



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

www.emu.ee



Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Tallinna tänavavalgustussüsteemi moderniseerimine päikesepaneelide kasutuselevõttuga

Elektroenergeetika instituut
Kõrgepingetehnika õppetool
Hajaenergeetika õppekava

Magistritöö

Õppetooli juhataja prof J. Valtin

Juhendaja prof J. Valtin

Lõpetaja M. Altof

Tallinn 2015

Autori deklaratsioon

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudile haridusastme lõpudiplomi taotlemiseks hajaenergeetika õppekava alusel. Selle lõputöö alusel ei ole varem kutse- ega teaduskraadi ega inseneridiplomit taotletud.

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) _____

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i>	Maria Altof	<i>Lõputöö liik:</i>	magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i>	TALLINNA TÄNAVAVALGUSTUSSÜSTEEMI MODERNISEERIMINE PÄIKESEPANEELIDE KASUTUSELEVÕTUGA		
<i>Kuupäev:</i>	27.05.2015		64 lk
<i>Ülikool:</i>	Tallinna Tehnikaülikool		
<i>Teaduskond:</i>	Energeetika		
<i>Instituut:</i>	Elektroenergeetika		
<i>Töö juhendaja(d):</i>	prof. J. Valtin		
<i>Sisu kirjeldus:</i>	<p>Käesoleva diplomitöö eesmärk on uurida võimalust kasutada Tallinna tänavavalgustuse moderniseerimiseks päikesepaneele.</p> <p>Töö käigus uuriti kõiki päikesepaneelide tööd mõjutavaid ilmastikutingimusi. Peale selle uuriti turul saadaval olevate sobivate päikeseenergia tootmise seadmete variante, neile esitatud nõudeid ja nende põhimadusi. Töös on esitatud ka mõnede India ja Austraalia tänavavalgustussüsteemide päikesepaneelipõhise moderniseerimise projektide tulemused. Lõpuks modelleeriti EnergyPRO-programmi ja Riigi Ilmateenistuse esitatud andmete põhjal Tallinna Järvevana teelõigu võimalik päikesevalgustussüsteem, selle koormusgraafik ja projekti kulud.</p> <p>Saadud tulemusi on töös analüüsitud ja hinnatud kogu Tallinna linna ulatuses.</p>		
<i>Märksõnad:</i>	<p><i>Tänavavalgustus, päikesepaneelid, päikesepaneelipõhine lahendus, elektriseadmete valik, tarkvara EnergyPRO</i></p>		

Summary of the diploma work

<i>Author:</i> Maria Altof	<i>Kind of thesis:</i> masters thesis
<i>Title:</i> TALLINN STREET LIGHTNING SYSTEM MODERNISATION WITH DEPLOYMENT OF SOLAR PANELS	
<i>Date:</i> 27.05.2015	<i>64 pages</i>
<i>University:</i>	Tallinn University of Technology
<i>Faculty:</i>	Power Engineering
<i>Department:</i>	Electrical Power Engineering
<i>Tutors of the work: :</i>	Prof J. Valtin
<i>Abstract:</i>	
<p>The purpose of this degree work is to investigate the possibility of applying solar panels for the modernization of street lighting of Tallinn.</p> <p>In course of the work were investigated all climatic conditions that can affect the operation of solar panels. Also there were investigated variations of available on the market suitable devices, needed for the production of solar energy, their requirements and main characteristics.</p> <p>In addition, the paper presents the results of already completed projects of the modernization of street lighting in India and Australia.</p> <p>Finally, using the EnergyPRO program and the data provided by the National Weather Service, was modeled possible solar lighting system on the section of Järvevana road, its production schedule and project costs.</p> <p>The results were analyzed and estimated for application in the entire city.</p>	
<i>Key words:</i>	
<p><i>Street lighting, solar panels, solution with introduction of solar panels, selection of electrical equipment, software EnergyPRO</i></p>	

Резюме заключительной работы

<i>Автор:</i> Мария Альтоф	<i>Вид работы:</i> магистерская работа
<i>Название работы:</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ ТАЛЛИННСКОЙ СИСТЕМЫ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ	
<i>Дата:</i> 27.05.2015	<i>64 страниц</i>
<i>Университет:</i>	Таллинский Технический Университет
<i>Факультет:</i>	Энергетики
<i>Институт:</i>	Электроэнергетики
<i>Руководитель:</i>	Юхан Валтин
<i>Реферат:</i>	
<p>Целью данной дипломной работы является исследование возможности применения солнечных панелей для модернизации системы уличного освещения города Таллинн.</p> <p>В ходе работы были исследованы все климатические условия, оказывающие влияние на работу солнечных панелей. Также были изучены варианты представленных на рынке подходящих устройств, необходимых для производства солнечной энергии, предъявляемые к ним требования и основные характеристики. Помимо этого, в работе представлены результаты уже выполненных проектов по модернизации уличного освещения в Индии и Австралии.</p> <p>В завершение с помощью программы EnergyPRO и данных предоставленных Национальной службой погоды была смоделирована возможная система солнечного освещения на участке дороги Ярвевана, её график нагрузки и затраты на реализацию проекта. Полученные результаты были проанализированы и оценены для применения на территории всего города.</p>	
<i>Ключевые слова:</i>	
<p><i>Уличное освещение, солнечные панели, решение с использованием солнечных панелей, выбор оборудования, программа EnergyPRO</i></p>	

Sisukord

1.	Sissejuhatus.....	14
2.	Hetkeseisu hindamine.....	16
2.1	Tallinna välisvalgustuse juhtimine	16
2.2	Tallinna välisvalgustuse liigitus	16
2.2.1	Tänavavalgustus	16
2.2.2	Linnaruumielementide valgustus.....	17
2.2.3	Vanalinna valgustus.....	18
2.2.5	Pargivalgustus.....	19
2.2.6	Mälestussammaste valgustus.....	19
3.	Ressursside hindamine	20
3.1	Päikesepaiste kestus.....	20
3.2	Päikesekiirgus.....	20
3.3	Temperatuur	21
3.4	Õhuniiskus.....	21
4.	Päikesepaneelide efektiivsust mõjutavad faktorid	22
4.1	Päikesepaneelide mooduli temperatuur	22
4.2	Kaldenurk	23
4.3	Päikesepaneelide suund.....	25
4.4	Inverteri kaod.....	26
4.5	Juhtmestiku kaod	26
5.	Varasemaa rakendatud projektid.....	27
5.1	Sydney, Austraalia.....	27
5.1.1	Üldine olukord	27
5.1.2	Tänavavalgustite väljavahetamine	27
5.1.3	Päikesepaneeli põhine tänavavalgustus.....	27
5.1.4	Tingimuste sobivus	27
5.1.5	Järeldus	28
5.2	Nagpur, Maharashta, India.....	28

5.2.1	Üldine olukord	28
5.2.2	Päikesepaneelipõhiline tänavavalgustus.....	28
5.2.3	Järeldus	29
5.3	Tänavavalgustussüsteemi moderniseerimisest saadud kogemus	29
6.	Järvevana välisvalgustuse elektriliini hetkeseis	30
6.1	Järvevana liini kirjeldus	30
6.2	Kasutatud valgustid.....	31
6.3	Valgustamiserežiim	33
7.	Alternatiivse lahenduse kirjeldus	34
7.1	Päikesepaneelid	35
7.2	Kõrgrõhunaatriumlampide asendamine LED leedlampidega	35
7.3	Kontrollerid	35
7.4	Akupangad.....	35
7.5	Inverterid	36
7.6	Võrguga liitumine	36
8.	Kasutatavate seadmete valimine	37
8.1	Päikesepaneelide valimine	37
8.1.1	Fotoelementide tüübid	37
8.1.2	Paneelide suurus	37
8.1.3	Paneelide tüübid	37
8.2	LED valgustite valimine	38
8.3	Akupangade valimine	40
8.4	Kontrollerite valimine	41
8.4.1	Kontrollerite tüübid.....	41
8.4.2	Kontrollerite võimsused.....	42
8.5	Inverterite valimine	42
8.5.1	Inverterite tõhusus	42
8.5.2	Voolu kuju.....	42
8.5.3	Detailsus.....	43

8.5.4	Nominaalkoormuse lühiajaline nominaalkoormuse ületamise lubamine.	43
8.5.5	Aku laadimise töörežiim	43
8.6	Vajalikke seadmete valimise kokkuvõte.....	44
9.	Süsteemi modelleerimine	45
9.1	Modelleerimise eesmärk	45
9.2	EnergyPro tarkvara ülevaatus.....	45
9.3	Modelleerimise algandmed	45
9.4	Modelleerimise tulemused	48
9.5	Toodetud energiatoodangu piisavus moderniseeritud tänavavalgustuse süsteemi varustamiseks	50
9.6	Järeldus	51
10.	Majanduslik analüüs.....	52
10.1	Arvutusmeetod.....	52
10.2	Praeguse genereerimise kulud	52
10.3	Alternatiivse genereerimise kulud	53
10.3.1	Projekti tasuvus	53
10.3.2	Taastuenergia toetus.....	54
10.3.3	Majanduslikud näitajad	54
11.	Alternatiivi eelised ja puudused	56
11.1	Eelised	56
11.2	Puudused	56
11.3	Järeldus	56
12.	Lahenduse sobivus kasutamiseks Tallinna tingimustes	57
13.	Kokkuvõte	58
	Kirjanduse loetelu	60
	Lisa 1 63.....	63

Tabelite loetelu

<i>Tabel 2.2. Tallinna tänavavalgustus aastatel 2007 ja 2021.</i>	17
<i>Tabel 3.1 Päikesepaiste kestus Tallinna piirkonnas tundides 2014. aastal.</i>	20
<i>Tabel 6.2. Liinil kasutatud valgustid.</i>	32
<i>Tabel 8.1. Eri tootjate 250 W päikesepaneelide võrdlus.</i>	37
<i>Tabel 8.2.1. 250 W kõrgrõhunaatrium aurulampide asendamine leedvalgustitega.</i>	38
<i>Tabel 8.2.2. 150 W kõrgrõhunaatrium aurulampide asendamine leedvalgustitega.</i>	38
<i>Tabel 8.2.3. 100 W kõrgrõhunaatrium aurulampide asendamine leedvalgustitega.</i>	38
<i>Tabel 8.2.4. 70 W kõrgrõhunaatrium aurulampide asendamine leedvalgustitega.</i>	38
<i>Tabel 8.2.5. 50 W kõrgrõhunaatrium aurulampide asendamine leedvalgustitega.</i>	38
<i>Tabel 8.2.6. Tänavavalgustuse energiatarve kõrgrõhunaatriumlampide kasutamisel.</i>	39
<i>Tabel 8.2.7. Tänavavalgustuse energiatarve leedlampide kasutamisel.</i>	39
<i>Tabel 8.2.8. Kasutatud leedtänavavalgustite hinnad.</i>	40
<i>Tabel 8.3. Eri tootjate 48 V 800 Ah akupankade võrdlus.</i>	41
<i>Tabel 8.4. Eri tootjate 20 A 48 V kontrollid.</i>	42
<i>Tabel 8.5. Eri tootjate 20 A 48 V inverterite võrdlus.</i>	44
<i>Tabel 8.6. Vajalike seadmete hinnanguline maksumus.</i>	44
<i>Tabel 9.4 Võimalik energia muundamine kuude kaupa jaanuarist 2016 kuni detsembrini 2016.</i>	49
<i>Tabel 9.5. Päikesepaneelide toodetud ja kõrgnaatrium- või leedlampidega valgustussüsteemi tarbitud energia vahe.</i>	50
<i>Tabel 10.2. Uuritaval liinil 2014. aastal tarbitud elektri hind.</i>	53
<i>Tabel 10.3. Projekti majandusnäitajad.</i>	55

Jooniste loetelu

<i>Joonis 2.2. Välisvalgustite arv Tallinnas 2012. aastal</i>	18
<i>Joonis 3.2. Summaarne päikesekiirgus Tallinnas aastatel 2011 - 2013(kWh/m²).....</i>	21
<i>Joonis 4.1. Temperatuuride vahe ja päikesekiirguse sõltuvus.</i>	23
<i>Joonis 4.2. Optimaalne päikesepaneelide kaldenurk Tallinna piirkonnas.</i>	24
<i>Joonis 4.3. 1kW päikesepaneeli toodang Tallinnas olenevalt valguse suunast (kWh/m²). [10]...25</i>	
<i>Joonis 6.1.1. Vaadeldav Järvevana liini osa.</i>	30
<i>Joonis 6.1.2. Järvevana elektriliin koos alajaamade ja kappidega.....</i>	31
<i>Joonis 7.1. Uuendatud tänavavalgustusmasti näide.</i>	34
<i>Joonis 7.4. Päikesepaneeliga varustatud masti skeem.</i>	35
<i>Joonis 7.5. 48 V akupanga ehitus.</i>	36
<i>Joonis 8.5. Voolu kuju inverteri väljapääsul: a - ristkülikukujuline, b - kolmnurgakujuline, c - modifitseeritud siinus, d - puhas siinus.</i>	43
<i>Joonis 9.3.1. Päikesepaneelide paigaldamise parameetrid.</i>	46
<i>Joonis 9.3.2. Agregeeritud päikesekiirgus Tallinnas, 2014. aasta graafik.</i>	47
<i>Joonis 9.3.3. Õhutemperatuur Tallinnas 2014. aastal.....</i>	48
<i>Joonis 9.4. Päikeseplatade energia toodang Tallinnas 2014. aastal.</i>	49
<i>Joonis 10.3. Projekti osade maksumus.</i>	54

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: **Tallinna tänavavalgustussüsteemi moderniseerimine päikesepaneelide kasutuselevõtuga**

Üliõpilane: **Maria Altof, 132874**

Lõputöö juhendaja: **prof Juhan Valtin**

Õppetool: **Hajaenergeetika**

Õppetooli juhataja: **prof Juhan Valtin**

Lõputöö esitamise tähtaeg: **27.05.2015**

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppetooli juhataja (allkiri)

Lähteandmed

- Tallinna Energiaagentuur: tänavavalgustite praegune seisukord.
- Elektrilevi: Järvevana tänava elektriliini tehnilised andmed (valgustite arv, kasutatud seadmed, tööpinge, liini pikkus jne).
- Riigi Ilmateenistus: päikesekiirguse ja õhutemperatuuri andmed.
- Nord Pole Spot: elektrienergia hinnad.

1. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu

- Uuringute analüüs.
- Süsteemi modelleerimine – EnergyPRO.
- Majanduslik analüüs.

2. Graafiline osa

- Tänavavalgustuse võrgu konfiguratsioon ning selle arvutused EnergyPRO baasil.

3. Lõputöö konsultandid (vajaduse korral)

Töö osa pealkiri

Konsultandi nimi (allkiri, kuupäev)

Töö osa pealkiri

Konsultandi nimi (allkiri, kuupäev)

Eessõna

See magistrikraadi lõputöö on kirjutatud Tallinna Tehnikaülikooli energeetikateaduskonna hajaenergeetika õppetooli juhendaja Juhan Valtini juhendamisel. Lõputöö teema pakkus välja autor.

Soovin tänada Tallinna Energiaagentuuri, Keskkonnaagentuuri ja Elektrilevi juhatust esitatud andmete eest. Sealhulgas tänan vajalike andmete saamise abi eest Ave Truhanovit, Andrus Krahti, Larissa Mitjušinat ja Lii Roosipuud, ning Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika instituudi professorit Juhan Valtinit.

Mustamäe tee 96-51, Tallinn

,

1. Sissejuhatus

Kvaliteetne tänavavalgustus parandab nii linnaelu kvaliteeti kui ka aitab vähendada elektrienergia tarbimist ja heitkoguseid, sealhulgas CO₂. Linna elektrisüsteemi optimeerimine, kaasates alternatiivseid energiaallikaid, aitab kokku hoida kümneid tuhandeid eurosid aastas.

Linna valgustussüsteemi parandamiseks võivad kohalikud omavalitsused kasutada erinevaid meetmeid, näiteks:

- 1) energiatõhususe parandamist (tööaja lühendamine, olemasolevate lampide energiasäästlikumate lampidega asendamine vms);
- 2) autonoomsete fotoelektriliste (PV) paneelide kasutuselevõttu linna tänavavalgustuses;
- 3) linna tänavavalgustuse sisselülitusgraafiku asendamist autonoomse süsteemi anduritega jne.

Tavaliselt kasutatakse linnade tänavavalgustussüsteemide moderniseerimiseks mitmesuguseid meetmeid olenevalt konkreetsetest eesmärkidest, prioriteetidest ja olukordadest.

Käesolevas artiklis tutvustatakse selliste linnade tänavavalgustussüsteemide moderniseerimist, nagu Sydney (Austraalia) ja Nagpur (India).

Tallinna linnal on suur päikeseenergia kasutamise potentsiaal, mida praegu piisavalt ei rakendata. Juba peaaegu 20 aastat kasutatakse Eesti hajaenergeetikas edukalt päikesepaneel.

Päikeseenergia kasutamine sellises valdkonnas nagu tänavavalgustus, mis on linna jaoks oluline kuluartikkel, võib vähendada oluliselt elektrienergia kulusid ja suurendada energiasüsteemi sõltumatust taastumatutest energiaallikatest.

Tallinna tänavavalgustuses on viimase kümne aasta jooksul toimunud suured muutused.

Tänavavalgustite arv on kasvanud 1,6 korda, aga nende elektritarbimine ei ole kasvanud. See sai võimalikuks tänu efektiivsemate valgustustite kasutuselevõtule. Linnatänavate valgustust peetakse praegu piisavaks ning lähikümnenditel see täiendamist ei vaja, seega selle elektritarbimine ei kasva. Tehnilise lahenduse arendamise ja parima jaotamise kaudu on võimalik saavutada parem valgustus.

Antud lõputöös tehakse ettepanek varustada kõik Tallinna tänavavalgustuse ühikud autonoomse päikesepaneeliga, mis toodaksid päikesepaistelisel päeval elektrit, ja akupangaga, mis salvestab energia lampide tööks pimedal ajal (vt 7. "Alternatiivse lahenduse kirjeldus"), ja ühendada süsteem paralleelselt võrguga.

Antud töö hõlmab Tallinna praeguse tänavavalgustuse tehnilise seisukorra hindamist, kliima- ja keskkonnatingimuste sobivuse hindamist ja soovitatud alternatiivi tehniliste omaduste üksikasjalikku kirjeldust seadmete kehtiva kataloogi näitel.

Peale selle on töös modelleeritud linna valgustussüsteem ja tänavamasti võimalik tööskeem. Lisaks on vaadeldud ja analüüsitud mõningaid aktuaalseid teemaga seotud artikleid ja aruandeid. Selline moderniseerimislahenduse töö vastab Eesti taastuvenergia tegevuskavale aastani 2020.

Töö eesmärk on teada saada, kas teemakohane alternatiiv on majanduslikult tasuv ja kuidas see sobib Tallinnas rakendamiseks. Lisaks on eesmärk uurida alternatiivi tehnilisi ja majanduslikke eeliseid ja puudusi ning prognoosida edasist arengut.

Lõputöö annab ülevaate päikesepaneelide kohaldamisest Tallinna tänavavalgustussüsteemi baasil. Lisaks on töös esitatud mitmeid võrdlustabeleid ja graafikuid.

2. Hetkeseisu hindamine

Viimastel aastatel on Tallinna tänavavalgustus süsteemi juba ulatuslikumalt uuendatud.

Peaaegu kõik vanad elavhõbelambid on vahetatud säästlikumate kõrgrõhunaatriumlampide vastu. Lisaks on loodud uued ja taastatud vanad tänavavalgustus liinid, on võetud kasutusele uued tehnilised lahendused tänavate tõhusamaks valgustamiseks ja säästlikum valgustuse juhtimine. Tallinna välisvalgustite arv ulatus juba 2012. aastal üle 53 800. [1]

2.1 Tallinna välisvalgustuse juhtimine

Praegu kasutatakse linna erinevates osades nii tänavavalgustuse sisse-väljalülitamise graafikut kui ka anduritega süsteemi, mis lülitab valgustuse sisse- või välja olenevalt päevavalgustuse tasemest.

Tänavavalgustussüsteemi juhitakse Elektrilevi AS.

Energiakulude vähendamiseks saab sisse-väljalülitamis graafiku asendada automaatsete anduritega. See tehnoloogiline lahendus valgustab kõnniteed ja sõiduteed ainult siis, kui seda on tarvis, ja aitab vähendada valgustussüsteemi elektritarbimist.

Teiselt poolt eeldab selle valgustussüsteemi kasutuselevõtt suuri investeeringuid. Kasutatava energiahulga vähendamiseks teatud perioodidel võib vähendada valgustuse taset kuni 50%.

Valgustust saab reguleerida öösel, kui liiklussagedus on vähenenud, ja ka selliste loodusnähtuste korral nagu vihm, udu, lumi jne.

2.2 Tallinna välisvalgustuse liigitus

2.2.1 Tänavavalgustus

Tänavavalgustuse energiatarbimine moodustab kõige suurema osa kogu välisvalgustuse elektritarbimisest.

Tabelis 2.2 on esitatud Tallinna tänavavalgustust iseloomustavad sihtarvud aastatel 2007 ja 2021. Nagu tabelist näha, on neljateistkümne aasta jooksul kavas suurendada tänavavalgustite arvu 25% , aga energiatarbist oluliselt vähem (8%). [2]

Hetkel on linnas kasutusel juba rohkem kui 50 000 tänavavalgustit.

Tabel 2.2. Tallinna tänavavalgustus aastatel 2007 ja 2021.

	2007	2021
Tänavavalgustite arv (tk)	45 000	60 000
Valgusti keskmine ühikvõimsus (W)	192	156
Tänavavalgustuse koguvõimsus (kW)	8 640	9 360
Tänavavalgustuse energiatarbimine (MWh)	34 569	37 440

Tänavavalgustuse paigaldamisel ja moderniseerimisel kasutatakse suurema võimsusega lampe. See aitab vähendada valgustite arvu ja tõhusamalt kontrollida valguse hulka, kaotamata heleduses.

Üheks võimalikuks tehniliseks lahenduseks on leedvalgustite kasutuselevõtmine. Põhja-Tallinnas on praegu juba kasutusel leedtänavavalgustus, mis võimaldab tulevikus hinnata selle kasutamise potentsiaali teistes linnaosades.

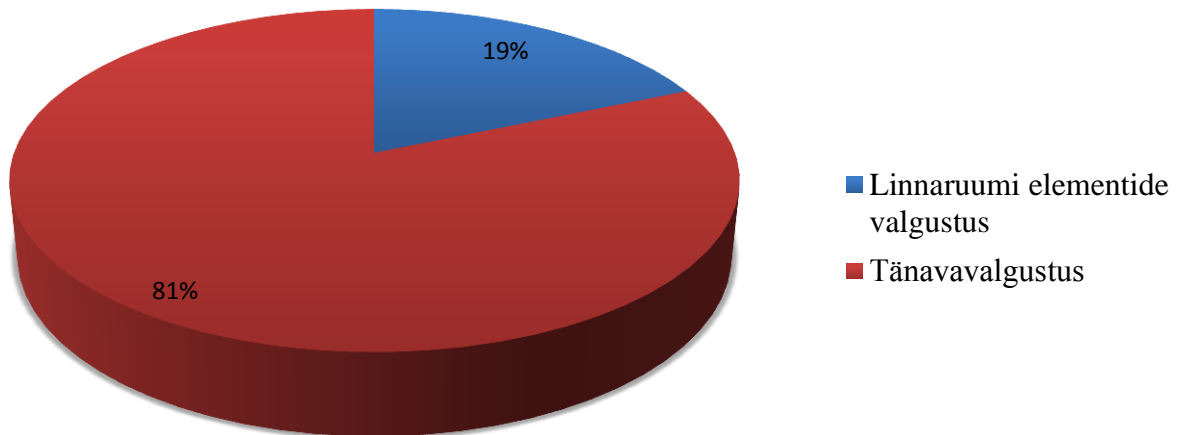
Hetkel on leedvalgustuse tehniline tase üldiseks kasutamiseks ebapiisav ja selle hind on veel liiga suur. Mõnede 50-150 W leedlampide hind ületab 300 eurot. Hinnad alanevad tehnoloogia arenedes. Leedvalgustite massiliseks kasutamiseks peab ka nende kvaliteet ja töökindlus paranema.

Keskmist võimsuseühikut saab vähendada, kui uutel ja ümberehitatud teedel võtta kasutusele võimsamad valgustusseadmed. Tänavavalgustitega tarbitud elektrienergia kogust saab olenemata valgustite arvu suurendamisest stabiliseerida või vähendada säästurežiimi, väiksema tööstusvoolu ja tõhusama valgustuse abil.

2.2.2 Linnaruumielementide valgustus

Joonisel 2.2 on toodud jaotus välisvalgustite rakenduse järgi. Enamiku linna välisvalgustitest moodustavad tänavavalgustid ja vähem kui veerandi on hoonete ja monumentide valgustid.

Välisvalgustite arv Tallinnas (2012)



Joonis 2.2. Välisvalgustite arv Tallinnas 2012. aastal [2]

On üsna raske eristada linnaruumi elementide ja tänavavalgustust, sest neil on sageli sama toiteallikas. Viimastel aastatel on just selles sektoris suurimad muutused toimunud. Kui 1997. aastal moodustasid linnaruumi elementide valgustid umbes 5% kõikidest kasutatud välisvalgustitest (1 400 valgustit 28 400-st), siis juba 10 aastat hiljem moodustasid need juba pisut üle 15% (7 000 valgustit 45 660-st). Seega kasvas linnaruumi elementide valgustite arv olulise välisvalgustite arvu suurendamise (1,6 korda) foonil, geomeetrilises progressioonis (täpselt viis korda). Praegu on Tallinnas paigaldatud linnaruumi elementide valgustite koguvõimsus 1 MW ja linnaruumi elementide valgustamiseks kulub elektrit 4 GWh. [1]

2.2.3 Vanalinna valgustus

Üheks olulisemaks piirkonnaks Tallinna valgustamisel on vanalinn. Eriti oluline on, et selle valgustus oleks nii keskkonnasõbralik kui ka kvaliteetne. Vanalinna kaabelvõrgud on osaliselt vananenud ja paljud valgustid on tehniliselt ebaefektiivsed.

Enamik vanalinnas kasutatud lampidest on 250 W kõrgrõhunaatriumlambid, milles ei kasutata reflektoreid. Seetõttu, on nende kasutegur suhteliselt madal. Üldiselt võib öelda, et vanalinna valgustus on üsna hea, sest peaaegu kõik tänavad on piisavalt valgustatud ja valguse intensiivsus on üsna kõrge.

Peamiseks vanalinna valgustuse puuduseks peetakse hoonete fassaadide ebapiisavat valgustust. Selle põhjuseks on neist enamiku eraomandisse kuulumine. [2]

2.2.4 Kergliiklusteede valgustus

Kõnni- ja jalgrattateede valgustus on tänava- ja teede valgustuse kombinatsioon. Mõnede teede valgustamiseks (näiteks Haabersti ja Nõmme suunas) piisab tavapärasest tänavavalgustusest ja teised (näiteks Pirita jalgrattatee, mis asub 10 meetri kõrgusel sõiduteelt) vajavad eraldi valgustust.

Samuti väärivad eraldi märkimist suusa- ja terviserajad. Kõige pikemad asuvad Pirital (7,2 km, tarbitava võimsusega 20 kW) ja Nõmmel (15 km, tarbitava võimsusega 50 kW). Tavaliselt paigaldatakse sellistele radadele – iga 20 meetri järele 70 W võimsusega tänavavalgustid, mis põlevad graafiku järgi (tavaliselt 6:00-23:00). [2]

2.2.5 Pargivalgustus

Suured muutused on toimunud ka pargivalgustuses. Praegu on enamik Tallinna parkidest öösel hästi valgustatud. Pargivalgustuse edukaks parandamiseks tuleb arvesse võtta maastikku ja taimede kasvuks vajalikke tingimusi.

Praegu kasutatakse parkide valgustamiseks peamiselt kõrg rõhuelavhõbelampe. Olgugi et sellised lambid tarbivad rohkem energiat, annavad nad meeldivat valgust.

Kõrgrõhunaatriumlampe tavaliselt parkide valgustamiseks ei kasutata, seda peamiselt valguse moonutamise tõttu, eriti rohelises spektri osas.

2.2.6 Mälestussammaste valgustus

Kõiki linna monumente ja mälestusmärke valgustatakse nii võrgu- kui ka täiendava valgustuse abil, mille tõttu on võimatu mälestusmärkide energiatarbimise kohta eraldi andmeid esitada.

Objekte valgustatakse nii standardsete välisvalgustite (välisvalgustus mastid), kui ka spetsiaalsete prožektorite abil. [2]

3. Ressursside hindamine

3.1 Päikesepaiste kestus

Edukaks päikesepaneelide kasutamiseks on vaja piisavalt päikeseenergiat. On oluline, et võimalikult palju päikesekiirgusest jõuaks paneelile võimalikult pika ajaperioodi jooksul.

Tabelis 3.1 on toodud tundides päikesepaiste kestus Tallinnas 2014. aasta jooksul. [3] Eesti statistika andmebaasi andmetel oli 2014. aastal Tallinnas 2008,6 päikesepaistelisi tundi.

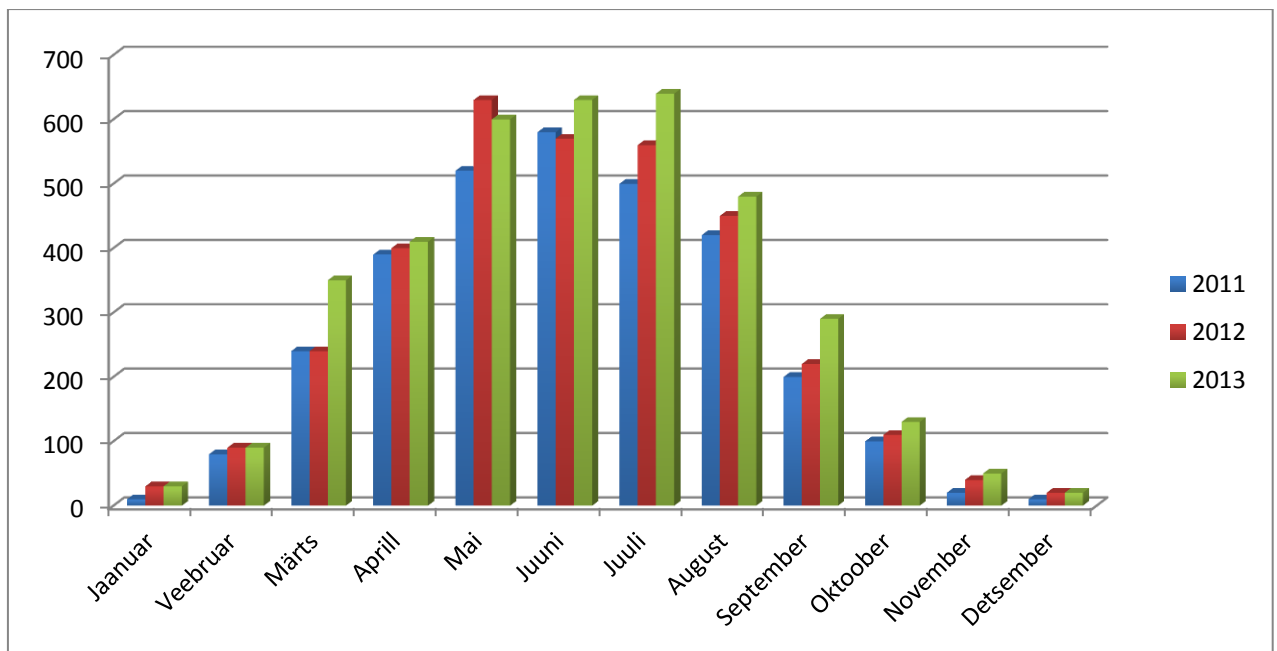
Tabel 3.1 Päikesepaiste kestus Tallinna piirkonnas tundides 2014. aastal.

Kuu	Päikepaiste kestus tundides
Jaanuar	68,6
Veebruar	27,6
Märts	203,2
Aprill	292,5
Mai	244,9
Juuni	204,5
Juuli	369,6
August	252,8
September	200,1
Oktoober	100,5
November	29,1
Detsember	15,2

Tabelist on näha, et kõige rohkem päikesepaistet oli perioodil märtsist septembrini (üle kaheksa tundi). See tähendab, et selles ajaperioodis on päikeseenergia toodang maksimaalne.

3.2 Päikesekiirgus

Joonisel 3.2 on näha päikesekiirguse intensiivsuse väikese kasvamise tendents, viimase kolme aasta jooksul. [4] 2013. aastal ületas päikesekiirguse summa kõigi varasemate aastate tulemusi. Nagu uuringud näitasid, on kiirgushulk optimaalselt orienteeritud pinnal Eestis peaaegu 1120 kWh/m². [5]



Joonis 3.2. Summaarne päikesekiirgus Tallinnas aastatel 2011 - 2013(kWh/m²).

3.3 Temperatuur

Soojas kliimas võib välistemperatuur päikesepaneelide efektiivsust oluliselt mõjutada. Tavaliselt saavad kvaliteetsed paneelid oma funktsioone täita temperatuurivahemikus -40 kuni +90 °C. Seega ei sega nende tööd antud kliimatingimustes isegi ebaloomulikult külm või kuum ilm. Kõrgete temperatuuride mõju päikesepaneelide tööle on võimalik, kuid see on tavaliselt mitte niivõrd välistemperatuurist, kuivõrd selle erinevusest päikesepaneelide mooduliga toodetud soojusest (vt 4.1. “Päikesepaneelide mooduli temperatuur”).

3.4 Õhuniiskus

Päikesepaneelid on vastuvõtlikud kõikidele keskkonnatingimustele, sealhulgas niiskusele. Uuringud näitavad, et suur õhuniiskus halvendab päikesepaneelide kvaliteedi. Kui niiskus tungib päikesepaneeli raami sisse, siis võivad fotoelektrilised näitajad oluliselt langeda, mis omakorda võib vähendada DC mooduli tootlikust.

Viimase 3 aasta andmete alusel saab järeldada, et suhtelise õhuniiskuse keskmised näitajad on Tallinnas vahemikus 64-94%. [3]

4. Päikesepaneelide efektiivsust mõjutavad faktorid

4.1 Päikesepaneelide mooduli temperatuur

Mooduli temperatuuri kasvamisel langeb selle väljundvõimsus. Väliitingimustes võivad päikesepaneelid tunduvalt soojeneda, sageli ulatub sisetemperatuur 75 °C-ni. [6]

Päikesevalguse toimel toodab päikeseptareid mitte ainult elektrit, vaid ka soojust, mis võib põhjustada mooduli temperatuuri tõusu. Temperatuuri tõus toob kaasa ka mõningaid soovimatuid tagajärgi. Pinge kasvamisega suureneb ptareid lagunemiskiirus umbes kaks korda iga 10°C kohta.

Tavapärane päikeseptareid muundab umbes 15% paneeli pinnale jõudnud päikeseenergiast elektrienergiaks, ülejäänud muundub soojuseks. Mooduli kuumenemisele mõjuvad paljud tegurid, sealhulgas peegeldus mooduli pinnast, fotoelektrilise mooduliga valguse neeldumine päikeseelementidega mitte kaetud kohtades, mooduli elektriline tööpunkt, infrapunakiirguse neeldumine jne.

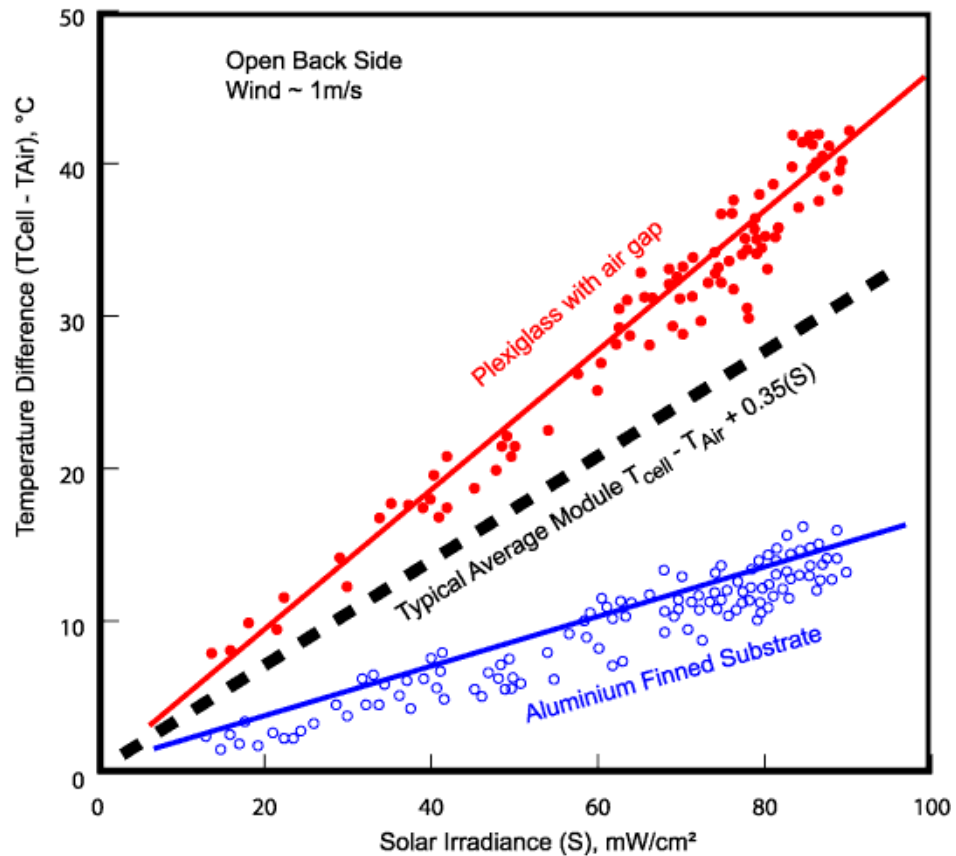
Soojusjuhtivus tuleneb soojusgradiendist PV-mooduli ja teiste moodulit ümbritsevate kehade vahel. Tasakaalustatud homogeense keha jaoks võrdub soojusjuhtivus:

$$\Delta T = \Phi P_s \quad (4.1)$$

ΔT — kahe kehade vaheline temperatuur (K).

Φ — mooduli pinnast soojust kiirgav soojusjuhtivus (K/W)

P_s — PV-mooduliga toodud energia (W)



Joonis 4.1. Temperatuuride vahe ja päikesekiirguse sõltuvus. [7]

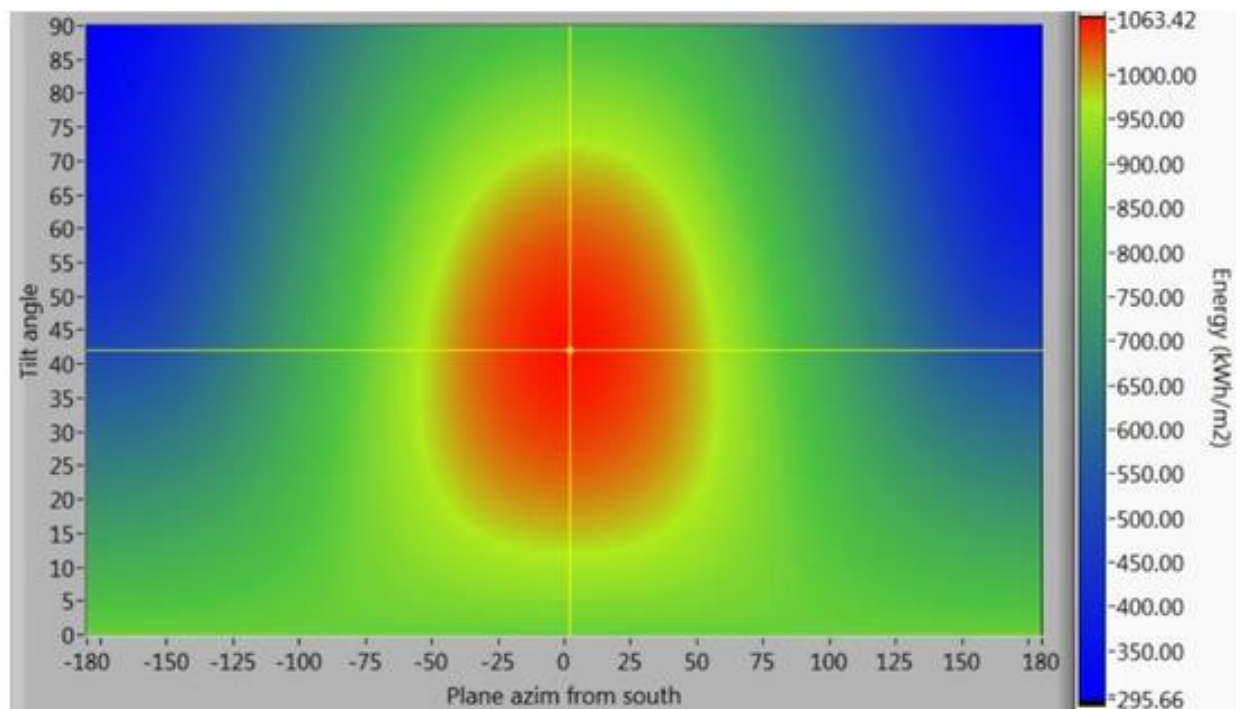
Joonis 4.1 näitab keskkonna ja mooduli temperatuuride vahe sõltuvust päikesekiirgusest. Nagu jooniselt näha, kasvab temperatuur kõikide mooduli tüüpide puhul päikesekiirguse intensiivsuse kasvuga.

Mooduli katsetamise temperatuur on keskmise mooduli puhul - 48 °C, parima (pleksiklaasist õhuvahega) mooduli puhul - 33 °C ning halvima (alumiiniumprofiilpõhjaga) - 58 °C. [7]

4.2 Kaldenurk

Joonisel 4.2 on toodud diagramm, mis näitab päikesepaneelide tõhusust eri kaldenurkade kasutamisel. Nagu diagrammist näha, on Eestis optimaalne paigaldada päikesepaneelid umbes 40° kaldenurgaga. Selline asend sobib kõige paremini, kui on vaja saada aastaringselt maksimaalne kogus energiat.

Sellest asendist kõrvalekaldest olenevalt väheneb ka päikesepaneelide tõhusus, näiteks 5% edela suunal ja 20% lääne suunal. [8]



Joonis 4.2. Optimaalne päikesepaneelide kaldenurk Tallinna piirkonnas.

Talvekuudel, kui päikesevalguse langemisnurk muutub väiksemaks ning päikesepaneelid võivad olla osaliselt kaetud jää või lumega, langeb paneelide tootlikus peaaegu 8%. [8] Sellistes tingimustes on tavaliselt soovitatav valida päikesepaneelide kaldenurgaks paigaldamiskoha geograafilisest laiuskraadist 15° suurem nurk (Tallinna jaoks peaaegu 74° kraadi). [9]. Seetõttu on mõttekas kasutatavate paneelide kaldenurka talveperioodil suurendada. Mida suurem on paneelide kaldenurk, seda väiksem on tõenäosus, et paneelid tugeva lumetormi ajal lumega kattuvad, ning seda rohkem saavad paneelid päikese kiirgust.

Peale kaldenurga mõjuvad päikesepaneelide tõhususele ka muud tegurid, näiteks kõrgus maapinnast, varjustus jne.

Autonoomsete päikesepaneeli süsteemide kasutamisel oleks mõistlik valida süsteemi, mis võimaldaks paneelide kaldenurka aastaajast või muudest vajadustest olenevalt muuta.

Päikesepaneeli tootlikkust saab arvutada järgmise valemi põhjal:

$$E_{pp} = E_{pr} \times P_{pp} \times \frac{\eta}{P_{pr}} \quad (4.2.1)$$

kus

E_{pp} – päikesepaneeli tootlikus

E_{pr} – igakuine päikese paiste ruutmeetri kohta (päikese paiste tabeli tähenduses)

P_{pp} – päikesepaneeli nominaalvõimsus

η – kasutatud osade üldine efektiivsus

P_{pr} – maksimaalne päikesepaiste võimsus ruutmeetri kohta.

Kuu tootlikkuseks vajalik päikesepatarei nimivõimsus arvutatakse valemiga:

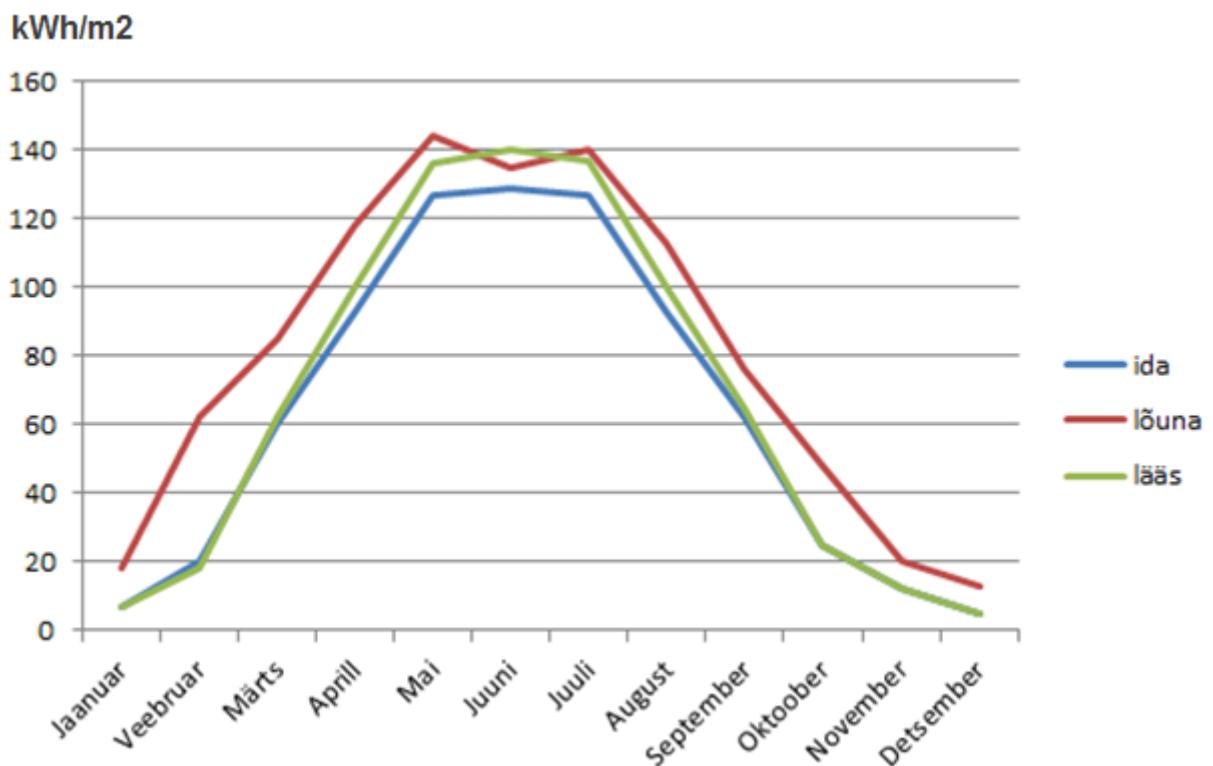
$$P_{pp} = P_{pr} \times \frac{E_{pp}}{E_{pr} \times \eta} \quad (4.2.2)$$

See valem sobib hästi patarei nominaalvõimsuse arvutamiseks mingil ajahetkel, kuid ei sobi selle hindamiseks aastaringselt.

4.3 Päikesepaneelide suund

Parimad tingimused elektrienergia tootmiseks saadakse paneelide suunamisel risti päikesevalguse suunaga.

Joonisel 4.3 on toodud Tallinna piirkonnas asuva päikesepaneelidega toodetud elektroenergia hulk, kui panel on 40° kaldenurgaga suunatud kas itta, lõunasse või läände.



Joonis 4.3. 1kW päikesepaneeli toodang Tallinnas olenevalt valguse suunast (kWh/m²). [10]

Nagu graafikust näha, saab kõige paremad päikesekiirguse hulga näitajad lõunasse suunatud ja kõige halvemad itta suunatud paneelidega. Tavaliselt paigaldatakse päikesepaneelid põhjapoolkera piirkondades, lõuna suunas, mis on ks Eesti tingimustes kõige õigem suund.

4.4 Inverteri kaod

Päikesepaneelidega toodetud alalisvool (DC) tuleb edasiseks võrgus kasutamiseks inverteri abil vahelduvvooluks (AC) muunduda.

Nii muundamise protsessis kui ka moodulit ja invertrit ühendavates juhtmetes või võrgujuhtmetes võivad tekkida võimsuskaod. Inverteri kadude keskmine osakaal jääb päikesepaneelisüsteemides vahemikku 3-7%. [11]

4.5 Juhtmestiku kaod

Maksimaalne päikesepaneelisüsteemi koguvõimsus on alati väiksem kui kasutusel olevate moodulite maksimaalse võimsuse summa. See erinevus on tingitud väikestest kadudest, mis tekivad mooduleid ühendavates juhtmetes. Sellised kaod moodustavad 2%. [5] Võimsuskaod tekivad ka juhtmete takistuse tõttu. Need kaod tuleb minimeerida, kuid alla 3% kogu süsteemi võimsusest on neid kahjulikuks raske vähendada. Normaalseks peetakse kaotegurit 0,95.

5. Varasemaa rakendatud projektid

5.1 Sydney, Austraalia

5.1.1 Üldine olukord

Pärast Sydney2030 säästva arengu kava aastani 2030 vastuvõtmist 2006. aastal kinnitas linnavolikogu energeetika edasise arendamise eesmärgid ja sihid. Vastavalt kavale vahetata Sydneys praegu tänavavalgustusseadmeid välja. Seoses säästva arengu kava tegevustega on heitkoguste hulk viimase 6 aasta jooksul 20% vähenenud. Kohaliku omavalitsuse andmetel tekib suurim kasvuhoonegaaside hulk hoonete- ja tänavatevalgustamiseks vajaliku elektrienergia tootmisel.

5.1.2 Tänavavalgustite väljavahetamine

Kasvuhoonegaaside probleemi tõhusaks lahendamiseks otsustati asendada tänavavalgustid sääslikumatega. Kokku on Sydney tänavavalgustussüsteemis kasutuses 22 000 lampi, millest 13 500 kuuluvad Ausgrid-ile ja 8 500 linnavalitsusele. Linna koguelektritarbimine moodustab 13 100 MWh aastas, ning toodetud kasvuhoonegaaside hulk on 14 017 tonni.

Vastavalt säästva arengu kavale asendatakse linnas 6 450 kõrgrõhunaatriumlampi leedlampidega.

Leedvalgustite energiatarbimine ja tõhusus on palju väiksem kui praegu kasutatavates lampides. Peale selle on nende eluiga mitu korda pikem (40 000 tundi rohkem). See aitab oluliselt vähendada tekitatud jäätmete koguseid ja töös hoidmise kulusid.

5.1.3 Päikesepaneeli põhine tänavavalgustus

Säästva arengu kavas ei olnud tänavavalgustuse probleemi lahenduseks pakutud päikesepaneelide kasutuselevõttu, sest sellel lahendusel leiti olevat mitmeid puuduseid. Tänavavalgustussüsteemi moderniseerimine päikeseenergiat kasutades oli muudest lahendustest kallim. Peamiseks päikesepaneelidega lahenduse puuduseks oli hirm, et päikesepaneele ja nendega seotud seadmeid tootvad ettevõtted lõpetavad oma tegevuse enne seadmete garantiiaja lõppu.

5.1.4 Tingimuste sobivus

Tänavavalgustussüsteemi moderniseerimist mõjutasid mitmed tegurid. Esiteks põhines valitud lahenduse edu uuringute tulemustel, mis näitasid leedvalgustite rakendamist New Yorgi, Londoni, Hong Kongi ja Sydney tingimustes.

Ülalmainitud rahvusvaheline uuring võimaldas hinnata leedvalgustite tootlikust, lisaseadmete vajalikke parameetreid ning nõutava investeeringu suurust.

5.1.5 Järeldus

Alates Sydney2030 säästva arengu kava vastuvõtmisest on süsinikdioksiidi heitkogused vähenenud 44 973 ekvivalenttonnidelt kuni 38 664 ekvivalenttonnini. Sydney keskkonnaministeeriumi aruande järgi võimaldab leedvalgustite kasutamine säästa peaaegu 750 000 eurot aastas (hoolduskulud). Peale selle võimaldab leedvalgustite kasutamine vähendada valgustite võimsustarvet poole võrra ja süsinikdioksiidi heitkoguseid peaaegu 2 200 tonni aastas. Oluliselt suuremat kokkuhoidu on võimalik saavutada siis, kui teine võrguettevõtja asendab vanad valgustid leedlampidega.

5.2 Nagpur, Maharashta, India

5.2.1 Üldine olukord

Kohalikel omavalitsustel Indias on sageli probleem elanikkonna kvaliteetsel ja katkematul elektriga varustamisel. Seoses ebastabiilse elektritarnimise ja kiiresti kasvava rahvastiku pidevalt kasvava energiavajadusega on elektrivõrk sageli üle koormatud, mille tagajärjel on paljudes linnades ja külades elektrienergia puudus. Selle probleemi lahenduseks võib olla sõltumatute energiaallikate kasutamine.

Nagpuri linna peamiseks elektritarbijateks on reo- ja joogivee ettevõtted, transport ja samuti hoonete ja tänavavalgustus. Nagpur on esimene India linn, kus rakendatakse päikeselinna mudelit.

Aastal 2006 võeti vastu linna elektrisüsteemi säästva arengu kava, mille eesmärgiks on taastuenergiale üleminek ja linna elektritarbimise vähendamine.

5.2.2 Päikesepaneelipõhiline tänavavalgustus

Nagpuri tänavavalgustuse elektritarbimine ületas 2006. aastal 22 GWh, mis on peaaegu 37% linna kogutarbest.

Pärast põhjalikku tehnilis-majanduslikku analüüsi paigaldati Nagpurisse aastal 2006 päikesepaneeli põhilised tänavavalgustid. Linna eri osadesse paigaldati kas päikese lambid või säästulambid, et hinnata nende efektiivsust. Kuigi päikeselampide esialgsed rakendamiskulud olid suuremad, andsid need paremaid näitajaid kui säästulambid.

5.2.3 Järeldus

Nagpuris tehti põhjalik analüüs päikeseenergia kasutamise potentsiaali hindamiseks tänavavalgustussüsteemi moderniseerimisel.

Praegu on linnas rohkem kui 72 000 moderniseeritud tänavavalgustit.

Moderniseeritud süsteem sisaldab energiasäästlikke seadmeid valgustite automaatset sisse väljalülitamist valgustusseadmete niiskuse ja tolmukaitset jne.

5.3 Tänavavalgustussüsteemi moderniseerimisest saadud kogemus

Sobiv lahendus linna tänavavalgustussüsteemi moderniseerimiseks on olemasolevatest teguritest: olemasolevate loodusressursside kättesaadavusest, tehnilismajanduslike uuringute tulemustest vastavas valdkonnas, tehnoloogilise-, õigusliku ja reguleeriva raamistiku olemasolust ja ka vajalike investeeringute suurusel.

Linnavalitsuse ülesandeks on määrata kindlaks kõige sobivam tehniline lahendus pikaajalisest perspektiivist lähtuvalt. Paljudel juhtudel võiks lahenduseks olla säästliku ja taastuvenergia tehnoloogiate kombineerimine. Selle lahenduse eeliseks võib olla lühem investeeringu tasuvusaeg, juhul kui hästi töötav elektrivõrk on juba olemas ja taastuvenergia seadmed on juba kasutusel.

Juhul kui elektrivõrk mingi põhjusel puudub või selle töö ei ole ohutu, võivad uuringud näidata, et majanduslikult tõhus lahendus on autonoomse taastuvenergia süsteemi kasutamine.

Kohalike omavalitsuste energeetikaga seotud otsused olenevad reeglina riigi poliitikast majanduse ning taastuvate energiaallikate vallas, aga ka erinevatest toetustest.

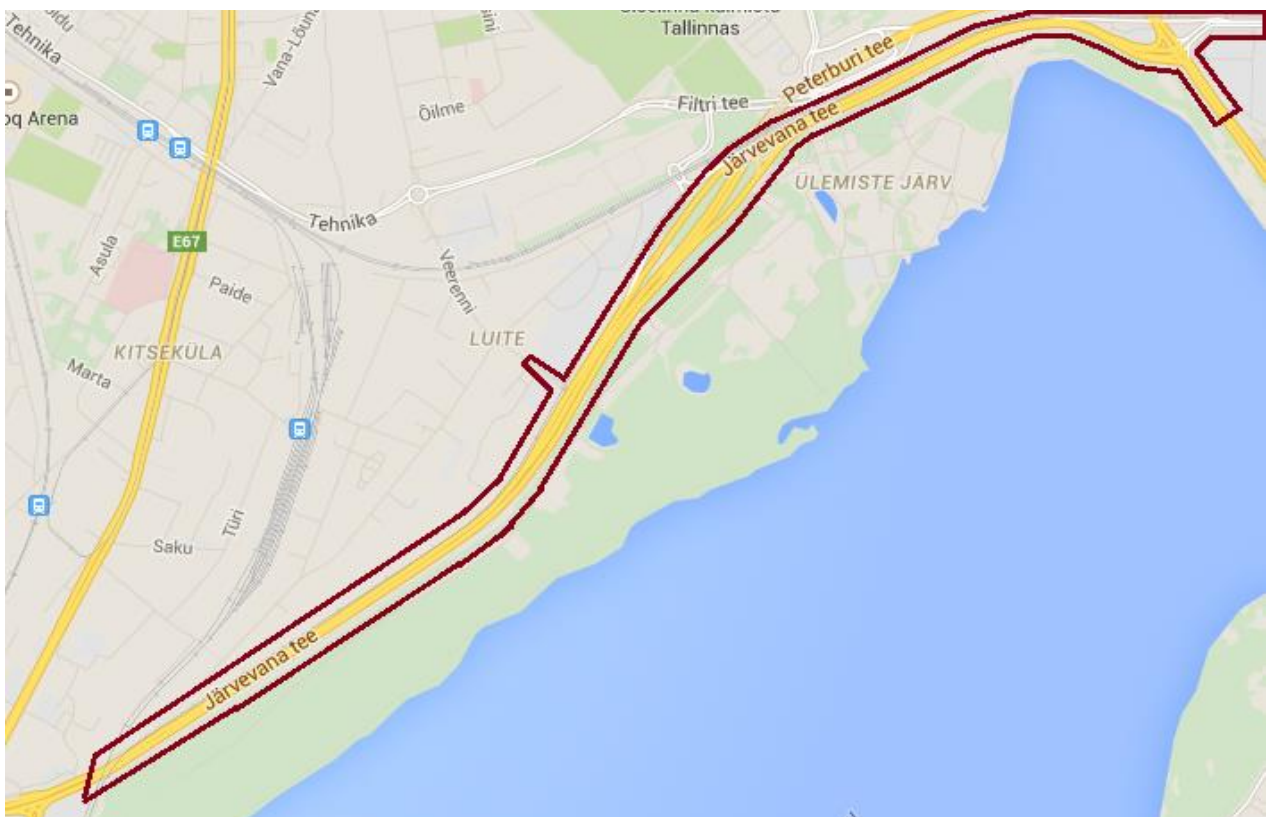
Riigi poliitika energeetikavaldkonnas peaks võimalikult palju lähtuma moderniseeritava keskkonna unikaalsetest omadustest.

Taastuvaid energiaallikaid kasutavaid projekte tuleb riiklikul tasandil toetada, rakendades asjakohaseid rahastamismehhanisme. See aitab maksimeerida kohalikest omavalitsustest saadud kasumit ja saavutada riiklikke eesmärke energeetika valdkonnas. [12]

6. Järvevana tee välisvalgustuse elektriliini hetkeseis

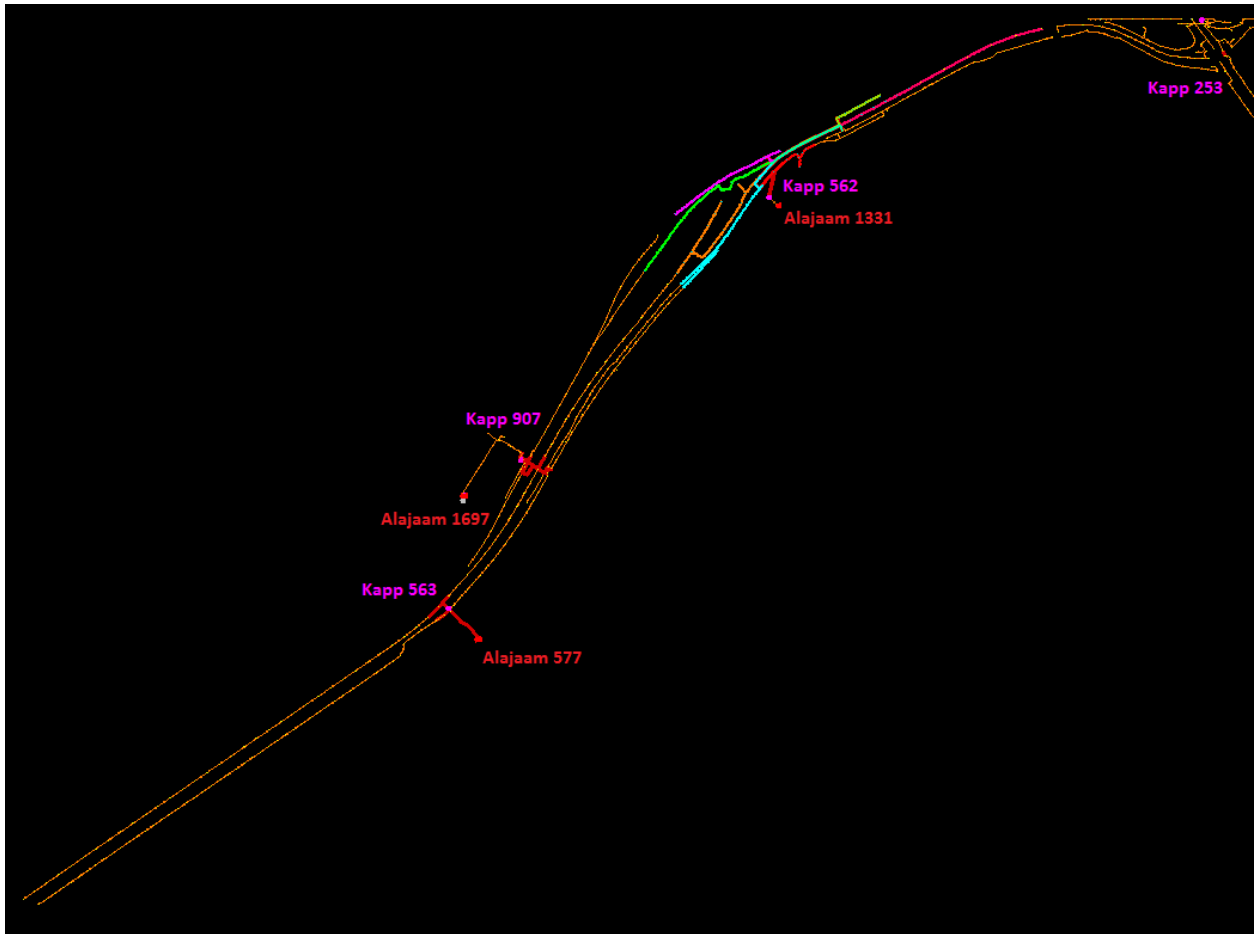
6.1 Järvevana liini kirjeldus

Joonisel 6.1.1 on märgitud vaadeldava elektriliini piirkond. Toodud elektriliini pikkus on umbes 3,6 km: Järvevana tänava raudteega ristimisest kuni Järvevana ja Tartu maantee ristmiku. Liini valik on tingitud peamiselt piisavalt headest maastiku tingimustest, tänava väärtusest ning ka sellest, et mõned liini osad olid juba moderniseeritud, sealhulgas on mõnedes piirkondades juba halogeenlambid kasutusel.



Joonis 6.1.1. Vaadeldav Järvevana liini osa.

Joonisel 6.1.2 on elektriliinid, elektrikapid ja alajaamad detailsemalt näidatud. Hetkel asub liinil kolm punasega tähistatud 400/230 V alajaama (AJ 577, AJ 1697 ja AJ 1331) ning neli lillaga tähistatud elektrikappi (563, 907, 562, 253). (Vt joonist 6.1.2)



Joonis 6.1.2. Järvevana elektriliin koos alajaamade ja kappidega.




Kokku on piirkonda paigaldatud kokku 495 valgustit, millest ainult 26 on halogeenvalgustid (ülekäiguradadel). Paigaldatud välisvalgustite võimsus on kokku 92,5 kW.


Allpool on toodud tabel, kus on loetletud kõik liinil kasutatud valgustite tüübid ning nende omadused.

6.2 Kasutatud valgustid

Tabelis 6.2 on toodud Järvevana tänava liinidel kasutatud tänavavalgustite mudelid, nende võimsused ja kaitseastmed, et uurida põhjalikult nende säästlikumate lampidega asendamise võimalust.

Tabel 6.2. Linnil kasutatud valgustid.

Nimetus	Välimus	Kirjeldus	Vastu-võetavad lambi tüübid	Tolmu ja niiskusekaits e	Kasutatud valgustite arv
Selenium Philips SGP340		Viimane Philipsi välis valgustus-seadmete mudel. Konstruksioon on lihtne: vastupidav alumiiniumist korpus ja T-POT reflektor heade optikanäitajatega [13]	SON-T 150W/250W/ 400 W	IP66	245
Philips SGS101 Malaga		Valgusti on kaitseklaasiga. Võrestik on valmistatud klaaskiuga polüpropüleenist. UV-stabiliseeritud. Hajuti on polükarbonaadist. [14]	Kõrgrõhunaatriumlambid (sobivad ka metallhalogeenlambid)	IP65	144
Glamox Mira		Valgusti on kaitseklaasiga. Raam on valmistatud alumiiniumist ja kaetud polüesterpulbervärviga. UV-stabiliseeritud. [15] [16]	Kõrgrõhunaatriumlambid (sobivad ka metallhalogeenlambid)	IP65	80

Neos Zebra		Mudel on ette nähtud spetsiaalselt ülekäiguradade valgustamiseks. Korpus on valmistatud alumiiniumist ja kaitseklaas karastatud klaasist. [17]	Halogeen lambid	IP 66	26
-----------------------	---	--	-----------------	-------	----

6.3 Valgustamiserežiim

Vaadeldavas teelõigus ei kasutata tänavavalgustuse graafikupõhist sisse-ja väljalülitamist. Selle asemel kasutatakse valguse mõõtmist luksmeetri järgi: tänavavalgustus lülitatakse välja hommikul, kui valgust on vähemalt 10 luksi, ning sisse õhtul 7 luksi piiril. [18]

Antud tehnoloogia kasutamine on kõige rohkem põhjendatud just sellistes teelõikudes (maanteel), mille lähedal puuduvad majad.

Ekspertide sõnul võimaldab luksmeetri põhine tänavavalgustuse lülitamine säästa pealinna tänavavalgustuse elektritarbimise arvelt kuni 5 miljonit eurot aastas. See on eriti oluline, arvestades prognoositud energiahinna kasvu. [19]

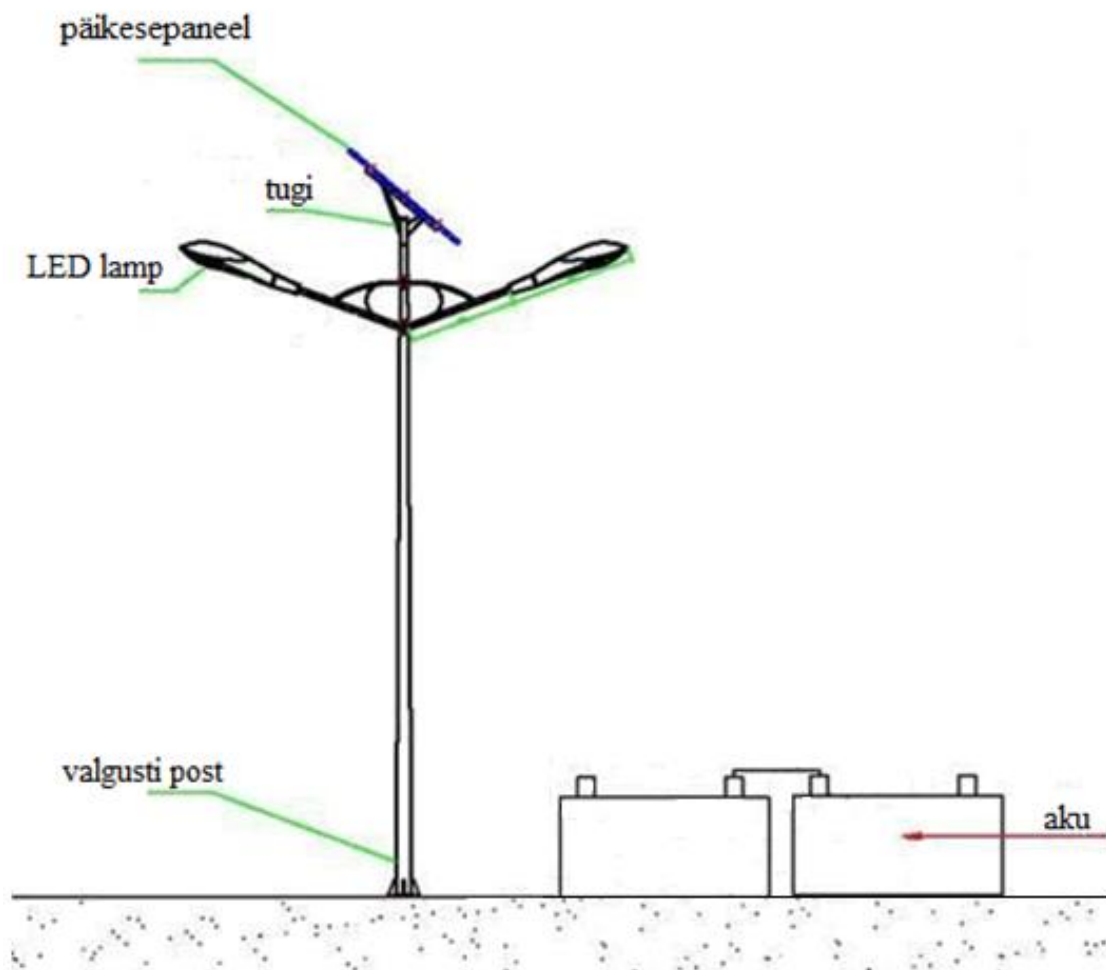
7. Alternatiivse lahenduse kirjeldus

7.1 Tööskeem

Üksiku liini tõhususe ja keskkonnahoidlikkuse suurendamiseks on alternatiivseks lahenduseks luua päikesepaneelidega valgustussüsteem, milleks tuleb kõik liinil asuvad tänavavalgustusmastid varustada päikesepaneelidega.

Joonisel 7.1 on näidatud kahese tänavavalgustusmasti moderniseerimise võimalust. Alternatiivne lahendus hõlmab:

- 250 W päikesepaneeli paigaldamist masti ülemisele osale erilise toe abil,
- kõrgrõhunaatriumlampide asendamist säästlikumate leedlampidega,
- akude kasutamist energia salvestamiseks päevasel ajal
- konverteri ja inverteri kasutamist voolu muundamiseks.



Joonis 7.1. Uuendatud tänavavalgustusmasti näide.

7.2 Päikesepaneelid

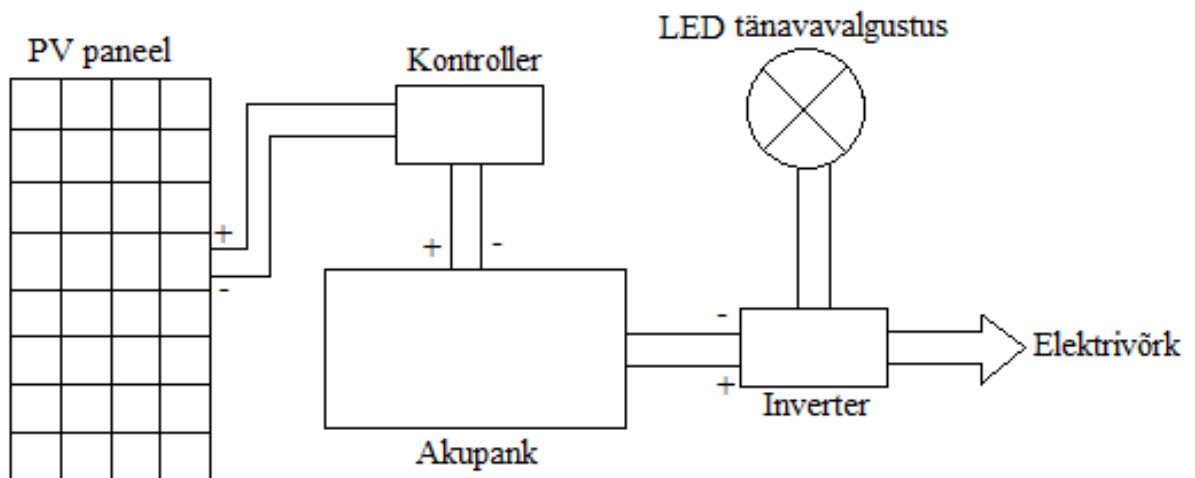
Valgustusmasti ülemisele osale paigaldatakse vastava võimsusega päikesepaneel, spetsiaalse toei abil (vt 8.1“ Fotoelementide tüübid“ ja 8.2“Päikesepaneelide suurus“).

7.3 Kõrgrõhunaatriumlampide asendamine LED leedlampidega

Kõrgrõhunaatriumlampide asendamine leedlampidega aitab tunduvalt vähendada lampide energiatarbimist (kaotamata valgustuse kvaliteedis), ja ka oluliselt suurendada lampide eluiga ja lampide töös hoidmisega seotud kulusid. Valgustite valimist on edaspidi üksikasjalikumalt arutatud (vt 8.3 “Leedvalgustid“).

7.4 Kontrollerid

Kontrolleri kasutatakse päikesepaneelidega toodetud pinge normaliseerimiseks ja aku laadimiseks vajaliku pingega. Kontrolleri paigaldatakse aku ja päikesepatarei vahele. Joonisel 7.4 on toodud kontrolleri ühendamise elektriskeem (vt 8.4 “Kontrollerite valimine“).

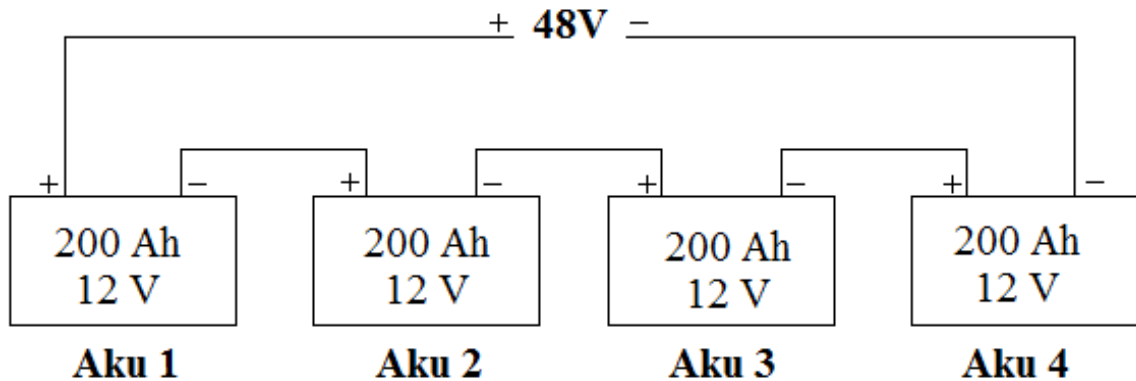


Joonis 7.4. Päikesepaneeliga varustatud masti skeem.

7.5 Akupangad

Kuna päikeseenergia süsteemid on oluliselt mõjutatud sesoonse ja ilmastiku toodetava elektrienergia kõikumistest süsteemis, tuleb kasutada akut, et tagada katkematu elektrienergiatoide. Päikeseenergia süsteemide toodetava elektrienergia voog peatub öösel ja jätkub päeval (olenevalt päikese kiirguse intensiivsusest). Tavaliselt kasutatakse neis süsteemides 12V akudest koosnevaid plokkide (vastavalt 24 V, 48 V, 96 V). Akud ühendatakse jadades, et nende nimipinge summa vastaks ploki nimipingele. Akude valikut on edasi üksikasjalikumalt kirjeldatud (vt 8.3 “Akupangade valimine“).

Joonisel 7.5 on näidatud neljast jadaühendatud 12 V akust koosneva 48 V akupanga struktuuri.



Joonis 7.5. 48 V akupanga ehitus.

7.6 Inverterid

Inverteri peamine ülesanne on anda vajalikku võimsust. Olulised on ka muud omadused: inverteri tõhusus, voolu kuju, aku laadimise töörežiim, detailsus, lühiajalise nominaalkoormuse ületamise lubamine (vt 8.5 „Inverteri valimine“).

7.7 Võrguga liitumine

Eeldatud on, et kasutatakse mitte täiesti sõltumatut valgustussüsteemi, vaid süsteemi mis on paralleelselt linna valgustussüsteemiga ühendatud, et elektrienergia ebapiisava tootmise korral saaks võrgust elektrit osta ja ületootmise korral seda võrku müüa. Edasi tekstis käsitletakse üksikasjalikumalt moderniseerimiseks vajalike konkreetsete komponentide valimist (vt 8. „Kasutatavate seadmete valimine“).

8. Kasutatavate seadmete valimine

8.1 Päikesepaneelide valimine

8.1.1 Fotoelementide tüübid

Praegu on kõige levinumad monokristallilised või polükristallilised räni elemendid.

Monokristalliliste päikesepatareide tõhusus jääb olenevalt tootjast vahemikku 16 - 17%, samas on polükristalliliste elementide tõhusus ainult 12 - 14%.

Monokristallpaneelid on tõhusamad ka vähese valguse tingimustes (pilvistel päevadel, eriti piirkondades, kus öö kestab enamiku ööpäevast). Peale selle on sama võimsusega monokristall paneelid kompaktsemad.

Kuigi monokristallpaneelide hind on veidi kõrgem, on 1W hind valmispaneelide võimsuse põhjal praktiliselt ühesugune. Seetõttu on monokristallpaneeli kasutamine mõttekam. Paneelide eluiga peaks olema peaaegu samasugune.

8.1.2 Paneelide suurus

Ühe suure või mitme väikese paneeli vahele valimisel on mõttekam valida esimene variant, sest see suurendab kogu konstruktsiooni usaldusväärsust. 250 W nominaalvõimsusega paneeli pindala jääb tootjast olenevalt tavaliselt vahemikku 1,5 - 2 m², külgede suhe 1: 2.

8.1.3 Paneelide tüübid

Edasi Tabelis 8.1 on toodud mõnede tuntud tootjate 250 W paneelide võrdlus tõhususe, suuruse ja hindade järgi nende tegelike kasutusparameetrite edasiseks hindamiseks.

Tabel 8.1. Eri tootjate 250 W päikesepaneelide võrdlus.

Tootja	Mudel	Tõhusus (%)	Suurus (m²)	Hind (EUR)
Eclipsall	NRG60-250W	15,1	1,66	184
China Sunergy	CSUN250-60M	15,4	1,62	175
Samsung	LPC250SM	15,6	1,60	184
JA Solar	JAM6-60-250/SI	15,3	1,64	152
Heliene	HEE215M-250W	15,0	1,66	184

[20]

Nagu tabelist näha, on eri tootjate päikesepaneelide parameetrid üsna sarnased. Edasistes arvutustes arvestatakse ühe 250 W päikesepaneeli hinnaks 150 - 185 eurot.

8.2 Leedvalgustite valimine

Esimene samm liini moderniseerimises peaks olema tänavavalgustusega tarbitava elektri vähendamine ökonoomsemate halogeenlampide kasutamise abil. Tabelites 8.2.1 - 5 on toodud kõrgrõhunaatrium aurulampide asendamiseks soovitatud leedvalgustid, mis säilitavad sama valgustustaseme.

Tabel 8.2.1. 250 W kõrgrõhunaatrium aurulampide asendamine leedvalgustitega.

	Võimsus (W)	Kasutatud võimsus (W)	Tööiga (t)
Kõrgrõhunaatriumaurulampidega tänavavalgustid	250	288	5 000
Leedtänavavalgustid	120	120	>40 000

Tabel 8.2.2. 150 W kõrgrõhunaatrium aurulampide asendamine leedvalgustitega.

	Võimsus (W)	Kasutatud võimsus (W)	Tööiga (t)
Kõrgrõhunaatriumaurulampidega tänavavalgustid	150	175	5 000
Leedtänavavalgustid	60	60	>40 000

Tabel 8.2.3. 100 W kõrgrõhunaatrium aurulampide asendamine leedvalgustitega.

	Võimsus (W)	Kasutatud võimsus (W)	Tööiga (t)
Kõrgrõhunaatriumaurulampidega tänavavalgustid	100	115	6 000
Leedtänavavalgustid	40	40	10 0000

Tabel 8.2.4. 70 W kõrgrõhunaatrium aurulampide asendamine leedvalgustitega.

	Võimsus (W)	Kasutatud võimsus (W)	Tööiga (t)
Kõrgrõhunaatriumaurulampidega tänavavalgustid	70	70	6 000
Leedtänavavalgustid	40	40	100 000

Tabel 8.2.5. 50 W kõrgrõhunaatrium aurulampide asendamine leedvalgustitega.

	Võimsus (W)	Kasutatud võimsus (W)	Tööiga (t)
Kõrgrõhunaatriumaurulampidega tänavavalgustid	50	50	6 000
Leedtänavavalgustid	20	20	100 000

Nagu tabelist näha, võimaldavad halogeenlambid mitte ainult vähendada kasutatava elektri kogust, vaid ka pikendada valgustite tööiga, mis pikemas perspektiivis peaks projekti kasumlikkust positiivselt mõjutama.

Kõrgrõhunaatrium aurulampide leedlampide vastu vahetamine võimaldab oluliselt vähendada kasutatud valgustite võimsust, mida on detailsemalt kirjeldatud tabelites 8.2.6. ja 8.2.7.

Tabel 10 näitab Järvevana tänava elektriliinil praegu kasutatud eri võimsustega valgustite jaotust kasutatud valgustite arvu järgi ning paigaldatud valgustite koguvõimsust.

Tabelis 11 on näidatud, kuidas see suhe leedlampe kasutades muutub.

Saadud tulemused aitavad võrrelda, kui palju saab valgustite installeeritud võimsusest leedlampide kasutamisel säästa.

Tabel 8.2.6. Tänavavalgustuse energiatarve kõrgrõhunaatriumlampide kasutamisel.

Kõrgrõhunaatriumlampidega tänavavalgusti võimsus (W)	Kõrgrõhunaatriumlampidega tänavavalgustite kogus (tk)	Kõrgrõhunaatriumlampidega tänavavalgustite koguvõimsus (W)
250	321	80 250
150	21	3 150
100	9	900
70	50	3 500
50	94	4 700
Kokku:		92 500

Tabel 8.2.7. Tänavavalgustuse energiatarve leedlampide kasutamisel.

Leedlampidega tänavavalgusti võimsus (W)	Leedlampidega tänavavalgustite kogus (tk)	Leedlampidega tänavavalgustite koguvõimsus (W)
250	26	6 500
120	295	35 400
60	21	1 260
40	59	2 360
20	94	1 880
Kokku:		47 400

Tabelid näitavad, et leedlampide kasutamine võimaldab installeeritud võimsust rohkem kui 50% vähendada, mis vähendab oluliselt ka süsteemi energiakulusid.

Turu analüüsi järgi on leedlampi keskmine hind 1W kohta umbes 0,4 eurot. [21]

Tabelis 8.2.8 on toodud Järvevana elektriliini valgustussüsteemi moderniseerimiseks vajalik leedvalgustite eeldatavad keskmised hinnad. Need andmed annavad leedvalgustite tegelikest hindadest täpsema ülevaate ja neid kasutatakse järgnevates arvutustes moderniseerimisprojekti maksmuse arvutamiseks.

Tabel 8.2.8. Kasutatud leedtänavavalgustite hinnad.

Leedvalgusti Vvõimsus (W)	Valgustite hulk (tk)	Valgustite hind (EUR)
120	295	14 514
60	21	517
40	59	968
20	94	771

8.3 Akupankade valimine

Nagu eespool öeldud (vt 7.5. Akupangad), kasutatakse sellistes süsteemides 12 V akut, mis ühendatakse plokkideks selle väärtuse kordse pingega. Sellist plokki iseloomustab laadimisvool, heakskiiduvool ja mahutavus. Aku soovitatavaks mahtuvuseks aastaringsel kasutamisel loetakse vähemalt 800 Ah iga tarbimispäeva kilovatt-tunni kohta.

Tänapäeval kasutatakse laialdaselt nii pliiakusid kui ka liitium-ioonakusid.

Liitium-ioonakudel on palju suurm läbilaskemahtuvus, need on kompaktsemad ja lühiajalise energiapuuduse kompenseerimisel tõhusamad. Seda tüüpi akud on küll kallimad, viimasel ajal on nende hinnad järk-järgult vähenenud.

Pliiakud on jällegi ohutumad kasutada, nad sobivad paremini paljude kontrollritega kasutamiseks ja võivad tänu madalamale hinnale olla energiatõhusamad.

Lisaks akude tööeale on olulised neile mõjuvad töötingimused, eriti töökeskkonna temperatuurid. Nii akude kui ka kontrollrite tööiga põhjapiirkondade õuetingimustes on keskmiselt 10 - 12 aastat.

Pliiakud omakorda võivad olla kas avatud või suletud toruplaadiga pliiakud. Kõige levinumad on avatud toruplaadiga akud. Neid kasutatakse kõige rohkem ka tuule- ja päikeseenergiasüsteemides. Nende eeliseks on madalam hind, pikem tööiga ja suurem tsüklite arv. Peamine avatud toruplaadiga akude puudus on nende plahvatusohtlikkus.

Päikeseenergiasüsteemi jaoks akude valimisel tuleb arvestada järgmiste peaparametritega: aku tüüp (suletud või avatud), mahutavus ning tsüklite arv. [9]

Projekti arvutustes kasutatakse 88 avatud tüüpi 48V pliiakut 800Ah mahtuvusega [8].

Tabelis 8.3 on toodud Järvevana elektriliini valgustussüsteemi päikesepaneelipõhiseks moderniseerimiseks vajalike akupankade keskmised hinnad. Need andmed annavad täpsema ülevaate akupankade hindadest, mida kasutatakse järgnevalt moderniseerimis projekti maksmuse arvutamiseks.

Tabel 8.3. Eri tootjate 48 V 800 Ah akupankade võrdlus.

Mudel	Pinge (V)	Mahtuvus (Ah)	Tüüp	Hind (EUR)
POWERSONIC, SLA Solar Battery Bank	48	800	Avatud pliiaku	507
BESTGO POWER MODULES	48	800	Avatud pliiaku	1 334
APC, Schneider Electric	48	800	Avatud pliiaku	530

[22] [23] [24]

Nagu toodud tabelist näha, saab nõuetekooste parameetritega akupanga hinnaks turu majanduslikust olukorrast ja transpordikuludest olenevalt arvestada 500 - 600 eurot.

8.4 Kontrollerite valimine

8.4.1 Kontrollerite tüübid

Kontrollereid on kahte tüüpi MPPT ja PWM kontrollereid.

MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) tüüpi kontrollereid kasutavad tööks maksimaalset võimsuspunkti pinget ja voolu näitajate alusel ($P = U \cdot I$). Seda tüüpi konverterid muunduvad päikesepaneelidest saadud alalisvoolu sobivaks 48 V alalisvooluks või vahelduvvooluks minimaalsete kadudega (kuni 3%). Nende puuduseks on aga teistest mitu korda kallim hind.

PWM (*Pulse Width Modulation*) tüüpi, pulsilaiuse moduleerimisega kontrollereid on lihtsad mikroprotsessorkontrolliga tööstusreleed, mis lülitavad päikesepaneelide patareisid sisse ja välja, et säilida nende soovitud pinget. Need kontrollereid on odavamad. Valitseva pilves ilma tingimustes võivad päikesepaneeli süsteemis kasutamiseks olla kasulikud just PWM kontrollereid, mis tänu suuremale ühendatud paneelide nimivõimsusele suudavad MPPT kontrollereitega võrreldes rohkem voolu toota.

Kui täiendavate päikesepaneelide paigaldamine on keerukas või võimatu ja kasutatud voolhulk ei ole väga suur, on üldiselt mõttekam kasutada MPPT kontrollereid.

8.4.2 Kontrollrite võimsused

Kõige sagedamini kasutatakse kontrollereid, mis on mõeldud kuni 30 A voolu jaoks. Päikesepaneelide kontrolleri ühendamisel ei tohi summaarne maksimaalne vool ületada 60% MPPT kontrolleri nimivõimsusest. Tingimustes, kus koormus ületab optimaalse väärtuse, hakkab pinge langema ja vool kasvama, kuigi pinge langemisest aeglasemalt. Kontrolleri peab seda ülekoormust taluma. Päikesepaneelide tootlikus saab ületada nominaali näiteks lumise talve tingimustes, kui päike paistab küllalt eredalt ja paneelide fotoelemendid võivad olla valge lume hea peegeldusvõime tõttu üle valgustatud.

Seega tuleb 250W võimsusega 24 V päikesepaneelidel tuleb kasutada MPPT kontrolleri, mis on mõeldud 17 A (enamiku kataloogide järgi 20 A) voolule. Tavaliselt märgivad kontrolleri tootjad kontrolleri summaarse lubatud võimsuse või päikesepaneelide summaarse nominaalse voolu. [9]

Tabelis 8.4 on näidatud Järvevana elektriliini valgustussüsteemi päikesepaneelipõhilise moderniseerimiseks vajalike kontrolleri eeldatavad keskmised hinnad.

Tabel 8.4. Eri tootjate 20 A 48 V kontrolleriid.

Mudel	Vool (A)	Pinge (V)	Hind (Euro)
SYSTELLAR	20	48	98
SunSaver	20	48	55
WELLSEE	20	48	67

[25] [26] [27]

Tabelist on näha, et nõuetekohaste parameetritega kontrolleri hinnaks saab turumajanduslikust olukorrast olenevalt arvestada 55 - 90 eurot. Tabelis toodud hinnad annavad täpsema ülevaate kontrolleri hindadest, mida kasutatakse järgnevalt moderniseerimisprojekti maksmuse arvutamiseks.

8.5 Inverterite valimine

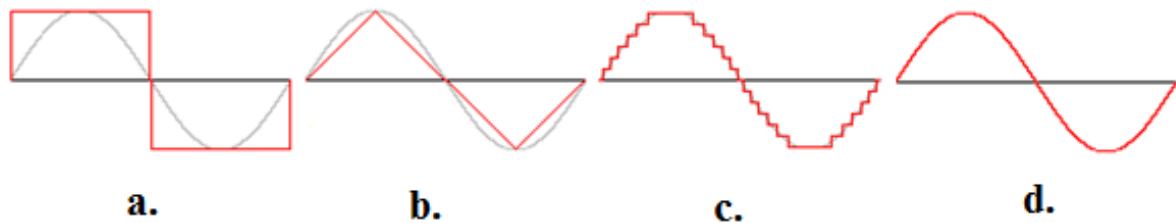
8.5.1 Inverterite tõhusus

Mida suurem on inverteri tõhusus, seda vähem energiat läheb selle tööprotsessis kaotsi. Tänapäevaste inverterite tõhusus ületab tavaliselt 90%.

8.5.2 Voolu kuju

Kõige odavamad inverterimudelid genereerivad ristküliku (a) või kolmnurgakujulise (b) vahelduvvoolu. Tihti iseloomustatakse neid pingekujusid suure müra ja moonutuste hulga, mis sobib paremini kuumutusseadmetele.

Joonisel 8.5 on näidatud erinevad voolu kujud, mis saavutatakse inverteri väljapääsul. Edasi on toodud iga kuju kirjeldus ja sobivus päikesepaneelidega süsteemis kasutamiseks.



Joonis 8.5. Voolu kuju inverteri väljapääsul: a - ristkülikukujuline, b - kolmnurgakujuline, c - modifitseeritud siinus, d - puhas siinus.

Ristküliku ja kolmnurga kujust pisut paremini sobiks trapetsi kuju, aga selle voolukujuga invertreid toodetakse siiski väga harva.

Kõige sobivamaks voolukujuks kaasaegsetes inverterites on muudetud (c) ja puhas siinus (d). Muudetud siinus kujutab endast astmelist sinusoidaalkujule ühtlustamist. Inverteri müra probleemi lahendamiseks kasutatakse mitmesuguseid filtreid, mis siluvad voolu ebatasasused. Puhassiinuselised inverterid genereerivad voolu, mille kuju on väga lähedal ideaalsele siinusele. Selle klassi inverterite peamiseks puuduseks on nende suurus ja kõrge hind.

8.5.3 Detailsus

Oluline parameeter on võimalus kontrollida akupanga sisepinget ja pistiku välispinget. Peale selle on oluline ülekoormus ja lühise kaitsme olemasolu.

8.5.4 Nominaalkoormuse lühiajalise ületamise lubamine

Inverter peab lubama nominaalkoormuse lühiajalist vähemalt kahekordset tõstmist, mis võimaldab kasutada seadmeid, mille võimsus on võrdne inverteri nimivõimsusega.

8.5.5 Aku laadimise töörežiim

Katkematu toiteallikas võimaldab vähendada päikesepaneelide võimsust ja nõudlust akupankade mahutavuse suhtes ebasoodsates olukordades, andes päikeseenergia puuduse korral võimaluse akusid vooluvõrgust või avariigeneraatorist laadida. Praktikas kasutatakse sellel eesmärgil enamasti siiski eraldi laadijat. [9]

Tabelis 8.5 on näidatud Järvevana elektriliini valgustussüsteemi päikesepaneelipõhilise moderniseerimiseks vajalike akupankade eeldatavad keskmised hinnad.

Tabel 8.5. Eri tootjate 20 A 48 V inverterite võrdlus.

Mudel	Pinge (V)	Võimsus (W)	Hind (Euro)
Shenzhen Setec Power Co	48 DC / 220 AC	10 000	180
Shenzhen Medke Technology Co	48 DC / 220 AC	5 000	190
Yueqing Reliable Electric Co	48 DC / 220 AC	4 000	205

[28] [29] [30]

Nagu tabelist näha on vajalike parameetritega akupankade keskmine hind peaaegu 192 eurot.

8.6 Vajalike seadmete valimise kokkuvõte

Tabel 8.6. Vajalike seadmete hinnanguline maksumus.

Projekti osa	Projekti osa hind (EUR)
Päikesepaneelid	54 400
Leedtänavavalgustid	16 900
Kontroller	19 500
Akupangad	46 400
Inverter	16 880
Muud kulud (juhtmestik, ühendamine, transport jne)	15 408
Kokku	170 529

Kokku moodustab liini moderniseerimiseks vajalike seadmete maksumus 170 529 eurot. Hind sisaldab 350 (250 W võimsusega) päikesepaneeli paigaldamist (vt 8.1, „Päikesepaneelide valimine“), 469 kõrgrõhunaatriumlambi vahetamist leedlampide vastu (vt 8.2, „Leedvalgustite valimine“), 88 akupanga paigaldamist (vt 8.3, „Akude valimine“), 350 kontrolleri paigaldamist (vt 8.4, „Kontrollerite paigaldamine“) ja 88 inverterite paigaldamist (vt. 8.5, „Inverterite valimine“).

Muud kulud, mille hulka kuuluvad uute elektriseadmete (näiteks kaablite), projekteerimise ja ühendamise, vajalikke seadmete transpordeerdi jms kulud, moodustavad 10% kogu projekti kuludest. [9]

9. Süsteemi modelleerimine

9.1 Modelleerimise eesmärk

Töö hõlmab Järvevana tee tänavavalgustussüsteemi päikesepaneelipõhise moderniseerimise modelleerimist EnergyPro tarkvara kasutades. Modelleerimise eesmärgiks oli määrata päikesepaneelide tegelik tootlikkus Tallinna keskkonnas tegeliku temperatuuri ja päikesekiirguse andmete alusel.

9.2 EnergyPro tarkvara ülevaade

Elektriliini modelleerimine tehti EnergyPRO tarkvara abil. EnergyPRO tarkvara on välja töötatud ettevõttes EMD International AS.

EnergyPRO on üks uusimatest tarkvaradest, mis on mõeldud erinevate taastuvenergiaprojektide tehniliseks ja majanduslikuks analüüsiks, sealhulgas ka koostootmise ja kolmiktootmise projektide analüüsiks. EnergyPRO tarkvaras saab modelleerida nii juba olemasolevaid kui ka alles kavandavaid energia projekte.

Tarkvara kasutatakse edukalt erinevates energiaettevõtetes, konsultatsioonifirmades, teadusasutustes ja teistes projektides üle maailma juba rohkem kui 20 aasta jooksul.

EnergyPRO tarkvara abil saab:

- teha detailset investeeringute analüüsi
- arvuta energia paigaldise optimaalset toimimist
- analüüsida eraldi jõujaamade vastastikmõju
- simuleerida elektriijaama tõhusust eri elektriturgude tingimustes
- modelleerida tööstuslikku koos- ja kolmiktootmist

Energy Pro tarkvara uuendatakse pidevalt, et see vastaks muutuvatele tehnilistele ja majanduslikele tingimustele.

9.3 Modelleerimise algandmed

Päikesepaneelide võimalik paigaldatud võimsus arvutatakse liini tänavavalgustusmastide arvu alusel.

Kokku kasutatakse liinil 145 kahe valgustiga masti ja 205 ühe valgustiga masti. Arvestades vaba ruumi suuruse ning muude, punktis 8.1 „Päikesepaneelide valimine“, kirjeldatud tingimustega saab iga masti otsa paigaldada 250 W võimaldusega päikesepaneeli. Seega saame 350 päikesepaneelist koguvõimsuse 87,5 kW.

Joonisel 9.3.1 on toodud EnergyPro programmi sisestatud päikesepaneelide põhiparameetrid, mida kasutati kogu päikesepaneelisüsteemi tootlikkuse arvutamiseks.

Rohkem infot kasutatud päikesepaneelide kaldenurga valimise, suunamise ning inverterikadude kohta leiate punktis 4. „Päikesepaneelide efektiivsust mõjutavad faktorid“.

Size and Position Installed capacity <input type="text" value="87,5"/> kW Inclination of photovoltaic <input type="text" value="40"/> degree Orientation of photovoltaic (Deviation from South) <input type="text" value="90"/> degree		<input type="checkbox"/> Non availability periods
Select Input Time Series Ambient temperatures <input type="text" value="Hourly outdoor ter"/>		PV module specification Maximum power <input type="text" value="250"/> W Temperature coefficient of power <input type="text" value="-0,400"/> %/°C NOCT <input type="text" value="40"/> °C
Radiation on horizontal plane <input checked="" type="radio"/> Aggregated Radiation <input type="radio"/> Direct and Diffuse Radiation Aggregated radiation <input type="text" value="Aggregated solar r"/>		Miscellaneous Aggregated Losses from module to grid <input type="text" value="7,0"/> % Number of PV modules <input type="text" value="350"/>

Joonis 9.3.1. Päikesepaneelide paigaldamise parameetrid.

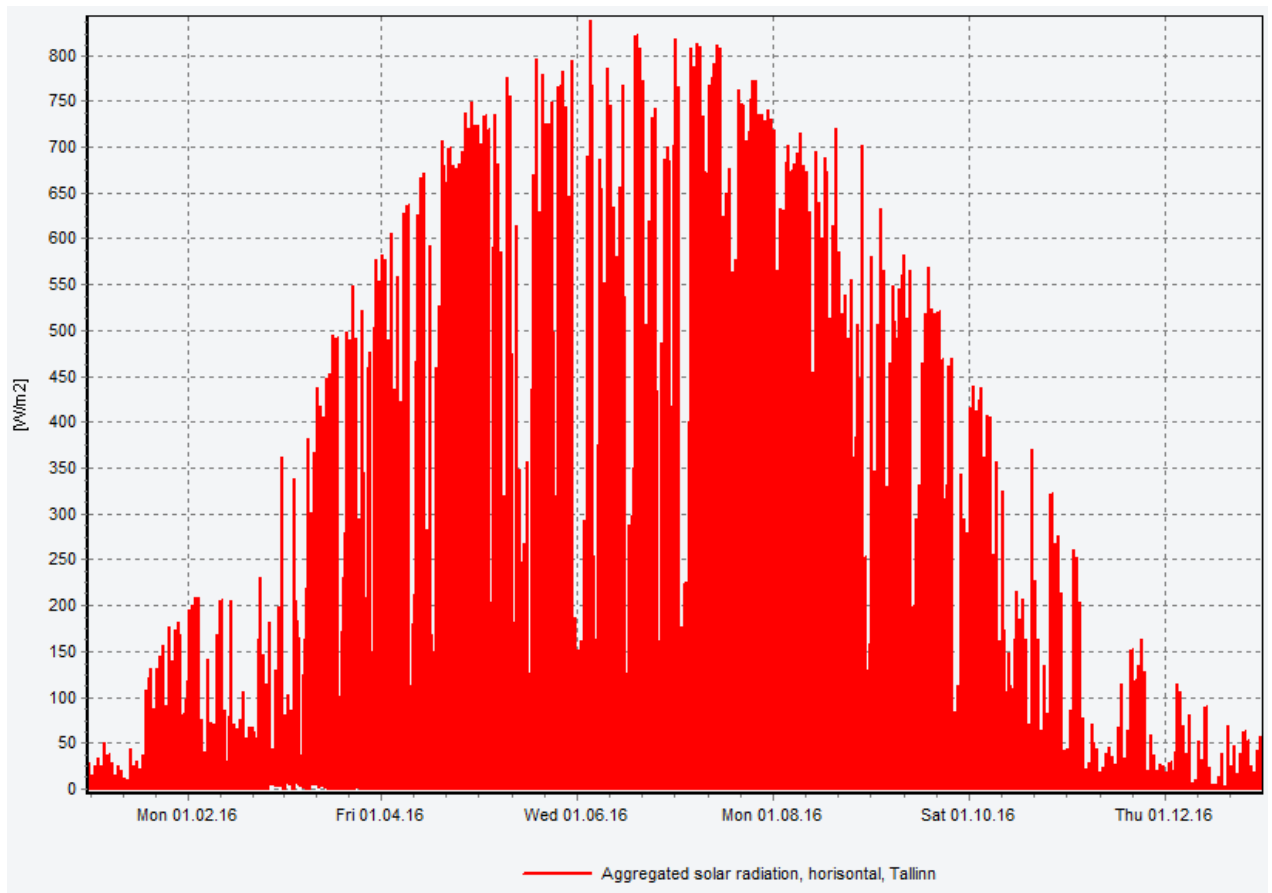
Modelleerimiseks vajalikud kliimaandmed saadi Keskkonnaagentuurist.

Andmed näitavad Tallinn-Harku alajaamas mõõdetud õhutemperatuuri ja päikesekiirgust 2014. aasta jooksul.

Joonisel 9.3.2 on näidatud agregeeritud päikesekiirguse hulk Tallinnas 2014. aasta jooksul.

Jooniselt võib järeldada, et päikesekiirguse näitajad Tallinnas on elektrienergia tootmiseks sobivad aprillist oktoobrini.

Graafik näitab siiski ka järske päikesekiirguse langusi, mida võib seletada nii päevaaja, kui ka ilmastikutingimustega. Spetsiaalselt nende perioodide katmiseks töös on ettenähtud akupangad.



Joonis 9.3.2. Agregeeritud päikesekiirus Tallinnas, 2014. aasta graafik.

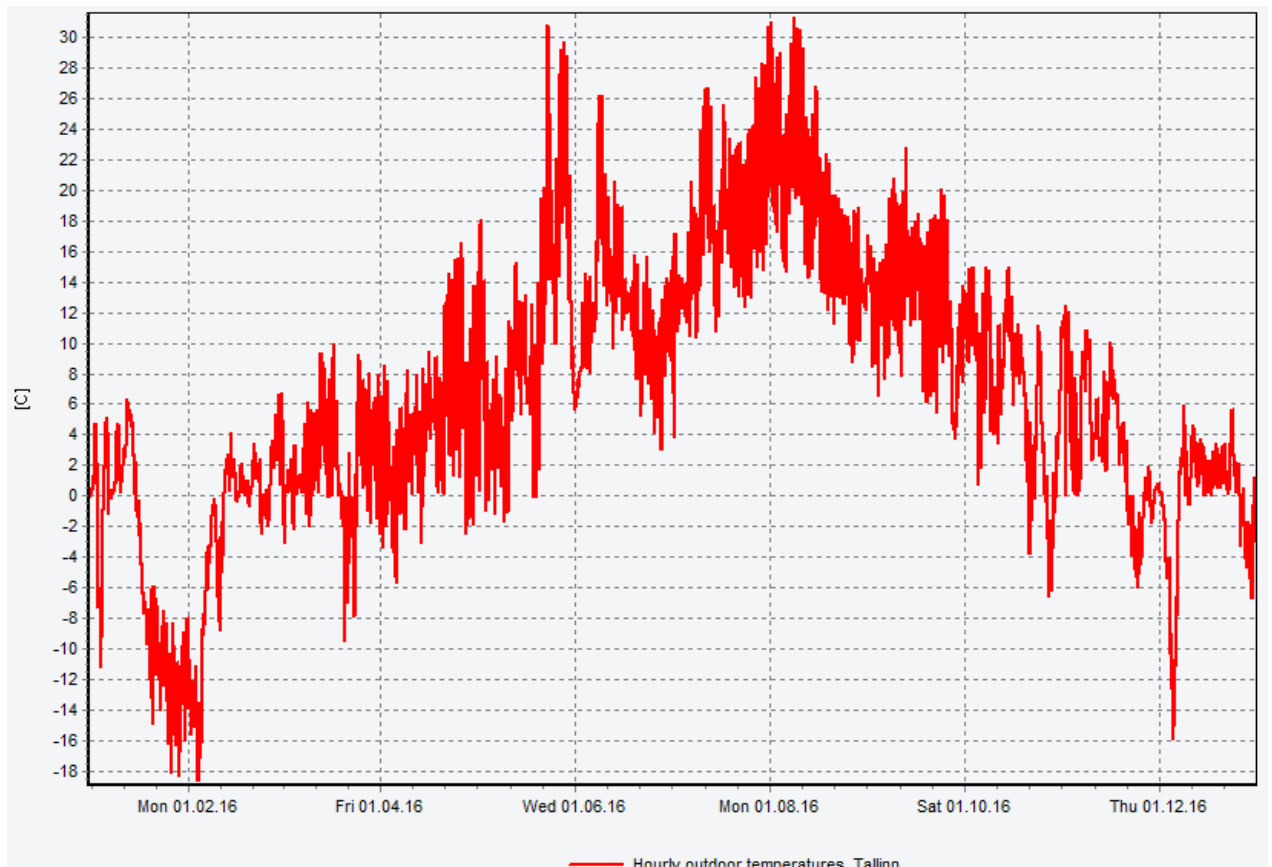
Peale päikesekiirguse tuleb EnergyPro programmis päikesepaneeli projekti loomisel arvestada ka õhutemperatuuriga.

Rohkem infot selle kohta on toodud punktis 4.1 „Päikesepaneelide mooduli temperatuur“.

Joonis 9.3.3 kirjeldab õhu temperatuuri Tallinnas 2014. aasta jooksul. Nagu näha, ei ületanud temperatuuri kõikumised -18 ja +30 piirväärtusi, mis ei ole monokristallist päikesepaneelide jaoks kriitiline.

Pikaajaline päikesepaneelide fotoelektriliste elementide kuumutamine võib oluliselt suurendada süsteemi energiakadusid.

Kõiki neid tegureid on programmis arvesse võetud.



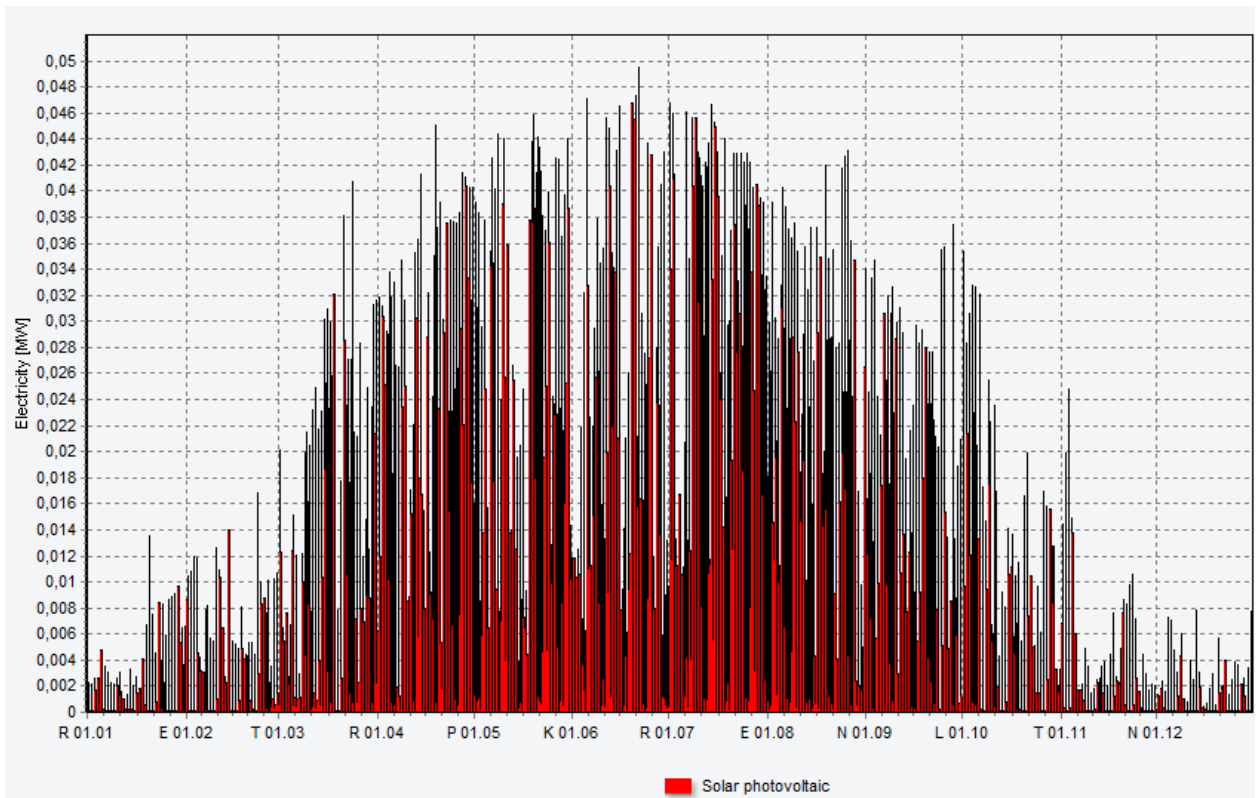
Joonis 9.3.3. Õhutemperatuur Tallinnas 2014. aastal

9.4 Modelleerimise tulemused

Joonisel 9.4 toodud graafik näitab 87,5 kW päikesepaneelide süsteemiga (350 päikesepaneelid) saavutatud võimsuste aasta jooksul. Maksimaalne paneelide võimsus 48,1 kW saadi 26. juunil. 0,4 kW ületavad näitajad saadi alates märtsi keskpaigast kuni oktoobri alguseni.

Tabelis 9.4 on toodud võimalik 87,5 kW päikeseplatade süsteemi energiatoodang, tippkoormused ja lisapameetrid, mis aitavad päikesepaneelide tööd paremini iseloomustada. Toodud töötunnid näitavad mitu tundi kuus päikesepaneelid saavad toota päikeseenergiat.

Kogu süsteemi elektritoodang sellel liinil oli aasta jooksul 44,2 MWh tippkoormusega 0,05 MWh juunikuus. Kõige produktiivsemad kuud päikeseenergia tootmiseks olid vahemikus märtsist septembrini.



Joonis 9.4. Päikesepatareide energia toodang Tallinnas 2014. aastal.

Tabel 9.4. Võimalik energia muundamine kuude kaupa jaanuarist 2016 kuni detsembrini 2016.

	Toodetud elektri energia ühikutes (MWh)	Tippkoormus (MWh)	Töötunnid (t)	Täiskoormusel töötunnid (t)
Jaanuar	0,5	0,014	240	5
Veebruar	1,0	0,017	361	11
Märts	3,0	0,041	564	34
Aprill	5,6	0,045	429	64
Mai	6,9	0,046	518	79
Juuni	6,4	0,050	533	74
Juuli	8,4	0,047	547	96
August	5,8	0,043	493	67
September	3,9	0,037	403	45
Oktoober	1,9	0,030	322	22
November	0,6	0,025	224	7
Detsember	0,3	0,008	183	3
Kokku:	44,2	0,050	4 817	505

9.5 Toodetud energia piisavus moderniseeritud tänavavalgustus süsteemi varustamiseks

Kui võrrelda saadud tulemusi elektriliini kogutarbimisega (vt tabel 9.5) pärast kõrgrõhunaatriumlampidega asendamist, siis on näha, et aprillist kuni septembrini saab tänavavalgustuse energiavajaduse täiel määral päikesepaneelidega katta ja mõnedel juhtudel isegi energia ülejääki võrku müüa.

Vähem soodsates kuudes oktoobrist märtsini on päikeseplatade tootlikkus siiski oluliselt väiksem, mis tähendab, et lisaks päikesepaneelide kasutamisele tuleb elektrivõrgust lidaenergiat osta.

Päikesepaneelide võimalike töötundide arvutused tehti päikesetõusu ja loojumise aja põhjal. [31]

Tabel 9.5. Päikesepaneelide toodetud ja kõrgrõhunaatrium- või leedlampidega valgustussüsteemi tarbitud energia vahe.

	Kõrgrõhunaatriumlampidega tänavavalgustite energiatarbimine (MWh)	Leedlampidega tänavavalgustite energiatarbimine (MWh)	Päikesepaneelide toodetud elektrienergia (MWh)	Tänavavalgustite kõrgrõhunaatriumlampidega alternatiivi energia tarbimise ja tootmise vahe (MWh)	Tänavavalgustite leedlampidega alternatiivi energia tarbimise ja tootmise vahe (MWh)
Jaanuar	34,4	17,6	0,5	33,9	17,1
Veebruar	23,3	11,9	1,0	22,3	10,9
Märts	20,1	10,3	3,0	17,1	7,3
Aprill	10,8	5,5	5,6	5,2	-0,1
Mai	11,5	5,9	6,9	4,6	-1,0
Juuni	2,9	1,5	6,4	-3,5	-4,9
Juuli	5,7	2,9	8,4	-2,7	-5,5
August	8,6	4,4	5,8	2,8	-1,4
September	7,5	3,8	3,9	3,6	-0,1
Oktoober	20,1	10,3	1,9	18,2	8,4
November	27,8	14,2	0,6	27,2	13,6
Detsember	34,4	17,6	0,3	34,1	17,3

Tabelist 9.5 on näha leedvalgustite ilmne eelis energiatarbimises. Saadud tulemuste järgi tarbivad leedtänavavalgustid keskmiselt vaid pool kõrgrõhunaatriumlampide energiatarbimisest.

9.6 Järeldus

Kogu modellerimisest võib järeldada, et Tallinna jaoks on päikesepaneeli süsteemi tootlikus aprillist septembrini piisavalt suur ja pidev, et kasutada seda autonoomsete süsteemide energiaga varustamiseks (akupankade kasutamise puhul).

Kahjuks on nende efektiivsus ülejäänud kuudel palju väiksem ja neid saab siis kasutada ainult täiendava energiaallikana.

10. Majanduslik analüüs

10.1 Arvutusmeetod

Projekti uurimise kohustuslikuks osaks on ka majanduslik hindamine.

Üldiselt kasutatakse meetodeid investeeringute tõhususe arvutamiseks kolme peamist majanduslikku meetodit:

- **lihtne tasuvusaeg** – aastate arv, mis kulub esialgse investeeringu tagasisaamiseks;
- **IRR** (*Internal rate of return*) - tulu sisenorm;
- **NPV** (*Net present value*) - tulu nüüdisväärtus.

Energeetikaprojektide hindamiseks kasutatakse sageli lihtsa tasuvusaja meetodit. .

See meetod aitab lihtsastatult välja arvutada projekti esialgse tasuvusaja, mida kasutatakse peamiselt esialgsete hinnangute jaoks, sest see ei võta arvesse näiteks rahavoogusid pärast investeeringut või inflatsiooni. Kui investeeringute tasuvusaeg ületab oluliselt projekti tasuvusaega, siis pole mõtet täiendavalt hinnata. Valemist 10.1.1 järeldeb, et tavaline tasuvusaeg on projekti esialgse maksmuse ja aasta oodatud tulu suhe.

$$Tasuvusaeg = \frac{\text{projekti esialgne maksumus}}{\text{oodatud tulu aastas}} \quad (10.1.1)$$

Oodatud tulud aaastas olenevad energiaturuhindadest ja neid saab arvutada valemiga 10.1.2.

Oodatud tulu aasta =

*toodetud energia hulk aastas * energia ühiku hind energiaturul*

(10.1.2)

10.2 Praegused elektriliini energiakulud

Tabelis 10.2 on toodud süsteemi praegused elektrikulud vastavalt päikesepäeva pikkusele [31] ja Nord Pole Spoti 2014. aasta andmetele [32].

Tabel 10.2. Uuritaval liinil 2014. aastal tarbitud elektri hind.

	Elektri turuhind (EUR/MWh)	Päikesepaneelide tööaeg (h)	Tarbitud elektri hind (EUR)
Jaanuar	40,98	372	1410,1
Veebruar	34,79	252	811,0
Märts	31,57	217	633,7
Aprill	31,64	117	342,4
Mai	36,85	124	422,7
Juuni	35,81	31	102,7
Juuli	44,17	62	253,3
August	39,1	93	336,4
September	42,97	81	322,0
Oktoober	40,22	217	807,3
November	35,41	300	982,6
Detsember	37,42	372	1 287,6

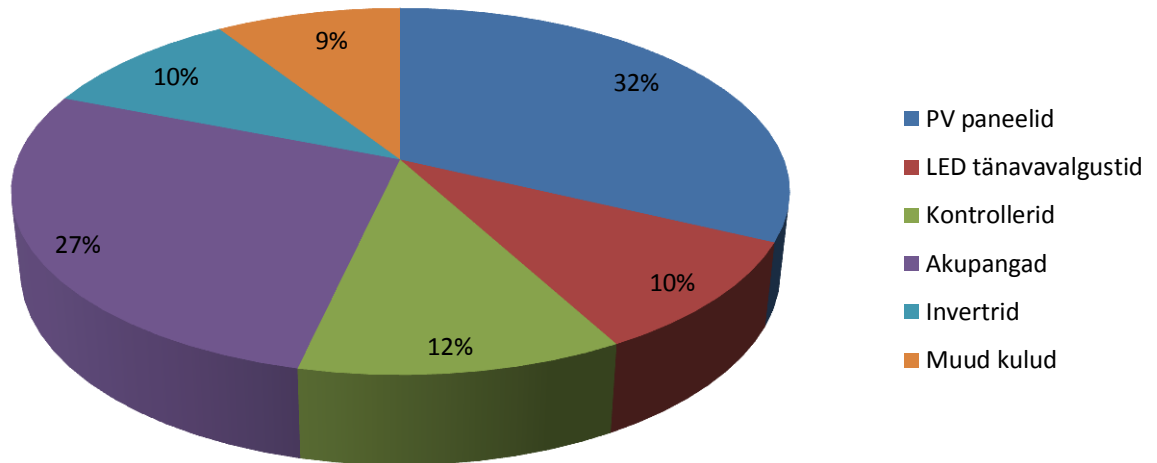
Nagu tabelist näha, on suurim energiakulu külmematel ja pimedamatel talvekuudel. Neid andmeid kasutatakse moderniseerimisprojekti kasumlikkuse arvutamiseks.

10.3 Alternatiivse lahenduse kulud

10.3.1 Projekti tasuvus

Punktis 8.6 „Vajalike seadmete valimise kokkuvõte“, on toodud projekti maksumus 170 529 eurot. Joonis 10.3 näitab projekti osade osakaalu maksmuses. Suurimad kuluartiklid on päikesepaneelid ja akupangad.

Projekti osade maksumus (EUR)



Joonis 10.3. Projekti osade maksumus.

Vajalik summa saadakse eeldatavalt laenust. Arvutustes kasutati järgmisi keskmisi näitajaid: inflatsiooni tase 2%, diskontomäär 7%, projekti tööiga 50 aastat, laenu intressimäär 7% ja laenu väljamaksmise periood 5 aastat. Sellel juhul moodustab aastamakse laenusummast 41 591 eurot. Eespool nimetatud tegureid arvestades läheb ühe megavati elektrienergia tootmine seda süsteemi kasutades maksma 71,43 EUR/MWh.

Järgnevad arvutused näitasid, et projekt ei too tulu esimesed 28 aastat (kaasa arvatud esimesed 5 aastat laenumakset). Pärast 28 aastat hakkab projekt tulu tooma. Samuti on teada, et mõned päikesepaneelid, mis paigaldati 50 aastat tagasi (ja on renoveeritud), töötavad tänaseni, mistõttu võib projekti teoreetiline tulu olla isegi suurem, kuid sel juhul tuleb terve süsteem renoveerida.

10.3.2 Taastuenergia toetus

Praegu on Eestis võimalus saada taastuenergia projektide toetust. Taastuvast energiaallikast (päike, tuul, vesi, biomass, biogaas) toodetud elektrienergia eest makstakse esimese 12 aasta jooksul toetust 53,7 eurot iga toodetud MWh kohta. [33]

10.3.3 Majandusnäitajad

Nendest andmetest lähtudes tehti investeeringu tasuvusnäitajate uuring. Tabelis 10.3 on toodud saadud majandusnäitajate tulemused.

Tabel 10.3. Projekti majandusnäitajad.

Lihtne tasuvusaeg	19,2 aastat
IRR	3,20%
NPV	- 61 202

Nagu tabelist näha, ei ole kõik majandusnäitajad piisavalt suured.

Lihtsa tasuvusaja väärtus on üsna suur, kuid ületab projekti maksimaalse tasuvusaja. See tähendab, et selle majandusnäitaja järgi on projekt tasuv.

Projekti tulu sisenorm (IRR) näitab investeeeringu maksimaalse aktsepteeritava diskontomäära taset. Sellest ka vaid pisut suurem diskontomäär teeb projekti ebarentaabliks.

Antud juhul on IRR diskontotegurist väiksem. Rahaline sääst ei ole raha ajaväärtust arvestades piisav, katmaks esialgset investeeeringut.

Praegune puhasväärtus (NPV) näitab ajahetkel olemasolevate investeeeringute summa ja tagastamiseks vajaliku summa vahet. Vahe arvutatakse kindlaksmääratud diskontomäärast lähtuvalt. Praegusel juhul on NPV näitaja negatiivne, mis tähendab, et see investeeering ei ole kasumlik.

Nagu arvutused näitasid, oleks projekt kasumlikumaks ainult siis, kui projektis kasutatud seadmete hinnad 40% langesid.

Peamise osa projekti maksimusest moodustavad päikesepaneelide ja akupankade kulud. Tänu pidevale tehnoloogia arengule saab loota, et lähitulevikus nende hinnad vähehaaval langevad.

11. Alternatiivi eelised ja puudused

11.1 Eelised

Päikesepaneelipõhise tänavavalgustussüsteemi peamine eelis on see, et päikeseenergia on tasuta ja ei kalline seega aja jooksul.

Tänapäevastes päikesepaneelisüsteemides kasutatavate seadmete tööiga ületab 30 aastat.

Vaatamata sellele, et projekt on üsna kallid, võib seda kasutada innovatiivse projektina päikeseenergiapõhiste tänavavalgustussüsteemide praktilise uurimise eesmärgil.

Päikeseenergia tehnoloogia ei tekita heitgaase ega müra. Projekt aitab suurendada taastuvenergia osakaalu kogu kasutatavas energias ning selle abil saab vähendada süsinikdioksiidi heitmeid atmosfääri. 87,5 kW päikesepaneelide jaam võimaldab vähendada CO₂ heitkogust rohkem kui 28 400 kg aastas.

Projekti edukaks elluviimiseks on parem oodata, kuni päikeseenergia tootmiseks vajalike seadmete (eelkõige päikesepaneelide ja akupankade) hinnad langevad.

Alternatiivsete energiaallikate kasutus võimaluste uurimine ja erinevad tehnilismajanduslikud uuringud võivad olla väga kasulikud ja soodustada energiasektori kiiremat arengut, aga tuua ka rahalist kasu..

11.2 Puudused

Majandusnäitajate hinnang näitas, et sellise projekti realiseerimine ei oleks praegu majanduslikult kasulik.

Projekti peamiseks puuduseks on esiteks ühe megavati elektrienergia tootmise üsna kõrge hind (peaaegu 71,43 EUR/MWh). See olukord võib seoses energiahindade tõusu ja taastuvenergia nõudluse kasvuga siiski peagi muutuda.

Teiseks ei ole päikesepaneelid arvutuste järgi igal aastaajal võrdselt efektiivsed. Päikeseenergiat kasutades saab energiavajaduse katta 6 kuu jooksul aprillist septembrini, aga talvekuudel tuleb elektrienergiat juurde osta. Kuna see ost toimub peamiselt öötariifi aluse, oleks hind siiski üsna vastuvõetav.

Kolmandaks ei sobi, leedlampidega tänavavalgustid kõigis linnaosades kasutamiseks. Nagu juba eespool öeldud, mängib siin olulist rolli päikesepaneelide paigaldamise territooriumi varjulisuus.

11.3 Järeldus

Üldine järeldus, mille võib uuringust teha, on see, et Järvevana tänavavalgustussüsteemi moderniseerimise projektil on omad tehnilised eeliseid, kuid hetkel ei oleks selle ellu rakendamine majanduslikult kasulik.

12. Lahenduse sobivus Tallinna tingimustes kasutamiseks

Modelleerimine ja eespool toodud arvutused näitasid, et päikesepaneelipõhilise tänavavalgustussüsteemi kasutamine Järvevana tänaval on ebamajanduslik. Sama võiks öelda ka süsteemi kohaldamise kohta kogu linna valgustussüsteemi jaoks.

Tallinna linna tänavavalgustussüsteemi täielikuks analüüsimiseks tuleks kasutada samu paigaldamise ja kliimaatilisi algandmeid.

Antud moderniseerimislahendusel on nii positiivseid kui ka negatiivseid külgi, nagu on täpsemalt kirjeldatud punktis 11, „Alternatiivi eelised ja puudused“.

Üldiseks kasutamiseks Tallinna linnas see lahendus siiski praegu ei sobi. See on esiteks tingitud võimetusest toota aastaringselt piisavalt päikeseenergiat. Päikesepaneelidega elektritootmine on antud tingimustes mõistlik ainult kõige päikeselisemal hooajal: märtsist septembrini. Sellel perioodil on võimalik toota piisavalt elektroenergiat nii tänavavalgustuse tööks kui ka ülejäägi võrku müümiseks. Teistel kuudel tuleks elektrit puuduse korral elektrivõrgust juurde osta.

Suureks puuduseks on nii tohutud kulutused terve linna valgustussüsteemi moderniseerimiseks kui ka sellega seotud tehnilised raskused.

Praeguse elektrihinna korral 37,6 EUR/Wh (2014. aastal [32]) ei ole projekti elluviimine majanduslikult otstarbekas.

Kui päikeseenergia tootmiseks vajalike seadmete (päikesepaneelide, akupankade) hind langeb 40% või elektrienergia hind tõuseb 36%, oleks mõttekas kaaluda päikeseenergiapõhiste tänavavalgustus projektide rakendamist selleks kõige sobivamatel teelõikudel.

13. Kokkuvõte

Magistritöö teema on valitud isiklikust huvist lähtuvalt. Töö on kirjutatud Tallinna

Tehnikaülikooli energeetikateaduskonna õppetooli juhendaja Juhan Valtini juhendamisel.

Magistritöö teema hõlmab eelkõige päikesepaneelide kasutamise võimalust ja Tallinna linna valgustussüsteemi korraldamist ning keskkonnasõbralikumaks muutmist. Töö seisnes päikesepaneelide tehnoloogia uurimises Tallinna tänavavalgustussüsteemi tingimustes.

Töös hinnatakse Tallinna linna ressursse, sealhulgas päikesepaiste hulka tundides, päikesekiirgust, õhutemperatuuri ja niiskust, Statistikaameti andmete põhjal.

Töös on toodud ka mõned efektiivsust mõjutavad faktorid ning kirjeldatud nende mõju mehhanismi ning nende mõju vähendamise viise. Lisaks on võimalikult täpselt kirjeldatud alternatiivi teoreetilisi ja tehnoloogilisi aspekte.

On uuritud võimalust optimeerida olemasolevat elektriliini (Järvevana tänav), vähendades selle valgustite koguvõimsust leedlampide kasutamise abil. Järvevana tänav liin oli ühtlasi päikeseenergia põhise tänavavalgustussüsteemi modelleerimise aluseks.

Selle elektriliini lahendus modelleeriti 2014. aasta kliima tegelike andmete alusel EnergyPRO tarkvaras.

Oluliseks tööosaks oli ka erinevate elektriseadmete ja valgustite võrdlemine projektis rakendamiseks. Vaadati läbi ja valiti meie regioonis kasutamiseks kõige sobivamad ja levinumad seadmed.

Muuhulgas on töös toodud moderniseeritava valgustusmasti tööskeem koos kõigi vajalike elektriseadmetega.

Tallinna tänavavalgustussüsteemi modelleerimisel selgus, et päikesepaneelide kasutamine tänavavalgustussüsteemi energiavajaduse katmiseks on tõhus vaid perioodil aprillist septembrini, kui toodetud elektrienergia hulgast peaks piisama isegi võrku müügiks.

Töö alguses hinnatakse Tallinna tänavavalgustussüsteemi hetkeseisu ning arenguperspektiiv Tallinna Energiaagentuuri andmete alusel.

Uurimise käigus avastati, et 87,5 kW päikesepaneelidega süsteem võimaldaks vähendada CO₂ aastast heitkogust rohkem kui 28 400 kg võrra.

Majandusliku analüüsi tulemusel tehti kindlaks, et Järvevana tee päikesepaneelipõhilise tänavavalgustusprojekti hind on 170 529 eurot ja päikeseenergia tootmise hind 71,34 EUR/MWh. See on peamiselt tingitud arenenud tehnoloogiate ja vastavalt kallimate seadmete kasutamisest. Hetkel on see hind liiga kõrge võrreldes keskmise elektrituru hinnaga 2014. aastal 37,6 EUR/Wh.

Projekti hind kompenseeritakse osaliselt elektrikulude vähendamise ja tõhusamate valgustide arvelt.

Tasuvusanalüüs näitas, et uus tänavavalgustuse päikesepaneelipõhise moderniseerimise projekt oleks kasumlik siis, kui elektri hinnad praeguse aasta keskmise hinnaga võrreldes 36% kasvavad või päikeseenergia tootmiseks vajalike seadmete (päikesepaneelid, akupangad) hind vähemalt 40% langeb.

Peamiseks majanduslikuks järeltuleks on see, et praegu ei ole sellesse või analoogsesse moderniseerimisprojekti investeerimine kasumlik, sest praegune elektri hind ei ole piisav, et esialgne investeering ära tasuks. Kui energia hind tõuseb, võib selline projekt olla originaalseks ja pikaajaliseks lahenduseks.

Kirjanduse loetelu

- [1] Sepp, T. Istungi Protokoll. *Tallinna Linnavalitsus*, Tallinn, detsember 2012.
- [2] Tallinna tänavavalgustus. KH Energia Konsult. 24. 07. 2014. [võrgumaterjal]
<http://www.tallinn.ee/est/energiaagentuur/Tallinna-tanavalagustus>. (16. 03. 2015)
- [3] KK41: ILMASTIK (1992-2014, KUUD). Eesti Statistika Andmebaas. [võrgumaterjal]
<http://pub.stat.ee/>. (20. 03. 2015)
- [4] Mahlapuu, M. Päikesekiirgusest. 2014. [võrgumaterjal]
<http://www.tera.ee/P%C3%A4ikesekiirgusest> (19. 03. 2015)
- [5] Jagomägi, P.A. Elekter päikesest Eestis aastal 2012. [võrgumaterjal]
http://f.ell.ee/failid/LVP/2012/09/02_Eelekter_paikesest.pdf (21. 03. 2015)
- [6] Davis, G. A GUIDE TO PHOTOVOLTAIC (PV), CALIFORNIA. California, 2001.
- [7] Хонсберг, К. Влияние температуры. PVCDROM, [võrgumaterjal].
<http://ust.su/solar/media/section-inner17/1597/>. (21. 03. 2015)
- [8] Päikesepaneelide paigaldamine ja suunamine. Taastuenergia OÜ. [võrgumaterjal]
<http://www.taastuenergia.ee/paikesepaneeli-paigaldamine-suunamine.html> (21. 03. 2015)
- [9] Подбор и расчёт системы на солнечных батареях. 26. 11. 2011. [võrgumaterjal]
<http://khd2.narod.ru/gratis/solbat.htm> (21. 03. 2015)
- [10] Kuhl-Thalfeldt, R. AES0250 Elektrienergia hajatootmine III loeng. 16. 09. 2014.
[võrgumaterjal]
https://ois.ttu.ee/ois2/docs/KODUL.236521.09.2014_22:39:25/Hajatootmine%20III%20loeng%20-%20P%C3%A4ikesepaneelide%20modelleerimine.pdf. (21. 03. 2015)
- [11] Расчет средней производительности солнечной батареи. Solar Soul. [võrgumaterjal]
<http://solarsoul.net/raschet-solnechnoj-batarei> (21. 03. 2015)
- [12] SGP340 SON-T100W II FG SKD 48/60. Philips. [võrgumaterjal]
http://www.ecat.lighting.philips.pl/l/selenium/selenium/910925842512_eu/ (15. 04.2015)
- [13] Tänavavalgusti 70 W, Philips Malaga, SGS 101 SON-T70W II MR SP, 118611.
Elektrikaup. [võrgumaterjal] <http://www.elektrikaup.ee/pargi-ja-tanavalgustid/120/tanavalgusti-70-w-philips-malaga-sgs-101-son-t70w-ii-mr-sp-118611.html> (15. 04. 2015)

- [14] MIRA VTP BODY CL.II. Glamox. [võrgumaterjal]
<http://glamox.com/ee/products/nogroup/items/518040302> (15. 04. 2015)
- [15] Tänavavalgusti 250 W, Glamox, Mira 250F HS/HI. Elektri kaup. [võrgumaterjal]
<http://www.elektrikaup.ee/pargi-ja-tanavavalgustid/126/tanavavalgusti-250-w-glamox-mira-250f-hs-hi.html> (15. 04. 2015)
- [16] NEOS ZEBRA LED. Schreder. [võrgumaterjal] <http://www.schreder.com/en-aes/products/pages/NEOS-ZEBRA-LED.aspx> (15. 04. 2015)
- [17] Tallinna linna tänavavalgustusnormid. Tallinna Linnavalitsus. Tallinn, 2004.
- [18] Nael, M. Moodne tehnoloogia aitab linnadel tänavavalgustuses kokku hoida. Eesti Rahvusringhääling. 08. 09.. 2011. [võrgumaterjal] <http://uudised.err.ee/v/eesti/58fc3d3b-5254-4a8e-bde1-6c49bac29fb9> (27. 04. 2015)
- [19] 250 watts solar panels. Free clean solar. [võrgumaterjal]. <http://www.freecleansolar.com>. (26. 04. 2015)
- [20] Comparison of Energy-saving benefits. ADATA Lighting. [võrgumaterjal]. <http://www.adatalighting.com/compare2.php?web=en> (27. 04. 2015)
- [21] Marsol, [võrgumaterjal] <http://www.solarenergyproducts.com.au/index.php/power-sonic-484v-800ah-sla-solar-battery-bank.php> (27. 04. 2015)
- [22] Lithium Custom Built Batteries. [võrgumaterjal].
http://www.electriccarpartscompany.com/48V-800Ah-384-kW-br-PCBBMS-and-Charger-Included-br-BESTGO-POWER-MODULES-br-LiFePO4-Lithium-Battery-Pack-br-8-Stainless-Steel-Boxes-br-228L-11W-11H-in-br-580-280-280-mm-br-124-lbs-562-kgs_p_286.html (27. 04. 2015).
- [23] Arvutiark. [võrgumaterjal]
<http://arvutitark.ee/est/TOOTEKATALOOG/LAUAAARVUTID/APC-Smart-UPS-RT-48V-aku-Pack-44658> (27. 04. 2015)
- [24] Shopclues. [võrgumaterjal] <http://www.shopclues.com/mppt-solar-charge-controller-48v-20a-with-lcd-display.html>. (27. 04. 2015)
- [25] Wholesale Solar. [võrgumaterjal] <http://www.wholesalesolar.com/charge-controllers> (27. 04. 2015)
- [26] China lane [võrgumaterjal] <http://www.chinalane.org/buy-mppt-charge-controller-automatic-12v-24v-48v> (27. 04. 2015)

- [27] DC 48V to AC 220V pure sine wave solar power inverter 10KW. [võrgumaterjal]
http://www.alibaba.com/product-detail/DC-48V-to-AC-220V-pure_625482809.html?s=p
(27. 04. 2015)
- [28] Pure sine wave inverter 48v 220v 5000 watt power inverter. [võrgumaterjal]
http://www.alibaba.com/product-detail/Pure-sine-wave-inverter-48v-220v_60146493573.html (27. 04. 2015)
- [29] 4000watt 12v 24v 48v dc to ac 110v 220v pure sine wave inverter. [võrgumaterjal]
Available: http://www.alibaba.com/product-detail/2015-4000watt-12v-24v-48v-dc_421891295.html (27. 04. 2015)
- [30] Päikesepaiste kestus (tundi) 1981-2010. Riigi Ilmateenistus. [võrgumaterjal]
<http://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimanormid/paikesepaiste-kestus/> (27. 04. 2015)
- [31] Featured Products. Tech Solar. [võrgumaterjal] <http://www.exportersindia.com/techsolar/>
(27. 04. 2015)

Lisa 1

Kapp 563			
	Arv (tk)	Tüüp	Võimsus (W)
Fider 1	34	Glamox	250
Fider 2	36	Glamox	250
Fider 3	2	Glamox	250
	22	Philips SGP340	250
Fider 4	3	Philips SGS101	70
	16	Philips SGS101	50
Fider 5	25	Philips SGS101	50
Fider 6	26	Philips SGS101	50

Kapp 907			
	Arv (tk)	Tüüp	Võimsus (W)
Fider 1	16	Philips SGP340	250
	15	Philips SGP340	150
Fider 2	32	Philips SGP340	250
Fider 3	19	Philips SGP340	250
Fider 4	1	Philips SGS101	70
	21	Philips SGS101	50
	2	Neos Zebra	250
Fider 5	9	Philips SGP340	250
Fider 6a	4	Philips SGS101	70
	1	Philips SGP340	100
Fider 6	3	Philips SGP340	250
	3	Philips SGP340	100
	2	Neos Zebra	250

Kapp 562			
	Arv (tk)	Tüüp	Võimsus (W)
Fider 1	6	Philips SGS101	70
Fider 2	1	Philips SGP340	100
	24	Philips SGP340	250
	22	Philips SGP340	250
Fider 3	2	Philips SGP340	250
	4	Philips SGP340	100
	14	Philips SGS101	70
	4	Neos Zebra	250
	22	Philips SGS101	70
Fider 4	15	Philips SGP340	250
	6	Philips SGP340	150
	1	Philips SGP340	250
Fider 5	23	Philips SGP340	250
Fider 6	9	Philips SGP340	250
	6	Philips SGS101	50

Kapp 253		
Arv (tk)	Tüüp	Võimsus (W)
18	Philips SGP340	250
8	Glamox	250
18	Neos Zebra	250