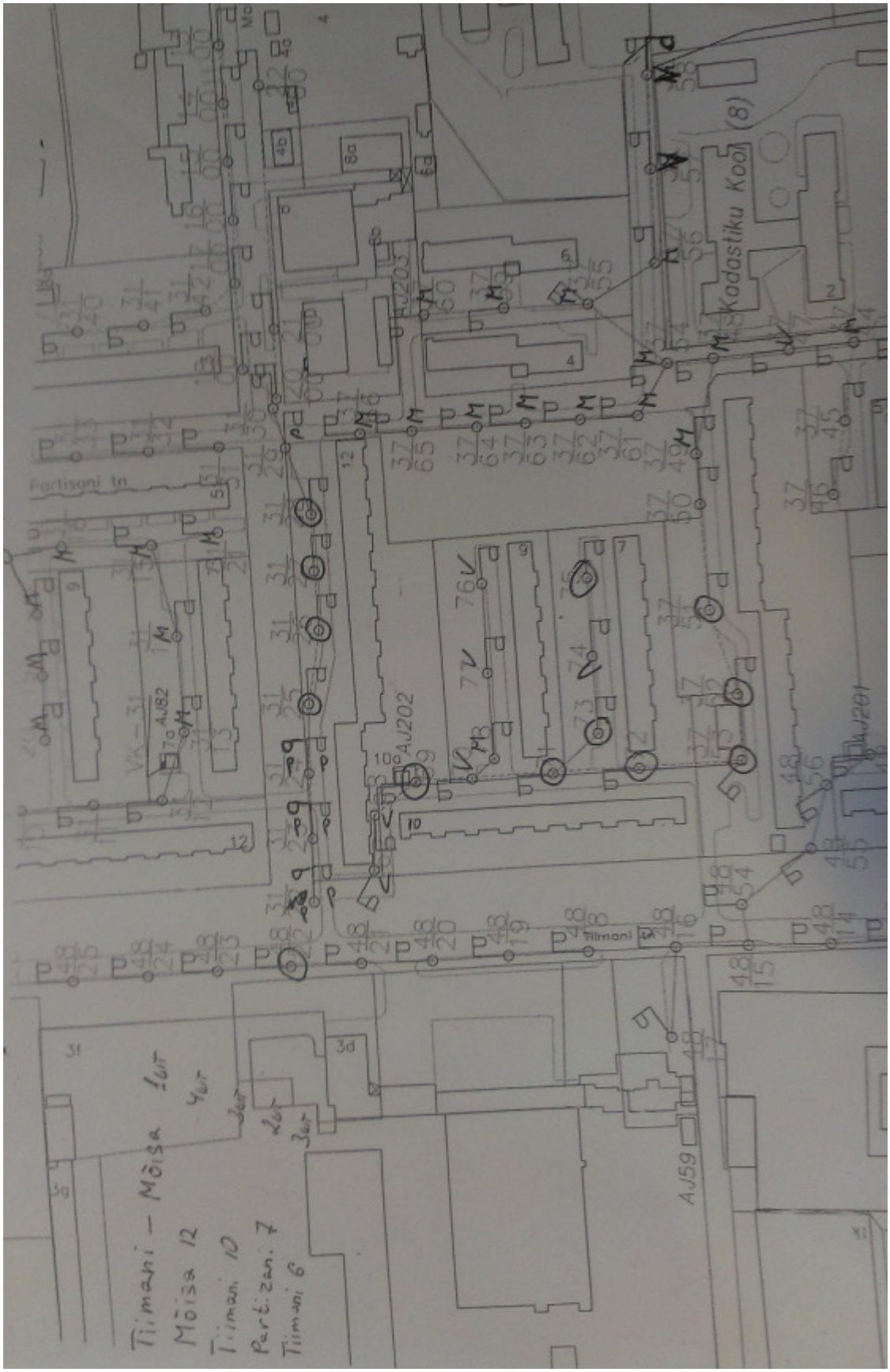
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24	Kosmonaudi tn	VK 3/B7	150	1	ÕL	4x25	30,1	L	ME3C	Fotosilm
25	Kosmonaudi tn	VK 3/B8	150	1	ÕL	4x25	32,2	L	ME3C	Fotosilm
26	Kosmonaudi tn	VK 3/B9	150	1	ÕL	4x25	22,9	L	ME3C	Fotosilm
27	Kosmonaudi tn	VK 3/B10	150	1	ÕL	4x25	34,1	L	ME3C	Fotosilm
28	Kosmonaudi tn	VK 3/B11	150	1	ÕL	4x25	37,2	L	ME3C	Fotosilm
29	Kosmonaudi tn	VK 3/B12	150	1	ÕL	4x25	26,1	L	ME3C	Fotosilm
30	Kosmonaudi tn	VK 3/B13	150	1	ÕL	4x25	187,1	L	ME3C	Fotosilm
31	Kosmonaudi tn	VK 3/B14	150	1	ÕL	4x25	34,9	L	ME3C	Fotosilm
32	Kosmonaudi tn	VK 3/B15	150	1	ÕL	4x25	39,6	L	ME3C	Fotosilm
33	Kosmonaudi tn	VK 3/B16	150	1	ÕL	4x25	34,1	L	ME3C	Fotosilm
34	Kosmonaudi tn	VK 3/B17	150	1	ÕL	4x25	0	L	ME3C	Fotosilm

Märkused: Valgusti tüüp naatrium. Fiidrite numeratisoon puudub. Raudbetoon mastid.

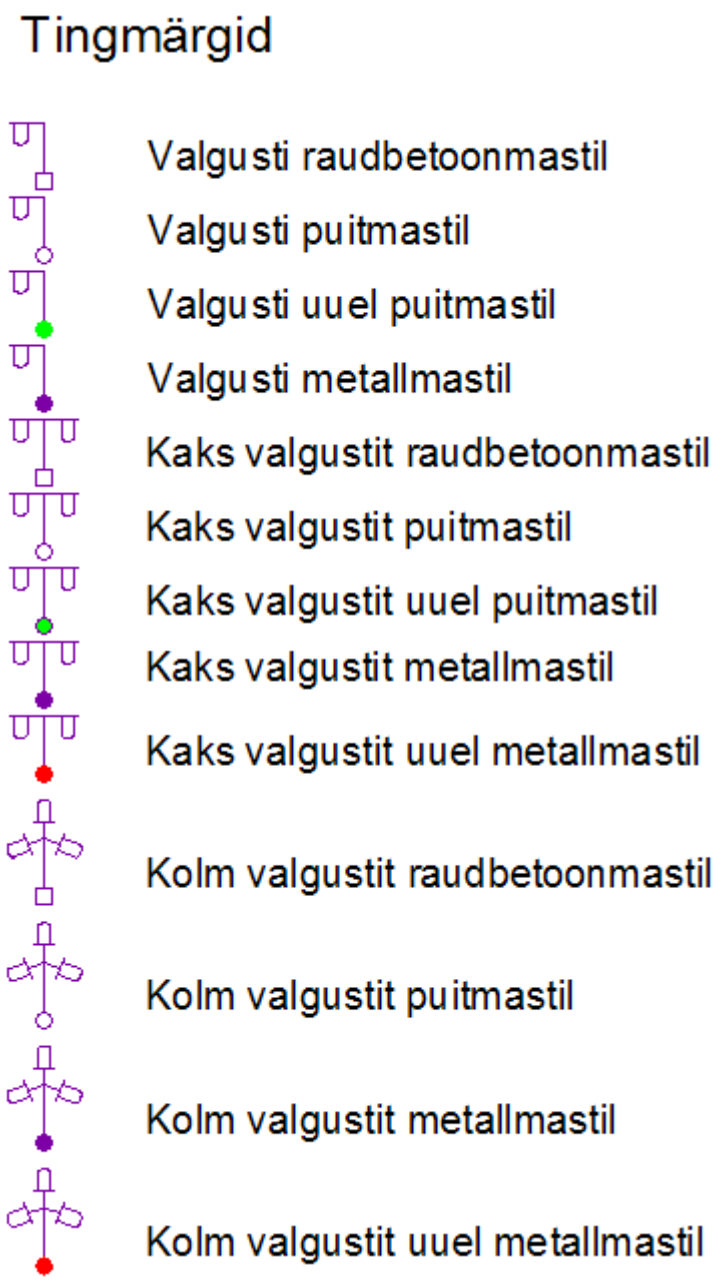
Tabel A4.2. Tänavavalgustuskilp VK 3 tehnilised andmed

Peakaitse, A	3xC100A
Instaleeritav võimsus, kW	4,95 kW
Tarbitav võimsus, kW	4,95 kW
Toidepinge	3x230
Mõõtepunkti ID	EIC 38ZEE-07612428-7
Võrgulepingu nr	36060331
VK asukoht	Puskini tänav 10 A
Juhtimissüsteem	Fotoelement
VK kirjeldus	Amortiseerunud

Lisa B. Illustratiivsed joonised



Joonis B.1. VKG tänavavalgustuse parandustööde aruandlus joonis.



Joonis B.2. Dünaamilistest plokkidest tingmärgid.

Üldist

Standardid

Käesolevas kataloogis kirjeldatud juhtmeid ja kaableid toodetakse järgides kehtivaid rahvusvahelisi standardeid. Kaablid vastavad antud kaablitüübi kirjelduses viidatud standardite nõuetele.

Eritüübilised juhtmed ja kaablid

Vastavalt kokkuleppele tellijaga pakume ka juhtmeid ja kaableid, mis erinevad käesolevas kataloogis tooduist.

Kataloogis toodud andmed

Mõõtmete ja massi kohta toodud suurusi tuleb käsitleda orienteeruvatena. Toodangu uuendamise käigus võivad siin toodud suurused muutuda. Meie toodangu moderniseerimine toimub pidevalt, seepärast jätame endale õiguse muuta teatavaid andmeid ilma eelneva etteteatamiseta.

Nimipinged

Allpool olevas tabelis on toodud rahvusvahelise standardi IEC 38 alusel kaablite enamlevinud nimipinged:

U_0 nimipinge kaabli soonte ja maa vahel
U nimipinge kaabli soonte vahel
U_m maksimaalne lubatud kestvuspinge ükskõik millises võrgu punktis (siia ei kuulu lühiajalised, kommutatsioonidest ja riketest põhjustatud liigpinged)
U_p iga soone ja maa vahelise isolatsiooni impulsstaluvpinge tippväärtus

U_0/U kV	0,6/1	3,6/6	6/10	12/20	18/30
U_m kV	1,2	7,2	12	24	36
U_p kV	-	-	75	125	170

Jõukaablite üldandmed

Minimaalne painderaadius

- Kaablite põhiandmetes antud suurused on kaablite minimaalsed painderaadiused paigaldamisel.
- Erandina on lubatud kaabli lõplikul paigaldamisel ühekordne kaabli sujuv painutamine painderaadiusega, mis on 30% võrra väiksem kataloogis toodust.

Maksimaalne tõmbejõud

- Kaabli tüüpide põhiandmetes toodud maksimaalsed lubatud tõmbejõud, kaabli paigaldamisel kaabli tõmbesukka kasutades, vastavad tõmbepingetele

  - alumiiniumsoontega kaablil ..... 10 - 15 N/mm²
  - vasksoontega kaablil ..... 10 - 20 N/mm²

  Lubatud tõmbejõud saadakse korrutades ülaltoodud tõmbepinged kõigi kaablisoonte summaarsete ristlõigetega, kusjuures kumbalgi ei tohi lubatud tõmbejõud olla suurem kui 8500N.

- Sama, spetsiaalset tõmbeseadet kasutades:

  - alumiiniumsoontega kaablil ..... 50 N/mm²
  - vasksoontega kaablil ..... 100 N/mm²

  Ka siin saadakse lubatud tõmbejõud korrutades ülaltoodud tõmbepingeid kõigi kaablisoonte summaarse ristlõikega, kusjuures kumbalgi juhul ei tohi lubatud tõmbejõud olla suurem kui 20000 N.

- Kui kaabli tõmbamisel kasutatakse kaabli soomust, siis lubatud maksimaalne tõmbejõud on 130 N/mm² korrutatud soomuse ristlõike pindalaga

Joonis B.3. Draka Keila jõukaablite üldandmed.

Lubatud temperatuurid

Jõukaablite paigaldamisel ei tohi kaabli temperatuur olla madalam allpool toodud suurustest:

- Jõukaablid plastmassisolatsiooniga < 1 kV
  - Polüvinüülkloriid kattega. . . . . –15˚C
- Jõukaablid võrkpolüetüleenisolatsiooniga > 1 kV to < 30 kV
  - Polüvinüülkloriid kattega. . . . . –5˚C
  - Polüetüleen kattega. . . . . –20˚C
- Jõukaablid võrkpolüetüleenisolatsiooniga > 30 kV
  - Polüvinüülkloriid kattega. . . . . –5˚C
  - Polüetüleen kattega. . . . . –15˚C

Madalamate temperatuuride puhul tuleb kaablit enne paigaldamist soojendada. Nõutud temperatuuri võib saavutada hoides kaablit mõned päevad köetud ruumis või kasutades kaabli soojendamiseks eriseadet.

Tehnilised andmed

Aktiivtakistus

Järgnevatel lehekülgedel on toodud iga kaabli tüübi jaoks kaablijuhtmete aktiivtakistuste maksimaalsed standardites lubatud väärtused alalisvoolule temperatuuril +20˚C.

Metallkestade ja üldekraanide aktiivtakistused alalisvoolule on arvutuslikud suurused.

Aktiivtakistuste leidmisel vahelduvvoolule on võetud arvesse et:

- sagedus on 50 Hz
- üldekraani ahel on suletud
- kolmnurksel paigaldamisel paiknevad ühesoonelised kaablid teineteise vastas, horisontaalsel paigaldamisel võrdub kaablite vahe kaabli välisläbimõõduga

Lisaks on arvestatud kapinnaseefekti ja kaablitevahelisi kaugusi.

Aktiivtakistuse väärtuse alalisvoolule 20˚C erineval temperatuuril võib leida kasutades valemit:

$$R_t = R_{20} (1 + \alpha_{20} (t - 20))$$

kus R_t takistuse väärtus temperatuuril t
R_{20} takistuse väärtus temperatuuril +20˚C
t kaablijuhtme temperatuur [˚C]
α_{20} eritakistuse temperatuuritegur [1/˚C] väärtusega:
0,00393 1/˚C vaskjuhtidele
0,00403 1/˚C alumiiniumjuhtidele ja -kestadele
0,00400 1/˚C pliikestadele

Mahtuvustakistus

Mahtuvustakistuse väärtused on keskmised väärtused temperatuuril 20˚C, nimipingel ja sagedusel 50 Hz. Kaablijuhtme temperatuuri tõustes 20˚C kuni maksimaalselt lubatud töötemperatuurini, väheneb mahtuvusliktakistus umbes 40% võrra. See kehtib eriti polüvinüülkloriidisolatsiooniga kaablitele.

Seoses mahtuvusliku takistuse muutumisega suurenevad maaühendusvoolud. Kataloogis toodud laadimisvoolud ja maaühendusvoolude väärtused on arvutatud sagedusel 50 Hz.

Induktiivtakistus

Kaablite juures antud induktiivtakistuse väärtusi tuleb lugeda orienteeruvateks. Ühesooneliste kaablite induktiivtakistuse juures on lähtutud järgmistest kaablite paigutustest:

- Kolmnurksel paigaldamisel paiknevad ühesoonelised kaablid teineteise vastas.
- Horisontaalsel paigaldamisel võrdub kaablite vahe kaabli välismõõduga.

Lubatud koormusvoolud

Lähteandmed:

1. Kaablijuhtmete kestvalt lubatud maksimaalset temperatuurid:
   - kaablid pingetele 1 kV, polüvinüülkloriidisolatsiooniga. . . . . +70˚C
   - kaablid võrkpolüetüleen-isolatsiooniga (vt märkus allpool). . . . . +90˚C
2. Kaugused ühesooneliste kaablite vahel:
   - kolmnurksel paigaldamisel paiknevad ühesoonelised kaablid teineteise vastas
   - horisontaalsel paigaldamisel võrdub kaablite vahe kaabli välismõõduga
3. Üldekraani ahel:
   - avatud: kaablite üldekraanid on ühendatud ja maandatud ainult kaabelliini ühes otsas
   - suletud: kaablite üldekraanid on ühendatud kaabelliini mõlemas otsas ja maandatud üldjuhul liini ühes otsas
4. Õhus paiknevad kaablid:
   - Ümbritseva keskkonna temperatuur . . . . . +25˚C
5. Maakaablid:
   - pinnase temperatuur . . . . . +15˚C
   - paigaldussügavus: kuni 110 kV kaablid . . . . . 0,7 m
     110 kV caablid . . . . . 1,0 m
   - pinnase soojuslik eritakistus. . . . . 1,0 Km/W

Märkus: Võrkpolüetüleenisolatsiooniga maakaablite puhul tuleb arvestada asjaoluga, et töötades pidevalt maksimaalsel lubatud temperatuuril 90 ℃ juures, võib pinnas kaabli lähedal kuivada, mis omakorda põhjustab kaabli ülekoormamise. Sellest lähtudes soovitame võrkpolüetüleenisolatsiooniga maakaablite puhul piirata juhtide maksimaalselt lubatud temperatuuri väärtuseni 65 ℃.

Kui lähteandmed erinevad ülaltooduist, tuleb kasutada järgnevatel lehekülgedel toodud parandustegureid.

Joonis B.4. Draka Keila jõukaablite tehnilised üldandmed.

Parandustegurid lubatud koormusvooludele

Mitmete rööpselt paigaldatud maakaablite mõju lubatud koormusvooludele

Parandustegurid kehtivad kolmesoonelistele kaablitele või ühesoonelistele kaablite kolmestele gruppidele.

Kaugused 3- või 1- sooneliste kaablite gruppide vahel, mm	Kõrvuti asetsevate kaablite arv						
	2	3	4	5	6	8	10
0	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,50	0,46
70	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,55	0,53
250	0,87	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64

Pinnase soojusliku eritakistuse mõju lubatud koormusvooludele

Pinnase soojuslik eritakistus Km/W	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Parandustegur	1.10	1.00	0.92	0.85	0.75	0.69	0.63

Pinnase soojuslike eritakistuste näiteid:

- kuiv liiv (niiskus 0%). . . . . 3,0 Km/W
- kuiv kruus ja savi. . . . . .1,5 Km/W
- poolkuiv kruus, muda ja liiv (niiskus 10%) . . . . . .1,2 Km/W
- poolkuiv savi ja niiske kruus . . . . . .1,0 Km/W
- niiske savi ja liiv (niiskus 25 %) . . . . . 0,7 Km/W

Paigaldussügavuse mõju lubatud koormusvooludele

Pinge	Paigaldussügavus m				
	0,50-0,70	0,71-0,90	0,91-1,10	1,11-1,30	1,31-1,50
0.61/1.0 kV	1,00	0,97	0,95	0,93	0,92
6/10-18/30 kV	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95

Pinnase temperatuuri mõju lubatud koormusvooludele

Kaablisoone temperatuur °C	Pinnase temperatuur °C										
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
90	1,13	1,10	1,06	1,03	1,00	0,96	0,93	0,89	0,86	0,82	0,77
80	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73
70	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,73	0,67
65	1.18	1.14	1.10	1.05	1.00	0.95	0.89	0.84	0.77	0.71	0.63

Polüvinüül- või polüetüleentorudesse paigaldatud kaablite vastastikune mõju lubatud koormusvooludele, kui torusse on paigaldatud üks 3- sooneline või kolm 1-soonelist kaablit, kusjuures kõik kaablid on üheaegselt koormatud.

Kaugus torude vahel	Rööpselt paiknevate torude arv							
mm	1	2	3	4	5	6	8	10
0	0,80	0,75	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50
70	-	0,75	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55
250	-	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65	0,65	0,65

Torud paiknevad rööpselt. Kõrvaloleva tabeli parandustegureid kasutades tuleb jätta arvestamata selle lehekülje esimese tabeli kordajad.

Kaabli kaitsekatete ja -rennide mõju

Kaabli kaitse	Parandustegur
Betoonist või telliskivist kaitsekate, mitte kõrgemal kui 10 cm kaablist, hästi tihendatud liivases pinnas	1,00
Kaabel ümbritsetud tellistega igast küljest, tühemikud tihedalt täidetud liivaga	0,90
Kaabel kaetud betoonkaitserenniga, renni ja kaabli vahe tihedalt täidetud liivaga	0,90
Kaabel kaetud betoon- või plastikkaitserenniga, renni ja kaabli vahe ebatihedalt täidetud liivaga	0,80

Joonis B.5. Draka Keila jõukaablite parandustegurid lubatud koormusvooludele.

Ümritseva keskkonna temperatuuri mõju lubatud koormusvooludele

Kaablijuhtme temperatuur, °C	Ümritseva keskkonna temperatuur, °C									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
90	1,12	1,08	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74	0,68
80	1,14	1,09	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,69	0,61
70	1,18	1,12	1,06	1,00	0,95	0,86	0,79	0,71	0,62	0,52
65	1,20	1,14	1,07	1,00	0,95	0,85	0,77	0,68	0,57	0,45

PARANDUSTEGURID ÕHUS PAIKNEVATE KAABLITE NING MEETODITEL A JA B PAIGALDATUD KAABLITE JAOKS

Õhus paiknevate kaablite puhul arvestatakse jahutustingimuste juures olukorda, kus kaabel ripub vabalt õhus.

Paigaldusmeetod A

Kaabel on paigaldatud nii, et soojusülekandetegur K kaabli ja teda ümbritseva materjali pinna vahel on 11 - 50 W/°C m².

Paigaldusmeetodile A vastavavaks loetakse:

- süvendpaigaldused üldisell
- paigaldused ripplagedes ja paigaldusrennides
- paigaldusmeetodile B selgelt mittevastavad paigaldused

Paigaldusmeetod B

Kaabel paikneb mingil pinnal või selliselt, et soojusülekandetegur K kaabli ja teda ümbritseva materjali pinna vahel on suurem kui 50 W/°C m².

Paigaldusmeetodile B vastavavaks loetakse:

- kaablile paigaldus mingile pinnale (sh ka torudesse)
- kaablite paigaldus kaabliriiulile
- kaablite paigaldus raudbetoon, tellistest või muust taolisest materjalist konstruktsioonidesse
- kaablite paigaldus kaablišahtidesse ja -kanalitesse

Kaablite grupeerimise mõju õhus paiknevate mitmesooneliste vahelduvvoolu ja ühesooneliste alalisvoolu kaablite lubatud koormusvoolule

Tabelistoodud suurused kehtuvad juhul, kui kaablitevõimsuskaod ei tõsta märgatavalt ümbritseva keskkonna temperatuuri.

Kaablite paigutus		Kaugus kaablite vahel = kaabli diameetriga (d); kaugus seinani ≥ 20 mm						Kaablid paiknevad üksteise ja seina vastas					
Rööpsete kaablite arv		1	2	3	6	9	Skeem	1	2	3	6	9	Skeem
Põrandal või laes		Parandustegur						Parandustegur					
		0,95	0,90	0,88	0,85	0,84		0,90	0,84	0,80	0,75	0,73	
Lausriiulitel (õhu ringlus raskendatud)	Riiulite arv												
	1	0,95	0,90	0,88	0,85	0,84		0,95	0,84	0,80	0,75	0,73	
	2	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80		0,95	0,80	0,75	0,71	0,69	
	3	0,88	0,83	0,81	0,79	0,78		0,95	0,78	0,74	0,70	0,68	
	6	0,86	0,81	0,79	0,77	0,76		0,95	0,76	0,72	0,68	0,66	
Võreriiulitel	1	1.00	0.98	0.96	0.93	0.92		0.95	0.84	0.80	0.75	0.73	
	2	1,00	0,95	0,93	0,90	0,89		0,95	0,80	0,76	0,71	0,69	
	3	1,00	0,94	0,92	0,89	0,88		0,95	0,78	0,74	0,70	0,68	
	6	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86		0,95	0,76	0,72	0,68	0,66	
Üksikkihtpõrandakaablite arv		1	2	3	6	9		1	2	3	6	9	
Seinal või püstkanduril		1.00	0.93	0.90	0.87	0.86		0.95	0.78	0.73	0.68	0.66	
Paigaldused, mis ei nõua lubatud voolude vähendamist		Üksteise kohal paiknevate kaablite arv ei ole piiratud						Rööpselt paiknevate kaablite arv ei ole piiratud					

Joonis B.6. Draka Keila jõukaablite parandustegurid lubatud koormusvooludele.

AXPK

Alumiiniumjuhtmetega ja PEX isolatsiooniga 1kV jõukaabel

Tehnilised andmed			4G16	4G25	4G35	4G50	4G70	4G95
EAN-kood		64 100+	06 210 07-7	06 210 08-4	06 210 09-1	06 210 10-7	06 210 11-4	06 210 12-1
Ehituslikud näitajad								
Kaabli läbimõõt (1)		mm	20	21	23	27	30	34
Mass (1)	alumiinium	kg/km	165	265	365	495	720	995
	kaabel	kg/km	380	500	670	830	1170	1500
Tarneandmed								
Standardpikkus		m	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Trummel			K12	K14	K16	K16	K18	K20
Mass (kaabel + trummel) (1)	kaabel + trummel	kg	470	615	865	1025	1400	1840
Mehaanilised omadused (2)								
Väikseim lubatud painderaadius paigaldusel		m	0,24	0,26	0,28	0,33	0,36	0,41
Vähim lubatud painderaadius lõplikul paigaldusel (3)		m	0,17	0,19	0,20	0,23	0,26	0,29
Suurim lubatud tõmbejõud paigaldusel veosukaga		kN	0,9	1,5	2,1	3,0	4,2	5,7
Suurim lubatud tõmbejõud paigaldusel veopeaga		kN	3,2	5,0	7,0	10,0	14,0	19,0
Elektrilised näitajad (2)								
Juhtme maksimaalne alalisvoolutakistus	juhe 20°C	Ω/km	1,91	1,20	0,868	0,641	0,443	0,320
Juhtme maksimaalne vahelduvvoolutakistus	juhe 70°C	Ω/km	2,3	1,5	1,0	0,77	0,53	0,39
Lubatud koormusvoolud (2)								
Pinnases	juhe 70°C	A	78	100	125	150	185	220
Õhus	juhe 70°C	A	64	83	105	125	155	190
	juhe 90°C	A	75	105	130	165	205	245
Lühisvoolud (2)								
Suurim lubatud lühisvool 1 s jooksul (4)		kA	1,5	2,3	3,3	4,7	6,6	8,9

Tehnilised andmed			4G120	4G150	4G185	4G240	4G300
EAN-kood		64 100+	06 21013-8	06 210 14-5	06 210 15-2	6 210 16-9	
Ehituslikud näitajad							
Kaabli läbimõõt (1)		mm	38	42	47	53	58
Mass (1)	alumiinium	kg/km	1260	1550	1950	2550	3190
	kaabel	kg/km	1900	2300	2800	3700	4600
Tarneandmed							
Standardpikkus		m	1000	500	500	500	500
Trummel			K22	K20	K20	K22	K24
Mass (kaabel + trummel) (1)	kaabel + trummel	kg	2310	1490	1740	2260	2750
Mehaanilised omadused (2)							
Väikseim lubatud painderaadius paigaldusel		m	0,46	0,51	0,57	0,64	0,70
Vähim lubatud painderaadius lõplikul paigaldusel (3)		m	0,33	0,36	0,40	0,45	0,49
Suurim lubatud tõmbejõud paigaldusel veosukaga		kN	7,2	8,5	8,5	8,5	8,5
Suurim lubatud tõmbejõud paigaldusel veopeaga		kN	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Elektrilised näitajad (2)							
Juhtme maksimaalne alalisvoolutakistus	juhe 20°C	Ω/km	0,253	0,206	0,164	0,125	0,100
Juhtme maksimaalne vahelduvvoolutakistus	juhe 70°C	Ω/km	0,31	0,25	0,20	0,16	0,13
Lubatud koormusvoolud (2)							
Pinnases	juhe 70°C	A	255	290	330	375	430
Õhus	juhe 70°C	A	220	250	285	330	380
	juhe 90°C	A	280	320	365	430	480
Lühisvoolud (2)							
Suurim lubatud lühisvool 1 s jooksul (4)		kA	11,3	14,1	17,4	22,6	28,3

(1) Ligikaudne suurus.
(2) Tabelis toodud suuruste lähteandmeid vaata üldiste tooteandmete peatükist.
(3) Lõplikul paigaldusel võib kaablit painutada ainult ükskord ühes suunas.
(4) Juhtme temperatuur enne lühist 90°C, juhtme lõplik temperatuur peale lühist 250°C.

Joonis B.7. Madalpinge AXPK tüüpi Draka Keila kaablite tehnilised andmed.

Joonis B.8. Valgustuskilp VK3.

Joonis B.9. Valgustuskilp VK 8.

Joonis B.10. Valgustuskilp VK 11.

Joonis B.11. Valgustuskilp VK 19.

Joonis B.12. Valgustuskilp VK 25.

Joonis B.13. Valgustuskilp VK 32.

Joonis B.14. Valgustuskilp VK 32.

Joonis B.15. Valgustuskilp VK 33.

Joonis B.16. Valgustuskilp VK 72. Puudulik tähistus.

LISA C. DIALux Evo 3 tarkvarapaketi arvutuste aruandlus

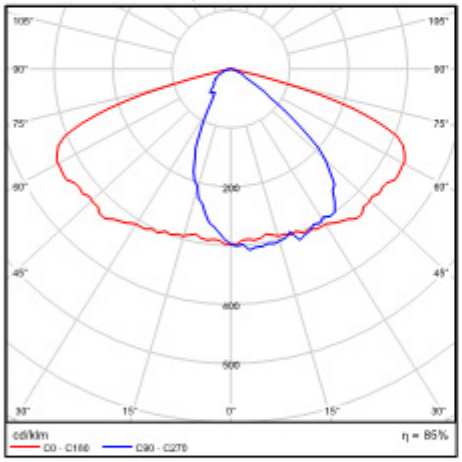
Philips BGP100 FG 1xECO113-2S/740 DC 1xECO113-2S/740 / Luminaire data sheet (1xECO113-2S/740)

Koffer² LED – economical system

When it comes to lighting residential streets, municipal authorities face a dual challenge – to ensure people's safety while saving energy and driving down cost of ownership. This calls for functional luminaires that are energy-efficient and require very little maintenance.

The stylish, minimalist Koffer² 100 LED is such a solution, its outstanding lighting quality (LEDGINE inside), energy efficiency and very low maintenance meeting all the needs of today's road users and operators. And its LEDGINE module is easy to upgrade, ensuring continued savings far into the future.

Luminous emittance 1 / Polar LDC



DIALux Page 1

Joonis C.1. Valgusarvutustes kasutatud valgusti.

Valuation Field 1 / Results summary

Light loss factor: 0.67
Grid: 10 x 6 Points
Selected Lighting Class: ME3c
Accompanying Street Elements:

Roadway 1	Width: 8.000 m
	Number of Lanes: 2
	Surface (dry): CIE R3
	q0 (dry): 0.070
	Surface (wet): Wet surface W1
	q0 (wet): 0.110

	Lm [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	SR
Actual value according to calculation	1.00	0.57	0.91	6	0.63
Required values according to class	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Fulfilled/Not fulfilled	✔	✔	✔	✔	✔

Assigned observer (2):

Observer	Position [m]	Lm [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Observer 1	(-60, 2, 1,5)	1.08	0.60	0.91	5
Observer 2	(-60, 6, 1,5)	1.00	0.57	0.94	6

Joonis C.2. Pähklimäe tänava sõidutee arvutustulemused.

Valuation Field 1 / Table

Horizontal illuminance [lx]

7.333	25	22	18	15	13	13	15	18	22	25
6.000	24	21	19	16	15	15	16	19	21	24
4.667	22	20	18	16	14	14	16	18	20	22
3.333	20	18	17	15	14	14	15	17	18	20
2.000	17	16	15	15	14	14	15	15	16	17
0.667	14	14	14	13	13	13	13	14	14	14
m	1.250	3.750	6.250	8.750	11.250	13.750	16.250	18.750	21.250	23.750

Grid: 10 x 6 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]	g1	g2
17	13	25	0.764	0.524

Observer 1

Luminance with dry roadway [cd/m²]

7.333	1.36	1.38	1.35	1.31	1.29	1.31	1.35	1.34	1.37	1.39
6.000	1.50	1.52	1.49	1.42	1.41	1.43	1.43	1.43	1.41	1.45
4.667	1.32	1.34	1.28	1.25	1.20	1.17	1.19	1.23	1.22	1.24
3.333	1.00	1.02	1.03	1.00	0.97	0.94	0.97	0.98	0.95	0.97
2.000	0.80	0.83	0.82	0.81	0.83	0.80	0.80	0.76	0.76	0.78
0.667	0.65	0.66	0.66	0.67	0.68	0.67	0.64	0.59	0.61	0.62
m	1.250	3.750	6.250	8.750	11.250	13.750	16.250	18.750	21.250	23.750

Grid: 10 x 6 Points

Luminance with new lamp [cd/m²]

7.333	2.03	2.06	2.01	1.96	1.92	1.95	2.02	2.01	2.04	2.07
6.000	2.24	2.26	2.22	2.12	2.10	2.13	2.13	2.14	2.10	2.17
4.667	1.97	2.00	1.91	1.86	1.80	1.74	1.78	1.84	1.82	1.85
3.333	1.49	1.52	1.54	1.50	1.45	1.41	1.45	1.46	1.42	1.45
2.000	1.19	1.24	1.23	1.20	1.24	1.20	1.20	1.13	1.13	1.16
0.667	0.97	0.98	0.99	1.00	1.02	1.00	0.95	0.89	0.92	0.93
m	1.250	3.750	6.250	8.750	11.250	13.750	16.250	18.750	21.250	23.750

Grid: 10 x 6 Points

Observer 2

Luminance with dry roadway [cd/m²]

7.333	1.43	1.42	1.39	1.35	1.33	1.36	1.40	1.40	1.42	1.42
6.000	1.35	1.36	1.33	1.29	1.27	1.29	1.29	1.31	1.27	1.32
4.667	1.07	1.09	1.08	1.07	1.05	1.02	1.05	1.09	1.06	1.07
3.333	0.88	0.89	0.88	0.87	0.87	0.85	0.88	0.86	0.85	0.86
2.000	0.73	0.74	0.73	0.74	0.75	0.74	0.73	0.70	0.71	0.72
0.667	0.61	0.62	0.62	0.63	0.63	0.63	0.59	0.57	0.58	0.60
m	1.250	3.750	6.250	8.750	11.250	13.750	16.250	18.750	21.250	23.750

Grid: 10 x 6 Points

Joonis C.3. Pähklimäe tänava valgustiheduste tabelid.

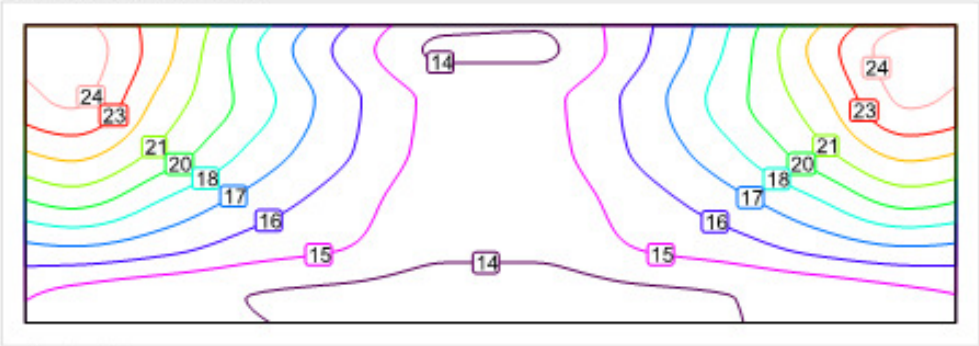
Valuation Field 1 / Isolines

Light loss factor: 0.67
Grid: 10 x 6 Points
Selected Lighting Class: ME3c
Accompanying Street Elements:

Roadway 1	Width: 8.000 m
	Number of Lanes: 2
	Surface (dry): CIE R3
	q0 (dry): 0.070
	Surface (wet): Wet surface W1
	q0 (wet): 0.110

	Lm [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	SR
Actual value according to calculation	1.00	0.57	0.91	6	0.63
Required values according to class	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Fulfilled/Not fulfilled	✔	✔	✔	✔	✔

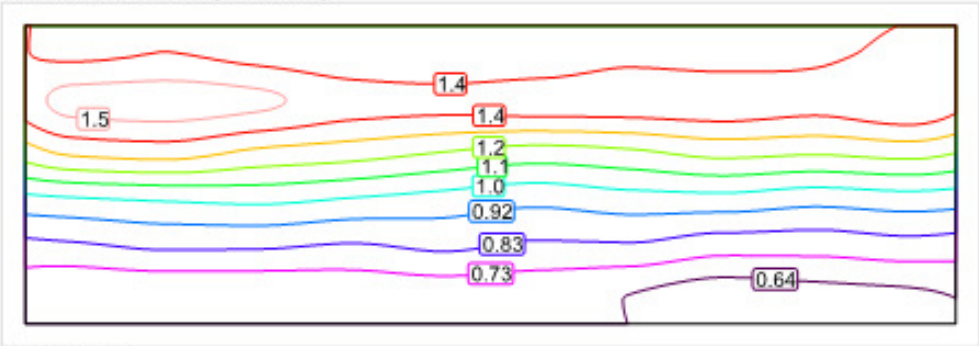
Horizontal illuminance



Scale: 1 : 200

Observer 1

Luminance with dry roadway



Scale: 1 : 200

Joonis C.4. Pähklimäe tänava arvutustulemused, valgustiheduse graafik.

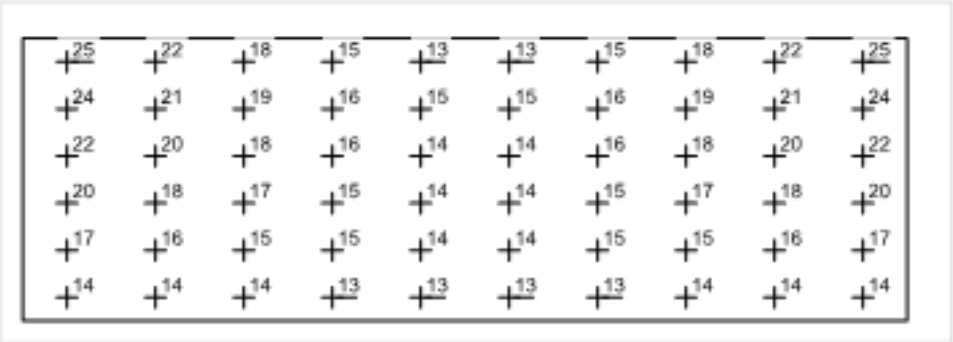
Valuation Field 1 / Value chart

Light loss factor: 0.67
Grid: 10 x 6 Points
Selected Lighting Class: ME3c
Accompanying Street Elements:

Roadway 1	Width: 8.000 m
	Number of Lanes: 2
	Surface (dry): CIE R3
	q0 (dry): 0.070
	Surface (wet): Wet surface W1
	q0 (wet): 0.110

	Lm [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	SR
Actual value according to calculation	1.00	0.57	0.91	6	0.63
Required values according to class	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Fulfilled/Not fulfilled	✔	✔	✔	✔	✔

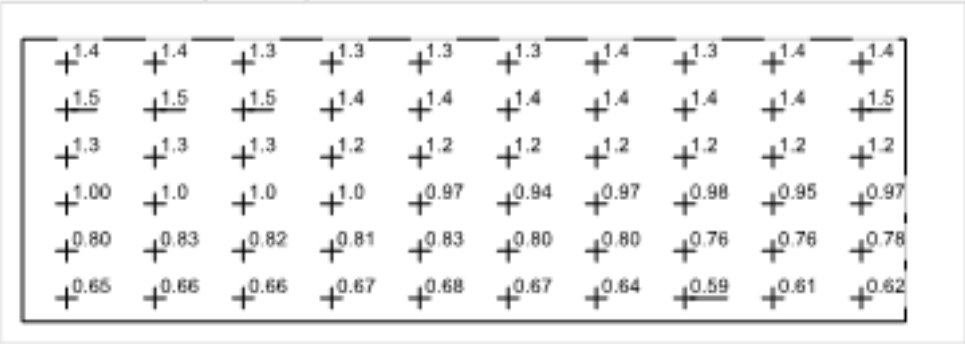
Horizontal illuminance



Scale: 1 : 200

Observer 1

Luminance with dry roadway



Scale: 1 : 200

Joonis C.5. Pähklimäe tänava valgusarvutuse punktide tulemused.

Valuation Field 3 / Results summary

Light loss factor: 0.67
Grid: 10 x 3 Points
Selected Lighting Class: CE5
Accompanying Street Elements:

Sidewalk 2 Width: 3.000 m

	Em [lx]	U0	Emin (sc) [lx]
Actual value according to calculation	14.50	0.52	1.62
Required values according to class	≥ 7.50	≥ 0.40	≥ 1.50
Fulfilled/Not fulfilled	✔	✔	✔

Joonis C.6. Pähklimäe tänava kõnnitee valgustehnilised tulemused.

Horizontal illuminance [lx]

10.500	16	14	11	8.84	7.54	7.54	8.82	11	14	16
9.500	20	18	14	11	9.85	9.81	11	14	18	20
8.500	23	21	17	14	12	12	14	17	20	23
m	1.250	3.750	6.250	8.750	11.250	13.750	16.250	18.750	21.250	23.750

Grid: 10 x 3 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]	g1	g2
14	7.54	23	0.520	0.321

Semi-cylindrical illuminance (north) [lx]

10.500	0.88	1.85	2.42	2.53	2.46	2.46	2.50	2.39	1.85	0.88
9.500	1.40	2.94	3.78	3.89	3.74	3.74	3.90	3.78	2.96	1.41
8.500	2.32	4.40	5.37	5.40	5.23	5.25	5.40	5.39	4.42	2.33
m	1.250	3.750	6.250	8.750	11.250	13.750	16.250	18.750	21.250	23.750

Grid: 10 x 3 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]	g1	g2
3.24	0.88	5.40	0.270	0.162

Semi-cylindrical illuminance (east) [lx]

10.500	1.98	1.63	1.73	2.09	2.65	3.48	4.48	5.25	5.06	3.49
9.500	1.90	1.95	2.34	3.02	3.74	4.77	6.04	6.98	6.32	3.79
8.500	1.76	2.33	3.03	3.88	4.86	6.02	7.42	8.42	7.41	4.01
m	1.250	3.750	6.250	8.750	11.250	13.750	16.250	18.750	21.250	23.750

Grid: 10 x 3 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]	g1	g2
4.06	1.63	8.42	0.402	0.194

Semi-cylindrical illuminance (south) [lx]

10.500	4.59	4.84	4.56	4.04	3.67	3.67	4.01	4.52	4.84	4.59
9.500	4.26	5.30	5.54	5.17	4.76	4.76	5.17	5.54	5.31	4.27
8.500	3.48	5.35	6.09	5.93	5.67	5.69	5.94	6.11	5.37	3.48
m	1.250	3.750	6.250	8.750	11.250	13.750	16.250	18.750	21.250	23.750

Grid: 10 x 3 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]	g1	g2
4.88	3.48	6.11	0.713	0.569

Semi-cylindrical illuminance (west) [lx]

10.500	3.48	5.06	5.25	4.48	3.48	2.65	2.04	1.66	1.62	1.97
9.500	3.77	6.29	6.97	6.04	4.76	3.74	3.03	2.34	1.95	1.88
8.500	4.04	7.43	8.44	7.45	6.04	4.92	3.92	3.08	2.38	1.79
m	1.250	3.750	6.250	8.750	11.250	13.750	16.250	18.750	21.250	23.750

Grid: 10 x 3 Points

EAvg [lx]	EMin [lx]	EMax [lx]	g1	g2
4.06	1.62	8.44	0.399	0.192

Joonis C.7. Pähklimäe tänava kõnnitee valgustehniliste andmete tabelid.

Light loss factor: 0.67
Grid: 10 x 3 Points
Selected Lighting Class: CE5
Accompanying Street Elements:

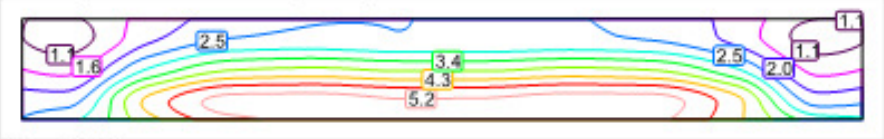
Sidewalk 2 Width: 3.000 m

	Em [lx]	U0	Emin (sc) [lx]
Actual value according to calculation	14.50	0.52	1.62
Required values according to class	≥ 7.50	≥ 0.40	≥ 1.50
Fulfilled/Not fulfilled	✔	✔	✔

Horizontal illuminance

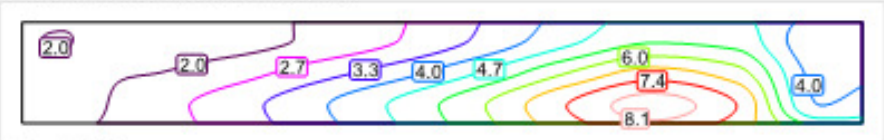
Scale: 1 : 200

Semi-cylindrical illuminance (north)



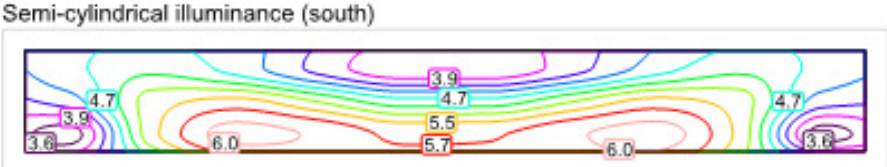
Scale: 1 : 200

Semi-cylindrical illuminance (east)



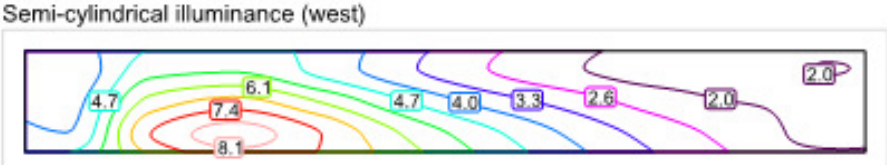
Scale: 1 : 200

Semi-cylindrical illuminance (south)



Scale: 1 : 200

Semi-cylindrical illuminance (west)



Scale: 1 : 200

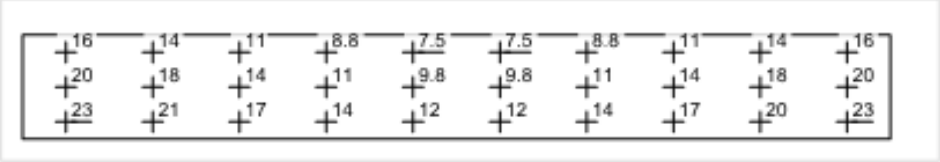
Joonis C.8. Pähklimäe tänava kõnnitee valgustiheduse graafik.

Light loss factor: 0.67
Grid: 10 x 3 Points
Selected Lighting Class: CE5
Accompanying Street Elements:

Sidewalk 2 Width: 3.000 m

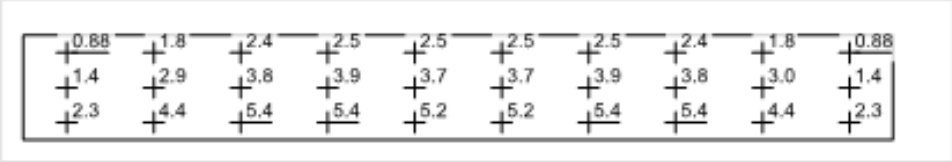
	Em [lx]	U0	Emin (sc) [lx]
Actual value according to calculation	14.50	0.52	1.62
Required values according to class	≥ 7.50	≥ 0.40	≥ 1.50
Fulfilled/Not fulfilled	✔	✔	✔

Horizontal illuminance



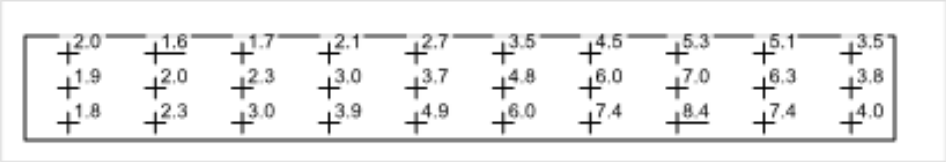
Scale: 1 : 200

Semi-cylindrical illuminance (north)



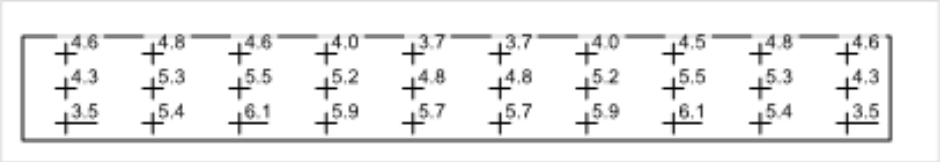
Scale: 1 : 200

Semi-cylindrical illuminance (east)



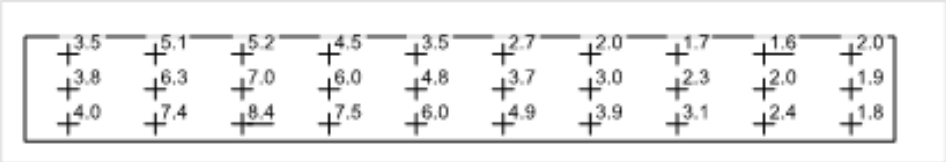
Scale: 1 : 200

Semi-cylindrical illuminance (south)



Scale: 1 : 200

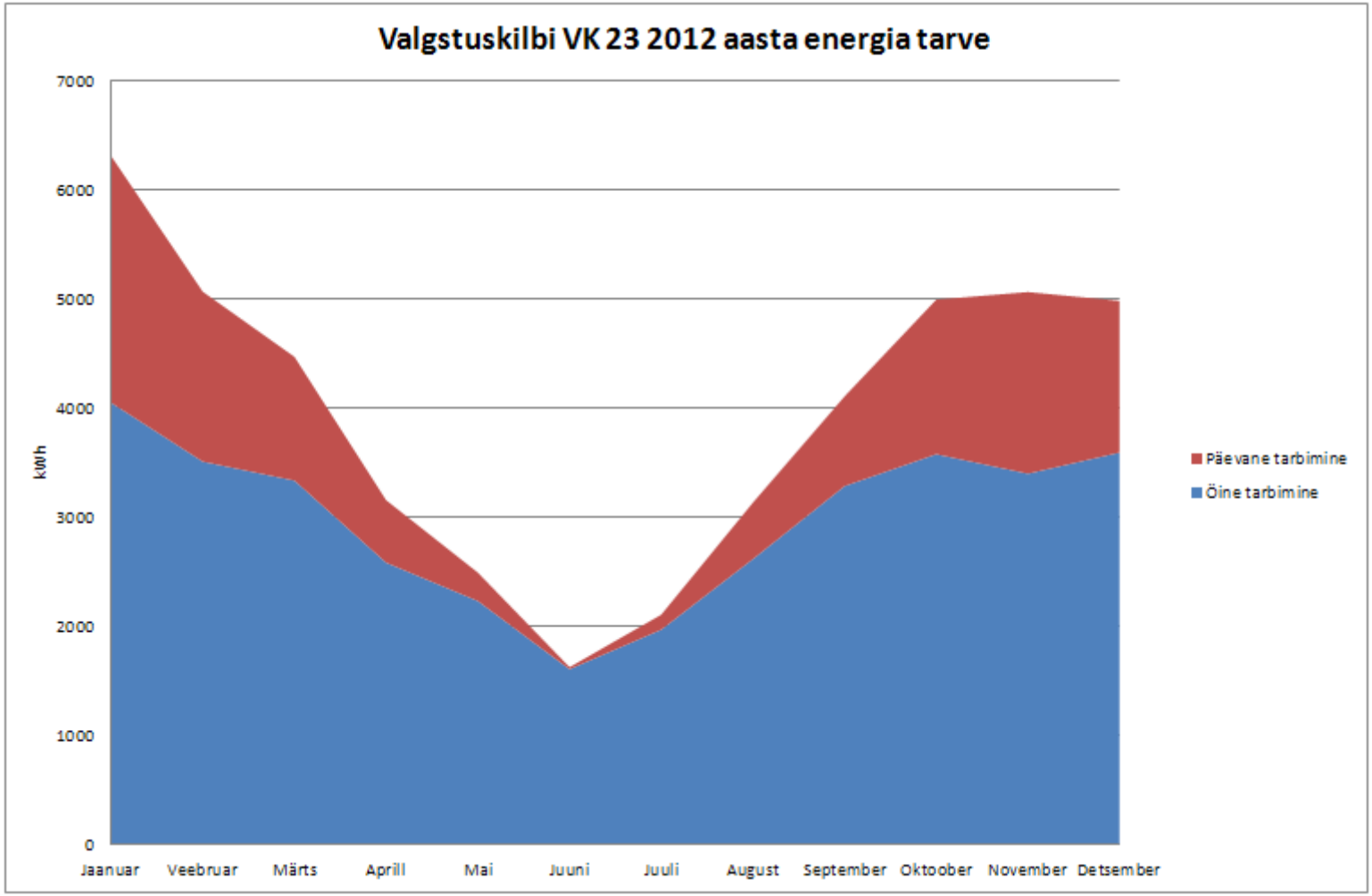
Semi-cylindrical illuminance (west)



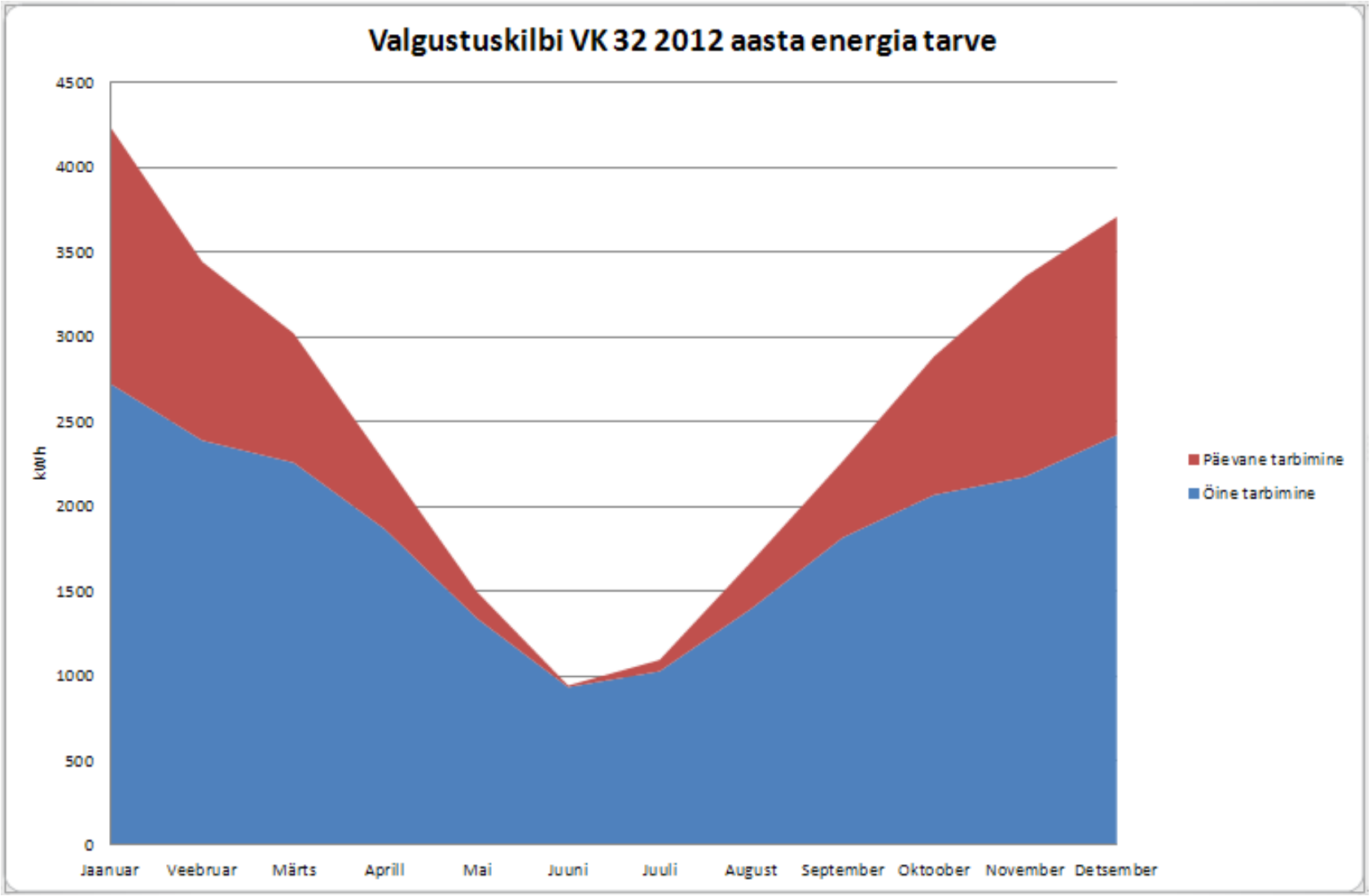
Scale: 1 : 200

Joonis C.9. Pähklimäe tänava kõnnitee arvutuslikud valgustiheduse punktid.

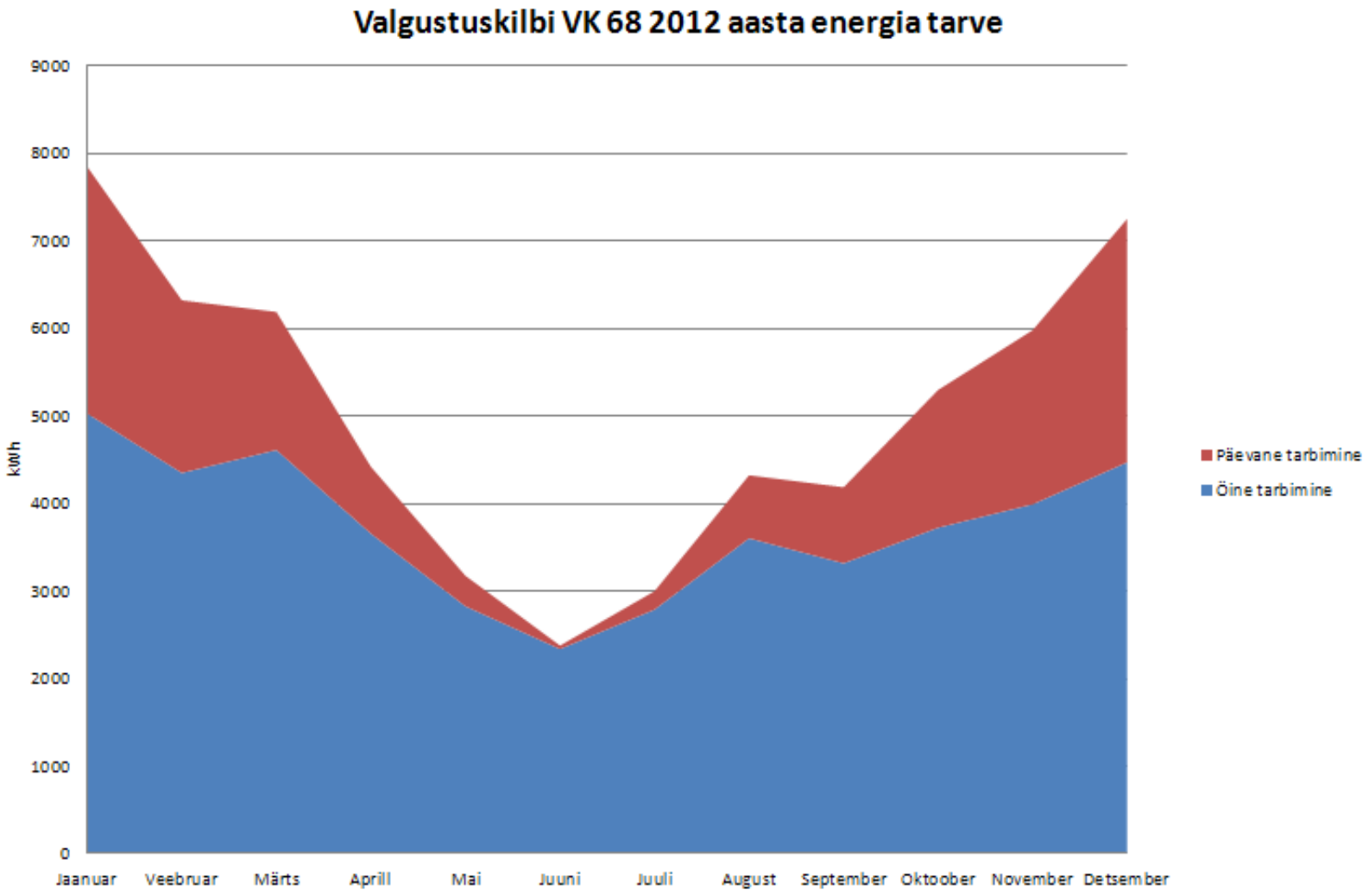
LISA D. 2012 aasta tarbimisgraafikud



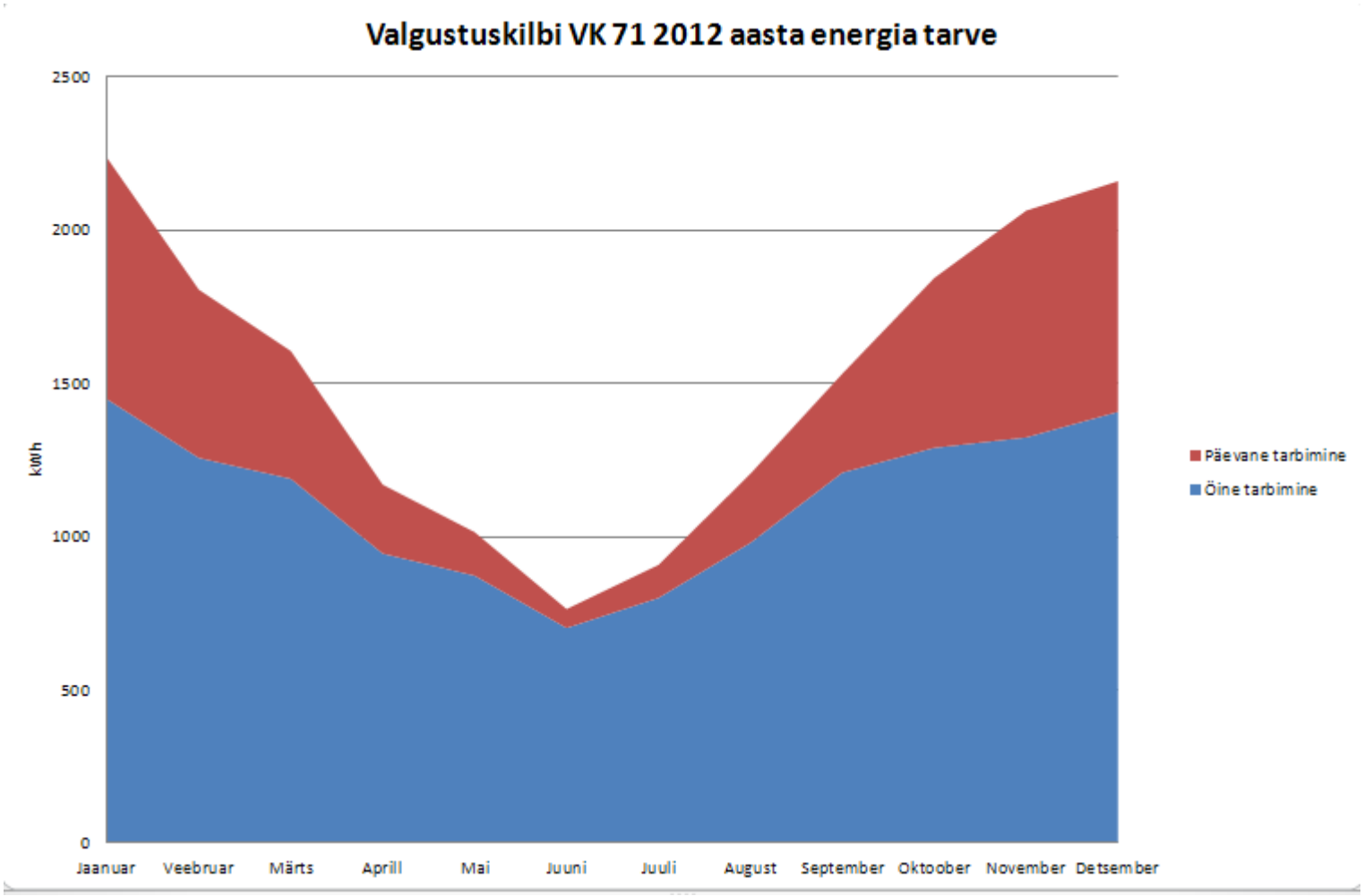
Graafik D.1. Valgustuskilbi VK 23 2012 aasta tarbimisgraafik.



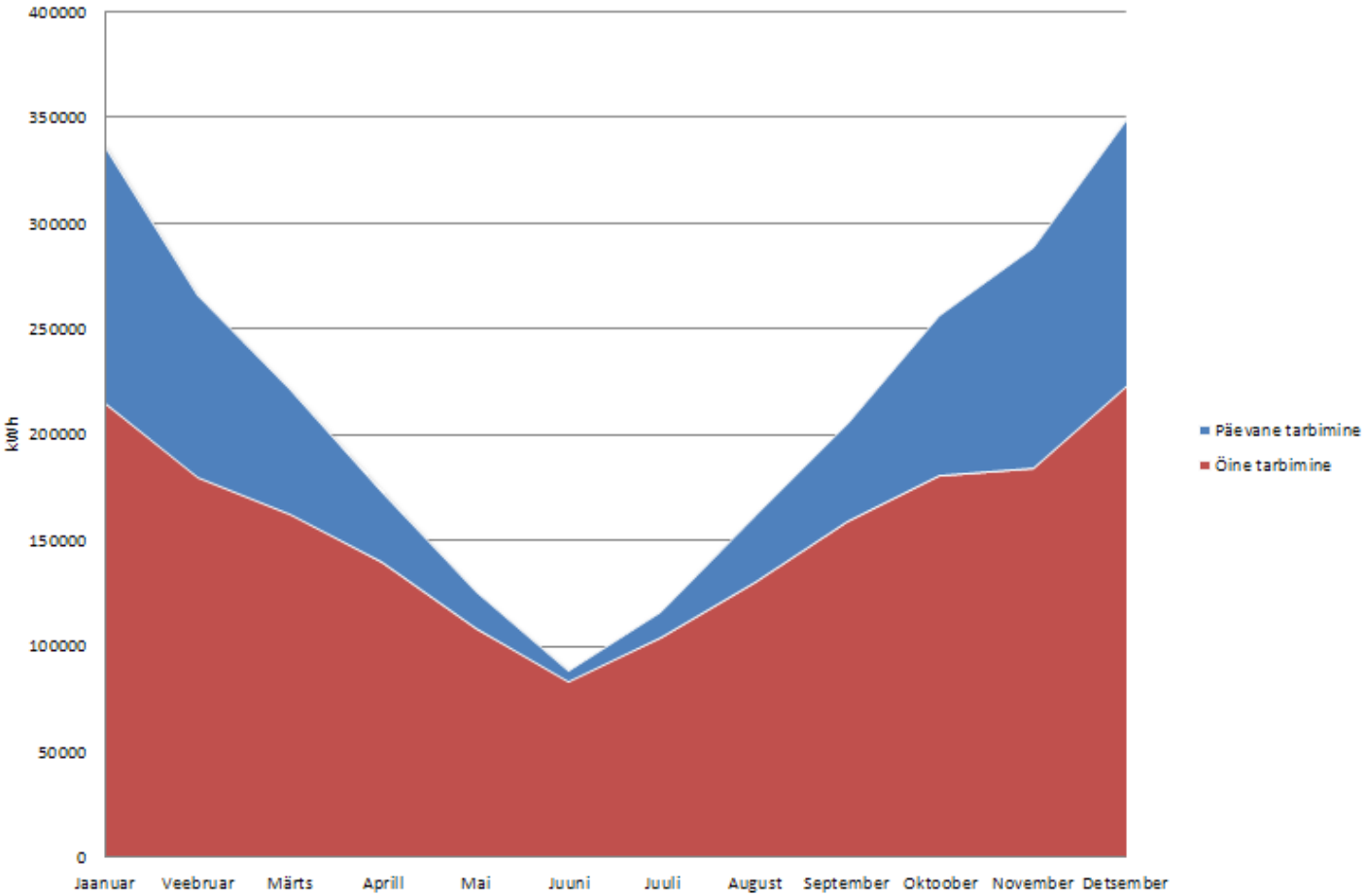
Graafik D.2. Valgustuskilbi VK 32 2012 aasta tarbimisgraafik.



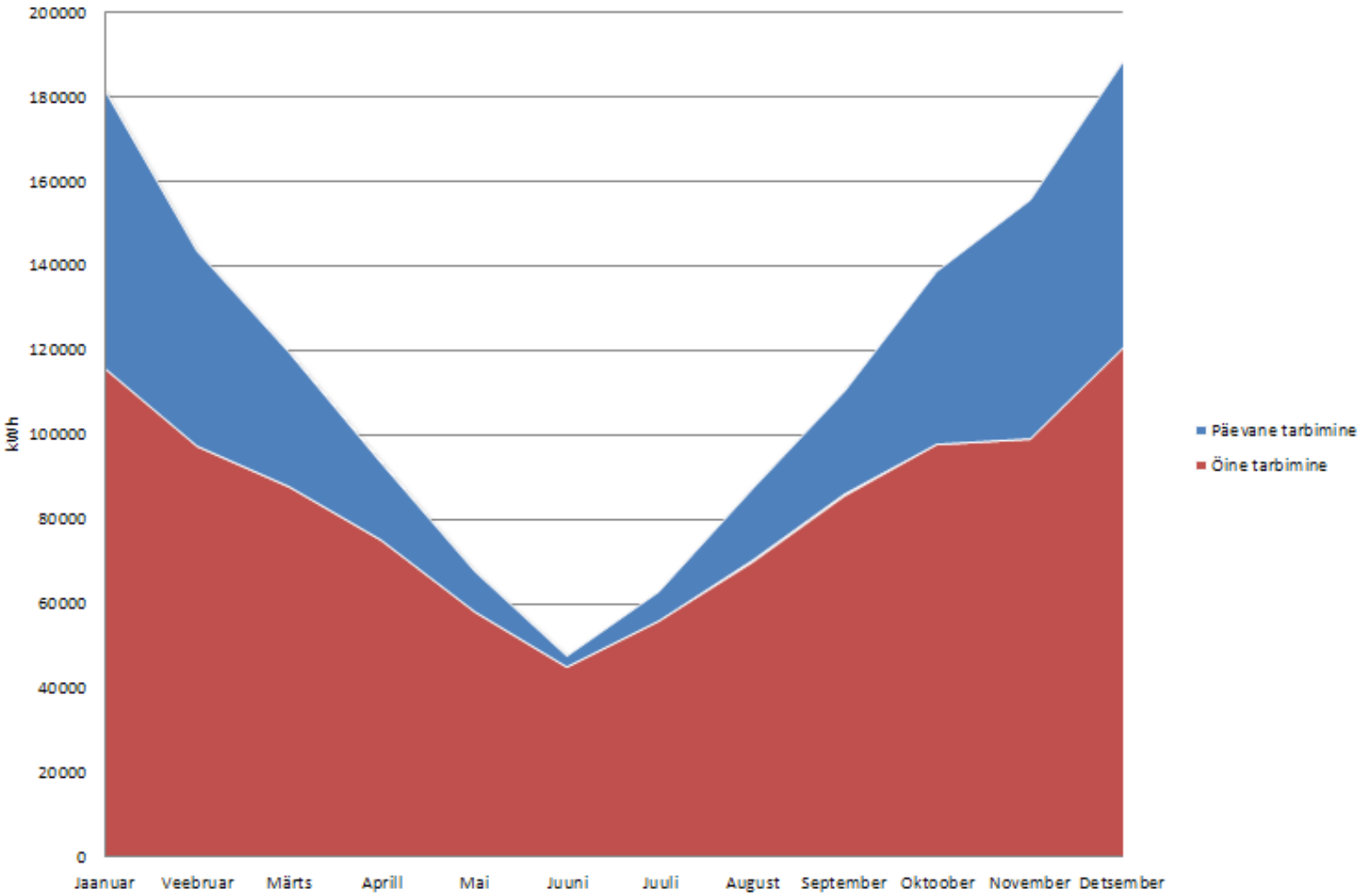
Graafik D.3. Valgustuskilbi VK 68 20112 aasta energiatarve.



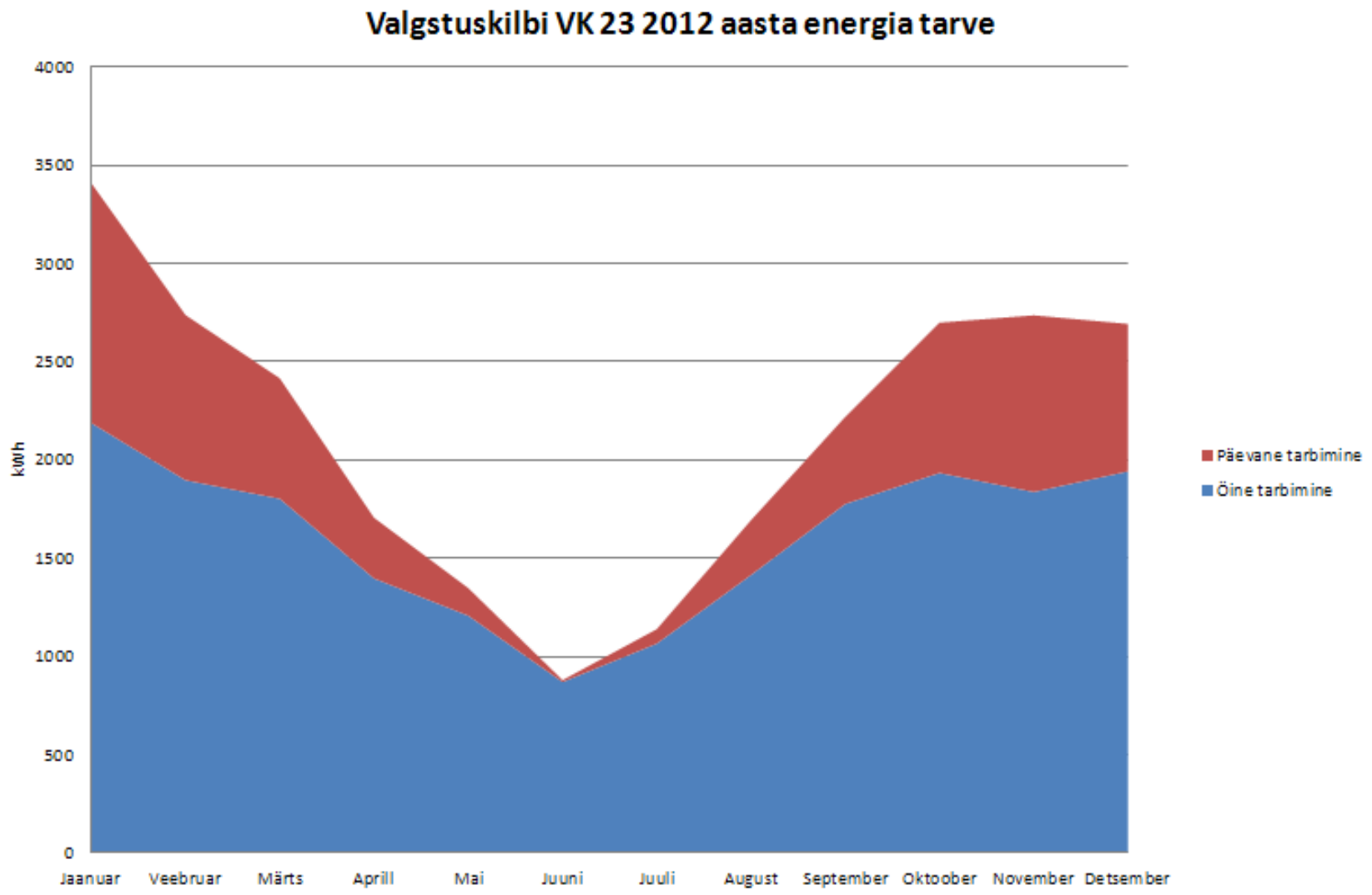
Graafik D.4. Valgustuskilbi VK 71 2012 aasta energiatarve.



Graafik D.5. Kogu linna valgustuse 2012 aastane tarbimisegraafik.



Graafik D.6. Kogu linna tarbimine 2012 aasta näitel LED-valgustite ja nende juhtimisega.



Graafik D.7. Valgustuskilbi tarbimine 2012 aasta näitel LED-valgustite ja nende juhtimisega.

LISA E. JOONISED

Joonis E.1. Asendiplaan

Joonis E.2 VK 23 kilbiskeem

Joonis E.3. VK 23 automaatika skeem

Joonis E.4. VK 23 elektriskeem