



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
ELEKTROENERGEETIKA INSTITUUT

Küla elektrivarustus taastuvenergiaallikate baasil

Energiasüsteemide õppetool

Elektroenergeetika õppesuund

Magistritöö

Õppetooli juhataja

prof H. Tammoja

Juhendaja

prof H. Tammoja

Lõpetaja

Sergei Iljin

Tallinn 2015

Töö kaitsmine

Lõputöö on kaitsstud 201... a hindele

Kaitsmiskomisjoni esimees (nimi ja allkiri)_____

Autorideklaratsioon

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

Lõpetaja (allkiri ja kuupäev) _____

Lõputöö kokkuvõte

<p><i>Autor:</i> Sergei Iljin</p> <p><i>Töö pealkiri:</i> Küla elektrivarustus taastuenergiaallikate baasil.</p> <p><i>Kuupäev:</i> 07.01.2015</p>	<p><i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö</p> <p>77 lk</p>
<p><i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool</p> <p><i>Teaduskond:</i> Energeetikateaduskond</p> <p><i>Instituut:</i> Elektroenergeetika instituut</p> <p><i>Õppetool:</i> Energiasüsteemide õppetool</p>	
<p><i>Töö juhendaja(d):</i> Heiki Tammoja</p>	
<p><i>Sisu kirjeldus:</i></p> <p>Käesoleva magistritöö eesmärgiks on uurida kuidas on vaja kasutada taastuenergiat, et saaks varustada küla elektrienergiaga Eesti tingimustes. Töö annab ülevaate taastuenergia kasutamisest Eestis ühe küla näitel ja selle efektiivsusest.</p> <p>Töös antakse ülevaade Hiiumaa saare elektrisüsteemist ning kirjeldatakse võimalusi kasutada erinevaid taastuenergia allikaid. Käsitletakse tuule- ja päikeseenergia potentsiaali ning räägitakse tuuleenergeetika mõjudest loodusele ja inimesele. Tähelepanu all on ka Hiiumaa saare iseärasused ning piirangud.</p> <p>Töös antakse ülevaade päikesepaneelide ja tuulegeneraatorite tüübist. Vaadeldakse taastuenergiatoetused ja energiaühistu.</p> <p>Autor kasutab töös online-kalkulaatori PVGIS, millega arvutatakse päikesepaneelide tootlikkust. Tasuvusarvutused ja tuulikute tootlikkuse arvutused on tehtud programmis Microsoft Excel.</p> <p>Antud töös on kasutatud nii välismaiste kui ka kohalike spetsialistide artikleid, aruandeid ja ettekandeid.</p> <p>Töö tulemustest selgub, et küla elektrivarustamine taastuenergiaallikate abil on võimalik. Tulemuste põhjal võib järeldada, et Eestis on tasuv investeerida taastuenergiaallikatesse.</p>	
<p><i>Märksõnad:</i> tuuleenergia, päikeseenergia, päikeseelektrijaam, taastuenergeetika, energiaühistu, mikrotootmine, elektritootmine</p>	

Summary of the diploma work

<p><i>Author:</i> Sergei Iljin</p> <p><i>Title:</i> The village electrification based on renewable energy sources.</p> <p><i>Date:</i> 07.01.2015</p>	<p><i>Kind of the work:</i> Master thesis</p> <p>77 pages</p>
<p><i>University:</i> Tallinn University of Technology</p> <p><i>Faculty:</i> Faculty of Power Engineering</p> <p><i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering</p> <p><i>Chair:</i> Chair of Power Systems</p>	
<p><i>Tutor(s) of the work:</i> Heiki Tammoja</p>	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>Aim of this masters thesis is to explore how to use renewable energy that could supply the village with electricity in Estonian conditions. The work gives an overview of the use of renewable energy in Estonia on example of the village, and its effectiveness.</p> <p>The work gives an overview of Vormsi island electricity grid and describes the various ways to use renewable energy sources. The wind- and solar energy potential has been studied, windmills effects to nature and humans are discussed. It is focused to the island features and restrictions.</p> <p>The work provides an overview of the type of solar panels and wind turbines. Consider the subsidies of renewable energy and energy cooperatives.</p> <p>The autor is using the online-calculator PVGIS to calculate the productivity of solar panels. Viability analysis and productivity of wind turbines calculations are done in Microsoft Excel.</p> <p>In this work the author has used the articles of foreign and local specialists, reports and presentations.</p> <p>From the results, it appears that the electricity supply to the village of renewable energy sources is possible. Based on the results it can be concluded that there are cost-effective to invest in renewable energy source.</p>	
<p><i>Key words:</i> windenergy, solarenergy, solar power station, renewable energy, energy cooperatives, micro production of electricity, electricity production</p>	

Sisukord

Lõputöö ülesanne.....	8
Eessõna	10
Sissejuhatus.....	11
1. Hiiumaa saar ning selle elektrisüsteem	13
2. Taastuenergia Eestis	15
2.1 Tuuleenergia.....	16
3. Päikeseenergia ja päikesepaneelid	19
3.1 Päikeseenergia ressursid	19
3.2 Päikeseenergia ja elekter	20
3.3 Erinevad päikesepaneelide tehnoloogiad	21
3.4 Päikesepaneelide paigaldamine ja suunamine	22
3.4.1 Statsionaarne paigaldamine katusele	23
3.4.2 Paigaldamine vertikaalselt	23
3.4.3 Paigaldamine maapinnale	23
3.4.4 Järgivajam (tracking system)	24
3.5 On-grid ja Off-grid süsteemid.....	24
4. Tuulegeneraatorid	26
4.1 Tuulegeneraatorite klassid	26
4.1.1 Mikrotuulegeneraatorid.....	27
4.1.2 Minituulegeneraatorid.....	27
4.1.3 Pereelamu tuulegeneraatorid	27
4.1.4 Väikesed kommertskasutusse mõeldud tuulegeneraatorid.....	27
4.1.5 Keskmised kommerts tuulegeneraatorid.....	28
4.1.6 Suured kommerts tuulegeneraatorid.....	28
4.2 Tuulegeneraatorite põhitüübid	28
4.2.1 Horisontaalse teljega tuulegeneraatorid (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT).....	29
4.2.2 Vertikaalse teljega tuulegeneraatorid (VAWT)	29
4.2.3 Teist tüüpi tuulikud	31
4.3 Esimesed eestimaised tuulikud	31
5. Tuuleenergia seadmete peamised keskkonnamõjud	32
5.1 Looduskaitsepiirangud.....	32
5.1.1 Mõjud linnustikule	32
5.1.2 Mõjud taimestikule	33
5.2 Visuaalne mõju	34
5.3 Varjud ja peegeldused	34
5.3.1 Peegeldused – nn diskoefekt	35
5.3.2 Liikuvad varjud - tuuliku konstruktsiooniosade poolt põhjustatavad varjud.....	35
5.4 Müra	35
5.5 Elektromagnetväljakiirguse mõju	36
5.6 Avamere tuuleparkid.....	37
5.6.1 Mõju loodusele	37
5.6.2 Mõju kalastikule	37
5.6.3 Ehitismüra	38
5.6.4 Kaabli magnetväli.....	38
5.6.5 Tuuliku alused ja kalandus	39
6. Lokaalne energiavarustus ja tsentraalne võrk	40

6.1 Tsentraalse võrgu üleviimisest taastuenergiale	40
7. Taastuenergia augud ja elektrivarustussüsteem	42
7.1 Valgusaugud ja tuuleaugud	42
7.2 Täisauk	42
7.3 Energiaaukude täitmine	43
7.4 Elektrivarustussüsteem ja sellega seotud valikud	43
7.5 Mille vahel on valida Eestil?	44
7.6 Energiasalvestita ei saa	44
7.7 Hüdroakumulatsioonijaam	46
8. Piirangud tuuliku püstitamisel	47
8.1 Tuulikuparkide asukohavalik	47
8.2 Hiiumaa piirangud	47
9. Päikeseenergia kasutamise piirangud Hiiumaal	50
10. Taastuenergia toetused	51
11. Ühistu	53
11.1 Energiaühistu	53
11.2 Taastuenergia ühistu	53
12. Küla elektrivarustus	55
12.1 Tuulikute ning päikesepaneelide valik	57
12.2 Talude elektrivarustus	59
12.3 Arvutamise tulemused	59
12.4 Võrguühendus ja võrguühenduseta majapidamine	63
12.4.1 Elektri ost ja müük	64
12.4.2 Liitumine elektrivõrguga	65
12.4.3 Liitumine mikrotootjale	65
12.5 Tasuvuse arvutused	66
12.6 Järeldused	67
13. Kokkuvõte	68
14. Kasutatud kirjandus	72

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema:	Küla elektrivarustus taastuenergiaallikate baasil
Üliõpilane:	Sergei Iljin, 111316AAVM
Lõputöö juhendaja:	Heiki Tammoja
Õppetool:	Energiasüsteemide õppetool
Õppetooli juhataja:	Heiki Tammoja
Lõputöö esitamise tähtaeg:	07.01.2015

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppetooli juhataja (allkiri)

Teema põhjendus:

Teemat on vaja uurida, et aru saada kuidas on võimalik varustada küla taastuenergia baasil Eesti tingimustes. Teema on oluline Eesti energeetika jaoks, sest taastuenergia abil on võimalik vähendada CO₂ emissiooni ja täita EL-i kriteeriumid selles küsimuses. Taastuenergia kasutamise kasv annab võimalust vähendada põlevkivi kasutamist ja kaevandust. Töö annab ülevaate taastuenergia kasutamisest Eestis ühe küla näitel ja selle efektiivsusest.

Töö eesmärk:

Töö eesmärgiks on uurida kuidas on vaja kasutada taastuenergiat, et saaks varustada küla elektrienergiaga Eesti tingimustes.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Milliseid taastuenergia allikaid võib efektiivselt kasutada küla elektrivarustamisel?

Kuhu paigutada päikesepaneelid ja tuulegeneraatorid, kas iga talu kõrval või eraldi ühes kohas? Milline oleks elektrituulikute optimaalne võimsus? Elektrituulikute paigaldamise piirangud Hiiumaal.

Millised päikesepaneelid ja tuulikud paigaldada nende hind?

Mis on majanduslikult poolt efektiivsem, kas toota vaid endale või müüa elektrivõrku?

Kas luua elektriühistu?

Võimalikud riiklikud toetused taastuenergia süsteemide ehitajatele-kasutajatele?

Lähteandmed:

Kasutan järgmised andmed: küla tarbijate peakaitsmed, aastane tarbimine ja katuste pinnad.

Andmed saan juhendaja käest. Teised andmed võtan TTÜ raamatukogust ja internetist.

Eessõna

Käesoleva lõputöö teema pakuti välja Tallinna Tehnikaülikooli professori Heiki Tammoja poolt. Antud teema valiku põhjuseks oli autori soov lähemalt tutvuda taastuvenergiaallikatega ning nende kasutusega Eesti tingimustes. Autor tänab oma juhendajat, kelle käest oli saadud vajalikud andmed ja tänu kellele sai lõputöö sellisel kujul tehtud. Autor tänab ka Reeli Kuhlthalfeldt täiendava informatsiooni eest. Lisaks autor tänab Antti Natka ja Mihkel Mahlapuu, kelle lõputööd „Tuule- ja päikeseenergiast elektri tootmise võimalused Vormsi saarel“ ja „Päikeseelektrijaama toodangu simulatsioon ja majanduslik analüüs linnatingimustes asuvatel hoonetel“ on kasutatud sisendina magistritöö kirjutamisel. Suur tänu ka abikaasale ja vanematele toetuse eest.

Autori kontaktandmed:

Telefon: **372 55 98 67 81**

E-post: **sergei.iljin.1989@gmail.com**

Sissejuhatus

Vastavalt taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise direktiivile 2009/28/EÜ on Eesti kohustatud tõstma taastuvate energiaallikate osakaalu kogu energiatarbimises võrreldes referentaastaga 2005.a. 25%-ni aastaks 2020 [1]. Samuti on eesmärgiks, et elektri brutotarbimises oleks taastuenergia osakaal 2015.aastaks vähemalt 15% [2]. Elektri ja soojuste tootmiseks on enim levinud järgmised taastuenergia allikad: tuule-, päikese-, hüdro-, geotermaal-, biomassi- ja mereenergia [3]. Käesolevas magistritöös uuritakse taastuenergia kasutusvõimalusi Eesti tingimustel ühe küla näitel Hiiumaal.

Kui soovitakse üle minna taastuenergiale, siis millised on suurima potentsiaaliga taastuenergia allikad Eestis? Need on tuul, päike ja küttepuid. Üldjuhul on need igal pool kohapeal kättesaadavad [4]. Taastuenergia moodustas eelmisel aastal Eestis elektrienergia kogutarbimisest 12,6 protsenti, mis on 2,4 protsendipunkti võrra vähem võrreldes 2012. aastaga, teatas Elering. Tuuleenergia andis 2013. aastal 46 protsenti taastuenergia kogutoodangust. Tuuleenergia toodang kasvas aastaga 18 protsenti ehk 80 gigavatt-tundi, sest 2012. aasta lõpul ja eelmisel aastal lisandus mitu uut tuuleparki. Järsult kasvas eelmisel aastal päikeseenergia eest makstud toetuste summa, kuid teiste allikatega võrreldes oli toetuse kogumaht siiski marginaalne – 6000 eurot aastas [5].

Eesti Põhjamaana peetakse külmaks ja päikesevaeseks maaks. Keskkonnaagentuuri (KAUR) andmete kohaselt oli aastal 2012 Eestis Harku mõõtejaamas aastane päikese radiatsioon 938 kWh/m², mis jääb veidi alla Kesk-Euroopa riikide keskmisele nagu näiteks Saksamaale, kus aasta keskmiseks hinnatakse 1150 kWh/m² [3]. Saksamaal oli 2012. aasta lõpuks installeeritud 31,3 GW päikesepaneelide, millega toodeti üle 4,5% kogu riigi elektritoodangust ning see arv suureneb pidevalt [3].

Teatavasti on Saksamaa suurim päikeseenergia tootja maailmas, seal asub ca 50% kogu maailma päikeseelektrijaamadest. Kui võrrelda päikesepaneelide tootlikkust Eestis ja Saksamaal, siis aasta lõikes on see sama. Eestis on päikeseenergiat küll vähem, aga seda kompenseerib keskmisest madalam õhutemperatuur, mis omakorda tõstab päikesepaneelide efektiivsust [6].

Eesti ühe vanima taastuenergia elektritootmislahendusi pakkuva väikeettevõtte Bakeri juht Anti Tiik rääkis, et päikesepaneelide tasuvusaeg jääb 10-15 aasta vahele, kui tegemist on võrgulahendusega. Grid-lahendused ehk need, kus elektrivõrku ei ole ja liinide vedamine

maksaks üle 20 000 euro, tasuvad päikesepaneelid ära kohe, kui esimest korda lülitit vajutada. Elektrivõrguga liitumine on lihtsalt sedavõrd kallim [7].

Eesti Tuuleenergia Assotsiatsiooni tegevjuht Tuuliki Kasonen tõi taastuvenergia kasutamise peamiste põhjustena kaks aspekti: vajadus ja maailmavaade. „Üsna sage põhjus on soov kulutusi energiale vähendada ja seda iseäranis tulevikku vaadates, kus elektrihinna langemist ei ennustata. Ka on Eestis piirkondi, iseäranis väikesaared, kus liitumine elektrivõrguga on kallim, kui oma energiatootmise rajamine. Peale selle on oluline roheline maailmavaade või soov olla üldisest energiasüsteemist sõltumatu,” kõneles Tuuliki Kasonen [7].

Tuulik töötab vaid seal, kus on tuult, ja kuigi Eestis võib aeg-ajalt tunduda igal pool, et iilid viivad püksid jalast, on tuuleenergia tootmiseks vaja pidevalt tuulist ja turbulentsivaba kohta. „Tuuliku asukoha valimisel on reeglits, et see peab olema lage paik, kuhu saab panna lähedal asuvatest hoonetest ja puudest kõrgema masti. Sellised kohad on enamasti rannikul ja saartel,” selgitas Kasonen [7].

Lõputöö eesmärgiks on analüüsida, kas on võimalik varustada küla elektrienergiaga taastuvenergiaallikate abil ning taastuvenergiast elektri tootmise võimalusi. Käesolevas töös uuritakse ainult roheline energia allikate kasutamise võimalusi.

Esmaseks ülesandeks on uurida millised taastuvenergiaallikad võib efektiivselt kasutada küla elektrivarustamisel. Tüüpseteks elektritarbijateks külas on talud. Kõik need talud on üldiselt koosnevad mitut ühe või kahe korruselise hoonetest viilkatusega. Käesolevas töös võetakse uurimiseks viis talud erinevate katusepindala ja aastase elektritarbimisega.

Teiseks ülesandeks on uurida, kuhu paigutada tuulegeneraatorid, kas iga talu kõrval või eraldi rajada tuuleparki. Veel on vaja arvutada tuulikute optimaalne võimsus ning juhtida lugeja tähelepanu probleemidele, mis võivad kaasneda tuuleenergia kasutamisel ja millised on elektrituulikute paigaldamise piirangud Hiiumaal.

Kolmandaks ülesandeks on tutvustada erinevate päikesepaneelide ja tuulikute tüüpe, vaadeldakse nende hind.

Neljandaks ülesandeks on uurida, mis on majanduslikult poolt efektiivsem, kas toota vaid, et katta oma vajadust, või müüa elektrivõrku. Vaadeldakse ka võimalikud riiklikud toetused.

Töö koostamisel kasutati materjale erialasest kirjandusest, internetist, artiklitest ning ettevõttesisestest dokumentidest.

1. Hiiumaa saar ning selle elektrisüsteem

Hiiumaa on Eesti saartest suuruselt teine saar. Administratiivselt moodustab ta koos oma lähedal asetsevate laidude ning Kassari saarega Hiiumaakonna. Hiiumaa pindala koos ligikaudu 200 ümbritseva väikesaarega on 1023 km² [8]. Hiiumaal elab 2011. aasta rahvaloenduse järgi 8482 inimest [9].

Hiiumaa asub mandri-Eestist 22 km läänes ja naabersaarest Saaremaast 6 km põhjas. Rootsi rannikuni läänes on ligikaudu 250 km ning Soome rannikuni põhjas 120 km. Lähimad linnad on Haapsalu (45 km), Kuressaare (83 km), Tallinn (120 km), Turu (120 km), Helsingi (180 km), Stockholm (240 km), Riia (270 km) [10].

Hiiumaa peamisteks loodusvaradeks on: ehitusliiv, keraamiline savi, ehituskruus, meremuda, tehnoloogiline lubjakivi, ehituslubjakivi, hästilagunenud turvas, vähelagunenud turvas ja mineraalvesi [10].

Hiiumaa majanduse südameks on kaasaegne plasti- ja koostetööstus. Hiiumaal toodetakse lõputus valikus plastdetailide, pistikuid, lüliteid ja juhtmekomplekte, komplekteeritakse valgusteid, valmistatakse ratsaspordi tarvikuid, arendatakse ja toodetakse meditsiinilisi filtreid ning toodetakse erinevat kilet ja kilepakendeid, sealhulgas biolagunevaid kilekotte [8].

Energeetika on Hiiumaa arengu strateegiliseks valdkonnaks, sest see mõjutab kõiki kogukonna majandusliku ja sotsiaalse elu aspekte, omades sealjuures olulist mõju impordi-eksporti saldole ning selle vahendusel konkurentsivõimele, tööhõivele ja elukvaliteedile [10].

Saare eraldatus ja väiksus tingib energiavarustuse suuremad kulud. Viimased tulenevad transpordist, turu suurusel ja taristust. Täiendavad kulud tingivad suurema majandusliku huvi taastuvenergeetika arendamise ja taastuvenergia kandjate väärtustamise vastu. Taastuvenergeetika arendamise majanduslikele hüvedele lisanduvad keskkonna ja sotsiaalsed hüved [10].

Sotsiaalmajandusliku arengu ja energeetika tänane olukord ja tulevikuperspektiiv nõuavad taastuval energeetikal põhinevat niisugust energiapoliitikat, mis lähtub efektiivsusest ja kohalike taastuvenergia kandjate väärtustamisest [10].

Praegu Hiiumaal on kasutusel 35kV võrk. Eleringi hinnangul on olemasoleva 35 kV võrgu rekonstrueerimise ja tugevdamisega võimalik tagada varustuskindlus kuni Hiiumaa tipukoormus ei ületa 15 MW piiri. Hinnanguliselt on võimalik kuni 25MW tarbimisvõimsust tagada olemasolevat 35 kV võrku rekonstrueerides ja ehitades täiendava 35 kV või 110 kV

ühenduse Saaremaalt. Kui tiputarbimine ületab 25 MW tasub kaaluda kahepoolse 110 kV võrgu ehitamist Hiiumaale. Hiiumaa tarbimise tipukoormuse kasvu prognoos aastaks 2030 on 16,8 MW [11].

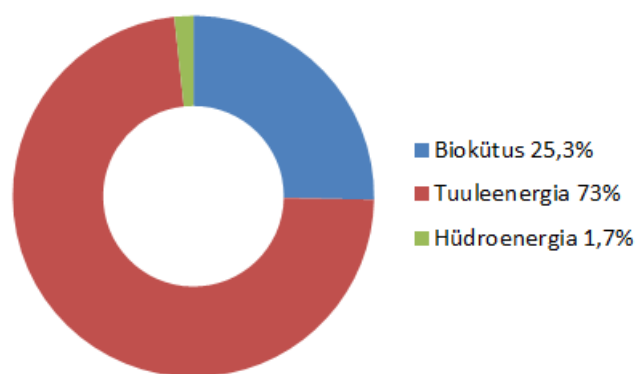
Hiiumaa energeetika areng aastani 2020 keskendub kohalikul ressursil ja eelistatult kohalikul kapitalil põhineva bio-, tuule- ja päikeseenergeetika arendamisel. Hiiumaal toodetud biogaas ja elekter leiavad rakendamist kohalikus transpordis (sh. meretranspordis) ja majanduses. Biokütusel töötavad väikese võimsusega koostootmisjaamad tagavad suuremate asulate kütte- ja energiatarbe kütteperioodil. Oluliselt suuremal määral kasutatakse päikesepaneelide ja -kollektoreid [10].

2. Taastuvenergia Eestis

Kehtiva Elektriturseaduse mõttes on taastuvad energiaallikad vesi, tuul, päike, laine, tõusmõõn, maasoojus, prügilagaas, heitvee puhastamisel eralduv gaas, biogaas ja biomass. Nendest allikatest toodetud elektrienergia on taastuvenergia [12].

Eesti taastuvenergia potentsiaal avaldub eeskätt bioenergiast baseerivas elektri ja soojuse koostootmises ning tuuleenergiast. Samuti arendatakse väikesemahulist hüdroenergeetikat [12].

Taastuvenergia tootmismahud 2012. aastal on toodud joonisel 2.1.



Joonis 2.1 Eesti Energia taastuvenergia tootmismahud 2012. aastal [13]

Joonisest 2.1 on näha, et suurem osa taastuvenergiast on toodud tuuleenergiast, mis annab kolm veerandiku kogu tootmismahust, ning biokütus koos hüdroenergiaga annavad veel üks veerandiku.

Tuuleenergia kasutamisele seab praegu piiranguid vaid juba olemasolev elektritootmissüsteem. Olenevalt elektritootmissüsteemi ülesehitusest saab sinna liita teatud hulga elektrituulikuid. Samas ei võimalda tuule juhuslikkus igal ajahetkel tagada elektri stabiilset tootmisvõimet. Eesti elektritootmissüsteemi reguleerimisvõime on praegu piiratud, seades sellega piiranguid ka tuuleenergia kasutamisele [13].

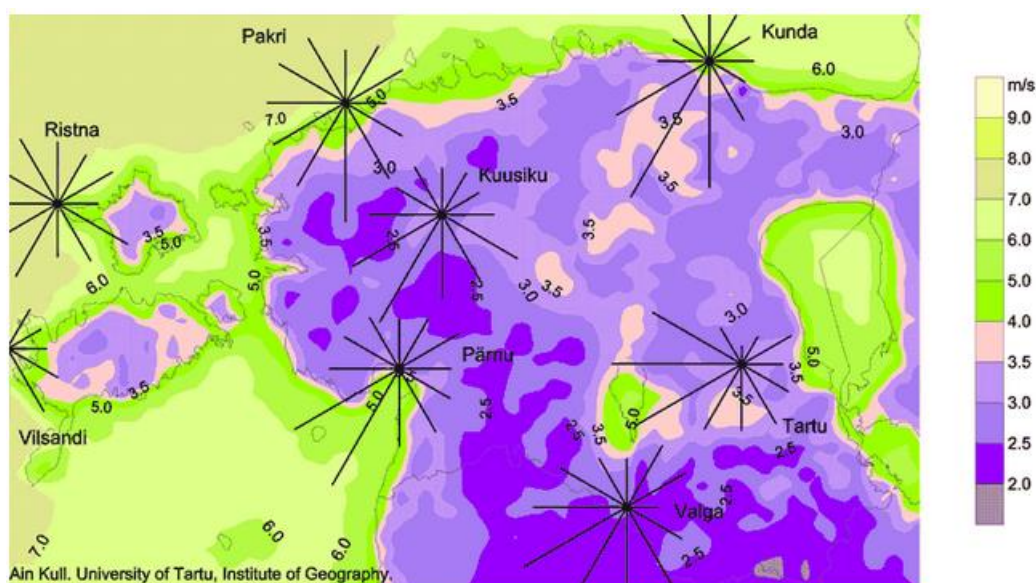
Vesi on kohalik energiaallikas ning veevarude kasutamine elektritootmiseks ei ole Eestis maksustatud. Samas on hüdroenergia kasutamise maht Eestis piiratud, teoreetiliselt on seda hinnatud 30 MW, millest tegelikult on kasutatav vaid kolmandik. Eestisse on rajatud märkimisväärne hulk hüdroelektrijaamasid, kuid maailmamastaabis on need siiski mikro-hüdroelektrijaamad. Kuigi suuremahulises elektritootmises ei suuda Eesti hüdroelektrijaamad

kaasa rääkida, on siiski mõistlik olemasolevat ressursi kasutada - seetõttu on Eesti Energia investeerinud mitmesse hüdroelektrijaama [13].

Biomass on toodetud madala kvaliteediga metsamaterjalist, võsast, roostikest ja põllumajandusest saadud jäätmetest. Biomassi varud on Eestis suured ning selle taastumise aeg on võrreldav inimese elueaga. Biomassi kasutamise keskkonnasõbralikkus ning kohalike varude olemasolu muudab sellise kütuse Eesti Energia jaoks huvitavaks. Peamiseks huviks on fossiilkütuste asendamine keskkonnasõbraliku kütusega. Eelkõige otsitakse võimalusi kasutada biomassi juba olemasolevates elektrijaamades, et toota energiat keskkonnasõbralikult ilma kalleid investeeringuid tegemata [13].

2.1 Tuuleenergia

Kuigi tegemist puhta ja ökonoomse kütuseliigiga, on tuulepotentsiaali ilmselt alahinnatud. Eestis on aasta keskmine tuulekiirus 4...5 m/sek, valdavalt puhuvad lääne- ja kagutuuled ning kõige tuulisem kuu on detsember, kui saartel on tuule keskmine kiirus üle 7 m/sek. Eriti perspektiivseid paiku tuuleenergia tootmiseks, kus aasta keskmine tuulekiirus on 5...6 m/sek, on Eestis palju [14].



Joonis 2.2 Keskmesed tuulekiirused Eestis [14]

Keskmesed tuulekiirused ja suunad on toodud joonisel 2.2. Joonisest on näha, et kõige rohkem tuulikute rajamiseks kohad asuvad saartel ja mandri rannikul, kus tuulekiirus on keskmiselt 5 m/sek ja suurem. Mandril kesktsoonis tuulekiirus langeb kuni 2 m/sek ja see tähendab, et suurem osa tuulikute tüübist ei käivita sellel tuulekiirusel. Olemasolevad tuulepargid Eestis on toodud tabelis 2.3.

Tabel 2.3 Tuulepargid Eestis [15]

Tuulepark	Võimsus, MW	Tootja	Tuulikute arv	Tuulikute tootja
Virtsu I	1,8	Nelja Energia OÜ (1,2MW) / Eesti Energia AS (0,6MW)	3	Enercon
Torgu	0,45	Meritreid OÜ	3	Vestas
Pakri	18,4	Nelja Energia OÜ	8	Nordex
Esivere	8,0	Nelja Energia OÜ	4	Enercon
Läätsa	3,0	Telewind AS	6	Siemens
Nasva	1,6	Baltic Wind Energy OÜ	2	Vestas
Viru-Nigula	24,0	Nelja Energia OÜ	8	Winwind
Ruhnu (Sjustana)	0,15	Eesti Energia AS	2	Vestas
Sangla	0,3	Sangla Turvas AS	1	
Türju	0,3	Rotorline OÜ	3	
Virtsu lisatuulik	0,8	Eesti Energia AS	1	Enercon
Virtsu II	6,9	Nelja Energia OÜ	3	Enercon
Esivere I (I etapp)	12,0	Skinest Energia AS	4	Winwind
Aulepa (I etapp)	39,0	Eesti Energia AS	13	Winwind

Vanaküla	9,0	Nelja Energia OÜ	3	Winwind
Tooma	16,0	Nelja Energia OÜ	8	Enercon
Virtsu III	6,9	Nelja Energia OÜ	3	Enercon
Nasva tuulik I	2,3	Baltic Workboats AS	1	Siemens
Aulepa (II etapp)	9,0	Eesti Energia AS	3	Winwind
Aseriaru	24,0	Nelja Energia OÜ	8	Winwind
Narva	39,0	Eesti Energia AS	18	Enercon
Paldiski	45,0	Nelja Energia OÜ, Eesti Energia AS	18	GE Energy
Sikassaare	1,5	Stacey OÜ	3	Enercon
Ojaküla	6,9	Nelja Energia OÜ	3	Enercon
Nasva tuulik II	3,6	Baltic Workboats AS	1	Siemens
Tamba	6,0	Tuuleenergia OÜ	3	Enercon
Mäli	12,0	Tuuleenergia OÜ	3	Enercon
Aburi	1,8	OÜ Green Electric	1	Vestas
Salme II	3,0		1	Eleon

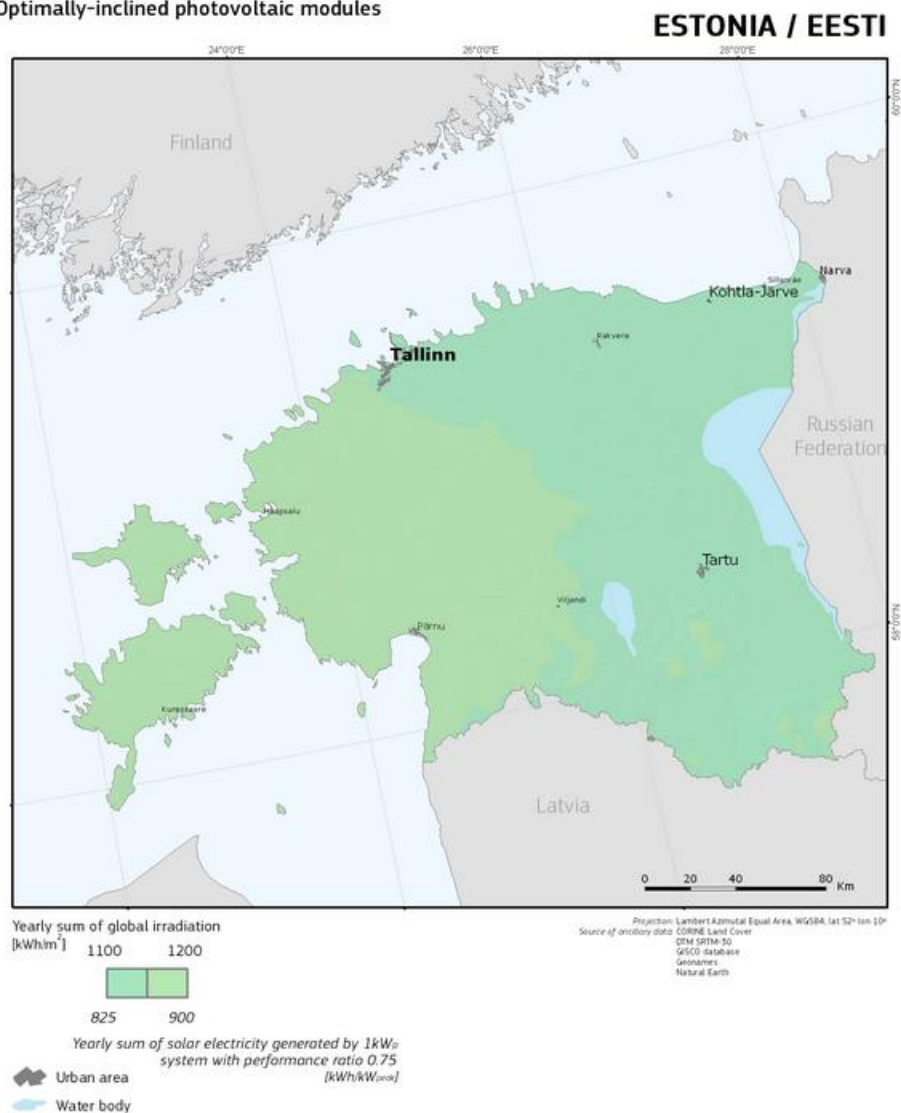
3. Päikeseenergia ja päikesepaneelid

Päikeseenergia on energia, mis on saadud päikesekiirgusest ja see vabaneb päikesel toimuvate termotuumareaktsioonide tulemusel. Päikesekiirgus on maal toimuvate füüsikaliste ja bioloogiliste protsesside energiaallikas. Juba maa elustiku algusest saadik on elusorganismid kasutatud päikesekiirgust, kui energia allikat. Esialgu küll ainult ennast soojendades otsese päikesekiirguse käes, ning taimede fotosünteesis, kus päikeseenergia muundatakse keemiliseks energiaks [16].

3.1 Päikeseenergia ressursid

Eestis horisontaalsele pinnale langev aastane summaarne päikesekiirus jääb reeglina vahemikku 825...950 kWh/m². Optimaalse kaldega pinnale on summaarne aastane päikesekiirgus vahemikus 1100...1200 kWh/m². Seejuures 80...90% summaarsest kiirgusest langeb maapinnale vahemikus märts kuni september. Vastavalt eeltoodud joonisele 3.1 erineb Eestis ida ja lääne osas summaarne päikesekiirgus, nimelt on läänes summaarne päikesekiirgus mõnevõrra suurem. Sõltuvalt päikesepaneelide kaldenurgast erineb juuni/juuli ja detsembri summaarne kiirgus 20...50 korda. Võrreldes Kesk-euroopaga on Eestis talviste madalamate temperatuuride tõttu PV-süsteemise kaod oluliselt väiksemad ja kollektorsüsteemide kaod kõrgemad [17].

Global irradiation and solar electricity potential
Optimally-inclined photovoltaic modules



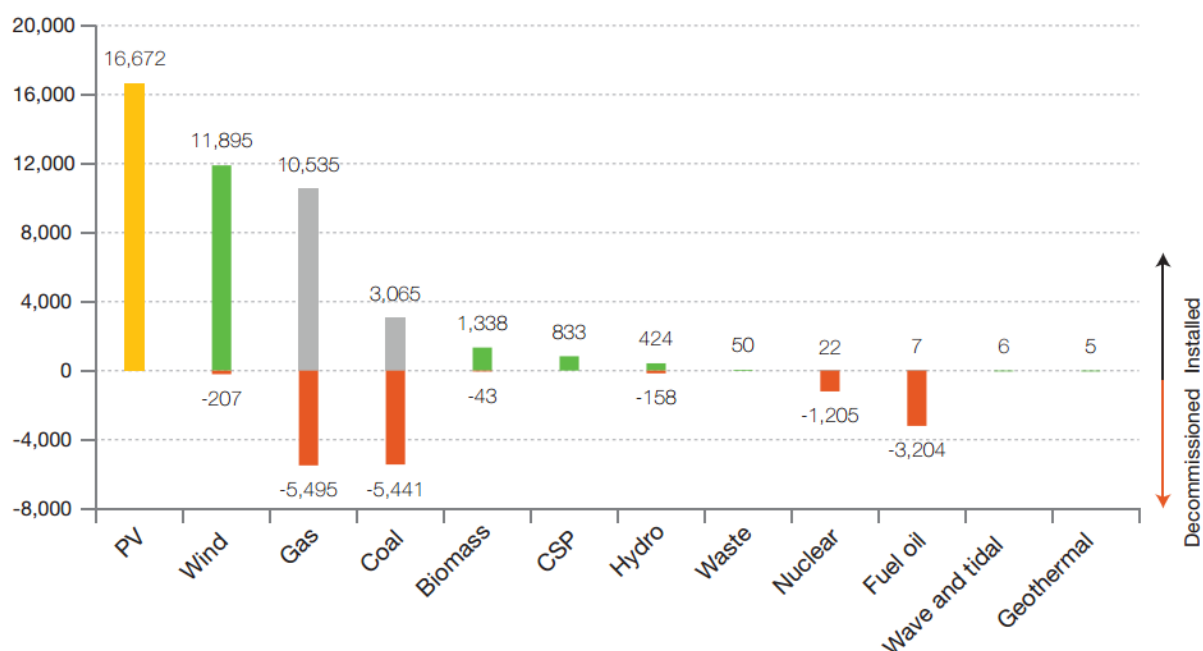
Joonis 3.1 Päikesekiirguse kaart [18]

3.2 Päikeseenergia ja elekter

17. sajandil kirjeldati esmakordselt elektrienergiat ka teaduslikult, ning alates sellest ajast on inimkonna elektrienergia kasutamine jõudsalt kasvanud. Pooljuhtpäikeseenergeetika seadistes muundub päikesevalgus elektrienergiaks fotovoltefeki abil. Selle avastas juba 1839. aastal prantsuse füüsik Alexandre Edmond Becquerel. Ta märkas, et mõned materjalid olid suutelised valguse toimet andma nõrka elektrivoolu. Hiljem põhjendas fotoelektrilise efekti teoreetilist külge Albert Einstein, kes pälvis selle eest Nobeli füüsikaauhinna. Esimene päikeseplatari ehitati aga aastal 1954 Ameerika Ühendriikides Belli laboratooriumis [16].

Päikesepaneelis toimub valgusenergia muundamine elektrienergiaks fotogalvaanilise efekti abil, milles elektromagnetkiirguse osakesed tabavad päikesepaneeli ja neelduvad pooljuhtmaterjalis, näiteks ränis. Elektronid lüüakse oma aatomitest välja, põhjustades elektrilise potentsiaali erinevuse. Elektronid hakkavad liikuma läbi materjali, tekitades elektrit. Päikesepaneelid toodavad päikesekiirgusest alalisvoolu, mida saab kasutada seadmete toiteks või patareide laadimiseks. Ühendades süsteemi inverteri saab alalisvoolust hõlpsasti tekitada vahelduvvoolu, mis on tänapäeval levinud ülekandevõrkudes [16].

Ainuüksi Euroopa Liidus installeeriti 2012. aastal 16,7 MW ulatuses päikesepaneele, mis teeb nendest suurima elektritootmisvaldkonna selle aastal. Joonisel 3.2 on näidatud 2012. aastal Euroopa Liidus installeeritud ja demonteeritud elektrijaamade tootmisvõimsused. Nähtub, et suurimad investeeringud on sellel aastal tehtud päikese-, tuule- ja gaasielektri jaamadesse [19].



Joonis 3.2 Euroopa Liidus 2012. aastal installeeritud ja demonteeritud elektri jaamade tootmisvõimsused [19]

3.3 Erinevad päikesepaneelide tehnoloogiad

Päikesepaneeli ehk PV paneeli (*photovoltaic*) võib ehituselt võrrelda pangakaardiga, mis kihtidena kokku laotud ja pressi all lamineeritud. Kihte on viis:

- Peegeldust vähendava pinnatöötusega klaas;
- Polümeerist kilematerjal;

- Omavahel ühendatud päikeseplatade elemendid;
- Polümeerist kilematerjal;
- Alusmaterjal, milleks on tavaliselt plastikust plaat [20].

Kui erinevad kihid on omavahel kokku lamineeritud, pannakse ümber alumiiniumist raam, tagaküljele kinnitatakse kaablite niiskuskindlaks ühendamiseks karp, milles asuvad ka diodid, mis peavad elektrivoolu mööda juhtima, kui paneel päikesevarju satub [20].

Suurem osa PV-materjalist on räni: kas amorfne (a-Si) või kristalliline räni (c-Si). Sellest tulenevalt on maailmaturul eri liiki elektrienegi tootvaid päikesepaneele: mono- ja polükristallilised ning amorfse kilega päikesepaneelid. Räni tüübist sõltub päikesepaneeli hind ja efektiivsus: amorfne räni on odavam, kuid vähemefektiivne. Kristallilisest ränist päikesepaneelide kasutegur on suurem, kuid lähtematerjal on kallim, mis tuleneb räni puhastusprotsessist [21].

Monokristallilised päikesepaneelid (Monocrystal solar panels) on kõige efektiivsemad, kuid tootmine on kallis, sest paneelis kasutatakse kristallilist räni. Elemendist püütakse vabanevaid elektrone. 220 Wp (indeks p tähendab peak- ehk tippvõimsust) monokristalliline paneel annab 220 W võimsust ideaalsetes tingimustes. Näiteks kui päikeselt tulev energia on 800 W/m², siis 200 Wp päikesepaneel suudab muundada elektriks 157 W energiat. Seega on monokristallilise päikesepaneeli kasutegur ligikaudu 20% [21].

Polükristallilised päikesepaneelid (Polycrystal solar panels) on väiksema kasuteguriga, kuid veidi odavamad. 200 Wp polükristalliline päikesepaneel suudab samadel tingimustel (800 W/m²) muundada elektriks 143 W energiat. Polükristallilise paneeli kasutegur jääb 17% juurde [21].

Amorfse kilega päikesepaneelid (Amorphous Thin film panels). Amorfse kilega paneele toodetakse kristallilistest paneelidest erinevalt. Neid saab kanda õhukeste kihtidena erinevatele materjalidele, samuti on võimalik teha painduvaid päikesepaneele. Kilepaneelide suureks puuduseks on nende kõige väiksem kasutegur hetkel saadaval olevate päikesepaneelide hulgas [21].

3.4 Päikesepaneelide paigaldamine ja suunamine

Arvutused annavad katusel paneelide optimaalseks kaldenurgaks lõuna suunal 40°. Tegelikult pole märkimisväärset vahet aastases toodangus kui paneelide kaldenurk jääb vahemikku 30°...45° [17].

3.4.1 Statsionaarne paigaldamine katusele

Eestis on kõige optimaalsem päikesepaneelid paigaldada lõuna suunas ja 40° maapinna suhtes. Selline asetus on parim, kui on soov saada aastaringselt maksimaalne energiakogus, näiteks elektri müümisel üldvõrku [22].

Võrreldes lõuna suunas paigaldatud paneelidega väheneb päikesepaneelide tootlikkus aastas kagu või edela suunal ca 5% ja ida või lääne suunal ca 20%. Võrreldes 40° maapinna suhtes paigaldatud paneelidega väheneb päikesepaneelide tootlikkus aastas katuse kaldega 30° või 50° ca 1% ja kaldega 20° ca 4% [22].

Mida suurem on paneelide nurk seda paremini tuleb sealt lumi maha. Samas kui teoreetiliselt kataks lumi paneelid alates detsember kuni veebruari lõpp, siis väheneks aastane tootlikkus vaid 8% [22].

Mida kõrgemale katuse pinnast või kaugemale seinast PV paneelid paigalda, seda rohkem energiat need toodavad, sest nõnda on paneelidel parem jahutus. Mõne paneeliga süsteemi saab paigaldada ka ilma alusraamita otse katusele või seinale (üldjuhul Off-grid lahendused). Suuremate süsteemide installeerimisel kasutatakse spetsiaalset alumiiniumprofiilist alusraamistikku, mille peale päikesepaneelid omakorda kinnitatakse [22].

3.4.2 Paigaldamine vertikaalselt

Novembrist veebruarini on vertikaalselt (90°) paigaldatud päikesepaneelide tootlikkus ca 7% suurem kui 40 kraadise nurga all ja sellise paigutuse juures ei saja ka lumi paneelidele. Aastaringselt 90° maapinna suhtes (seinale kinnitatud) paneelidel on tootlikkus 26% väiksem kui 40° nurga all paneelidel [22].

Autonoomsete süsteemide puhul kus päikesepaneelide võimsus on optimeeritud andmaks vajaliku energia ka talvekuudel on soovitatav paneelid paigaldada 90° nurga all näiteks hoone seinale [22].

3.4.3 Paigaldamine maapinnale

Kui katus ei võimalda päikesepaneelide paigaldamist kagu - edel suunal, katuse nurk on ebasobiv või pole katusel piisavalt ruumi, siis hea alternatiivina on võimalik päikesepaneelid paigaldada maapinnale. Kuna maapinnale paigaldatud paneelidel on tagatud ka hea jahutus, siis tõstab see aastast tootlikkust 5% [22].

3.4.4 Järgivajam (*tracking system*)

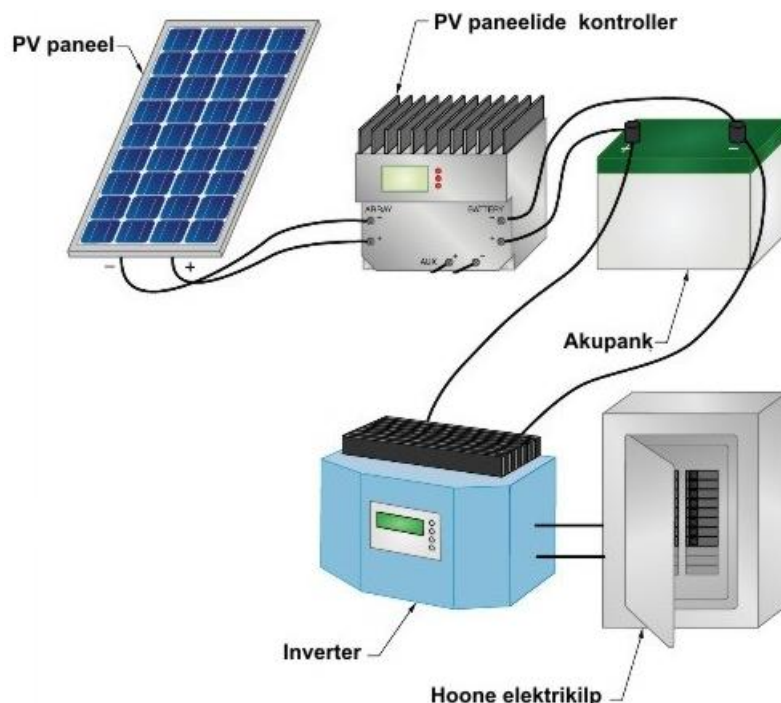
Eestis on hajutatud kiirguse osakaal üsna suur ja seega päikest järgiva automaatika tasuvus küsitav. Järgivajam tõstab küll omajagu tootlikkust, aga seadmete hind suhtes päikesepaneelide tänase maksumusega on kahandanud nende kasutamist viimasel ajal oluliselt. Odavam on lisada juurde mõned paneelid, et katta ära lisaenergia kogus mida järgivajami kasutamine juurde annaks [22].

Väikese Off-grid lahenduste puhul võib näiteks ise valmistada käsitsi pööratava raami. Mõned korrad päevas paneelide keeramine päikesele kaasa tõstab tootlikkust märgatavalt [22].

3.5 On-grid ja Off-grid süsteemid

PV-paneelide toodetud elektrienergiat saab kasutada kas elektrivõrku ühendamata või võrku ühendatuna [23].

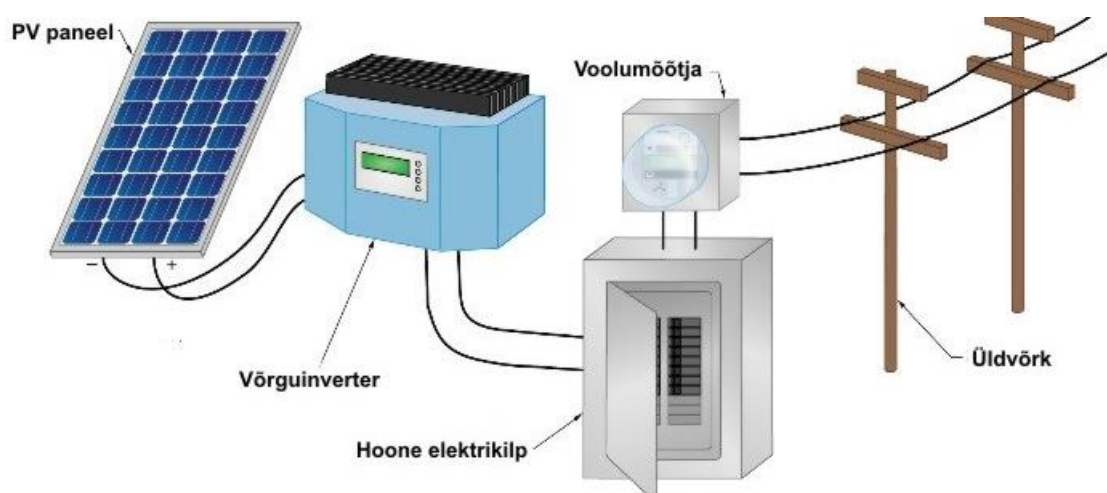
Võrguühenduseta ehk off-grid(joonis 3.3) süsteem koosneb PV-paneelidest, laadimiskontrollerist, akudest ja inverterist. Paneelide toodetud alalispinget saab kas otse tarbida või akusse laadida ning sealt hiljem inverteriga sobival ajal vahelduvpingeks muundada. Sellist süsteemi võib kasutada kohtades, kuhu elektrivõrk ei ulatu, või kui soovitakse olla elektrimüüjast sõltumatu [23].



Joonis 3.3 Autonoomne elektrisüsteem (Off-grid) [24]

Elektrivõrku ühendatud ehk on-grid(joonis 3.4) süsteem koosneb PV-paneelidest ja võrguinverterist. Paneelidega toodetud alalispinge muundatakse võrguinverteri abil vahelduvpingeks, mida tarbija saab kasutada oma elektrisüsteemis. Inverter on ühendatud elektrisüsteemi. Tänu mikrotootja võrguga liitumise lihtsusele on võimalik tarbimisest üle jääv elektrienergia maha müüa [23].

On-grid süsteemi eeliseks on ühendatus üldisesse vooluvõrku mis tagab elektrienergia olemasolu ka siis kui paneelid elektrit ei tooda. Samuti on antud süsteemi juures plussiks, et ei pea omama hooldust vajavat ja aegajalt väljavahetatavat akuparki. Kuna akude tootmine on kallis ja keskkonda reostav siis on-grid süsteemi kasutamine on ka odavam ning keskkonnasõbralikum [25].



Joonis 3.4 Üldvõrguga seotud elektrisüsteem (On-grid) [24]

4. Tuulegeneraatorid

Tuuleenergia potentsiaalis Eestis on juba mainitud peatükis 2. Tabelis 4.1 on toodud keskmised tuulekiirused kuude kaupa.

Tabel 4.1 Keskmise tuulekiirus Eestis m/s 10 meetri kõrgusel [26]

m/s	J	V	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Aasta
Ristna	5,1	4,4	4,2	3,8	3,5	3,6	3,8	4,1	4,8	5,3	5,4	5,3	4,4
Vilsandi	7,5	6,6	6,5	6,2	5,5	5,5	5,5	5,8	6,9	7,4	7,9	7,8	6,6
Kihnu	7,0	6,0	5,4	5,0	4,8	4,9	5,1	5,6	6,6	7,5	7,8	7,6	6,1
Tallinn	4,8	4,5	4,5	4,4	4,2	4,0	3,7	3,8	4,2	4,7	4,7	4,9	4,4
Valga	3,1	3,0	3,1	2,9	2,7	2,5	2,2	2,2	2,5	2,9	3,1	3,1	2,8
Pakri	6,1	5,2	5,1	4,7	4,3	4,3	4,1	4,5	5,2	5,8	6,2	6,3	5,2
Kuusiku	3,4	3,3	3,3	3,4	3,2	3,0	2,6	2,6	2,8	3,2	3,3	3,4	3,1

Tabelist 4.1 on näha, et keskmised tuulekiirused on suurem saartel ja mandril rannikul. Veel võib öelda, et tuulekiirus on suurem talve kuudel ja vähem suvi kuudel. Tabelist ka võib välja lugeda, et kuude keskmised tuulekiirused ei ole alla 3 m/s. Kõige tuulisemad kuud Eestis tabeli järgi on november ja detsember ning kõige tulevaesem kuu on juuli.

Off-grid süsteemis on mini- väiketuuliku kasutamine ratsionaalne kui aasta keskmine tuule kiirus on paigalduskohas vähemalt 3,5 m/s. On-grid ehk üldvõrguga seotud lahenduse puhul on väikese tuulegeneraatori kasutamine majanduslikus mõttes aga üsna küsitav, sest aasta keskmine tuule kiirus peaks olema paigalduskohas 4,5 m/s või suurem. Sellise tuule kiirusega kohti on Eestis eramajapidamiste lähedal aga üliharva. Üldjuhul on sellised kohad vaid rannikuäärsed tuulele avatud alad [27].

4.1 Tuulegeneraatorite klassid

Laias ulatuses saab tuulegeneraatorid jagada väikesteks (kuni 25kW) ja suurteks (25kW - 3MW). Kuna Eestis on tuulegeneraatorid vahemikus 5-25 kW veel vähelevinud, siis väikestest generaatoritest rääkides mõeldakse pigem kuni 5kW tuulikuid [28].

4.1.1 Mikrotuulegeneraatorid

Mikrotuulegeneraatoreid kasutatakse akude laadimiseks näiteks purjejahtidel, valve- ja andmesidesüsteemides, paarisajavatise päikesepaneelide komplektiga koostöös jne. Üldvõrguga ühendamise pole nende generaatorite puhul rentaabel [28].

Mikrotuulegeneraatori tiiviku läbimõõt jääb vahemikku 0,5 – 1,25 m, tiiviku pindala 0,2 – 1,2 m² ja nominaalvõimsus 0,04 – 0,25 kW [28].

Näiteks 0,2 kW generaatori aastane tootlikkus keskmise tuule kiiruse 5,5 m/s puhul on 400 kWh aastas. Paigaldus maja katusele või mast alates 4 m [28].

4.1.2 Minituulegeneraatorid

Minituulegeneraatorid toodavad 2 kuni 10 korda enam energiat kui mikrogenaatorid ja aastane tootlikkus keskmise tuule kiirusega 5,5 m/s jääb vahemikku 800 kuni 4000 kWh.

Tiiviku läbimõõt on 1,25 – 3 m, tiiviku pindala 1,2 – 7,1 m² ja nominaalvõimsus 0,25 – 1,4 kW [28].

Minituulegeneraatorid sobivad ideaalselt akudega võrgust lahti ühendatud süsteemidega, kus siis lisaks päikesepaneelid või diisलगeneraator. Minituulegeneraatoreid võib ühendada ka üldvõrguga läbi võrgu inverteri [28].

Paigaldatakse tavaliselt vantidega mastile alates 6 m. Võib kinnitada ka katusele, aga see ei ole hea lahendus, kuna katuse kohal on tugev tuule turbulentsi ala ja see vähendab generaatori efektiivsust [28].

Minituulegeneraatorid on Eestis eratarbijate kasutuses kõige populaarsem generaatorite klass [28].

4.1.3 Pereelamu tuulegeneraatorid

Nende generaatorite nominaalvõimsus jääb vahemikku 1,4 – 16 kW, tiivik on läbimõõduga 3 kuni 10m ja tiiviku pindala vastavalt 10,2 – 40,7 m² [28].

Sobivad akudega süsteemi, vee kütmiseks ja üldvõrku ühendamiseks [28].

Generaatori masti kõrgus alates 9 m [28].

4.1.4 Väikesed kommertskasutusse mõeldud tuulegeneraatorid

Tiiviku läbimõõt 10 - 20 m, tiiviku pindala 79 - 314 m² ja võimsus vahemikus 25 – 100 kW [28].

Neid tuulegeneraatoreid kasutatakse peamiselt asutuste juures (n. koolimajad) ja põllumajanduses lisaelektri tootmiseks, samuti väiksema äritegevuse tarvis nagu näiteks Ruhnu saare tuulikud [28].

4.1.5 Keskmised kommerts tuulegeneraatorid

Keskmiste kommerts tuulegeneraatorite tiiviku läbimõõt on vahemikus 20 - 50 m, tiiviku pindala 314 - 1963 m² ja võimsus 100 – 1000 kW [28].

Kasutatakse peamiselt tööstusettevõtetes ja põllumajanduses lisaelektri tootmiseks ja väikeste tuuleparkide loomisel. Näiteks Eesti Energia Virtsu tuulepark [28].





4.1.6 Suured kommerts tuulegeneraatorid

Tiiviku läbimõõt vahemikus 50 - 100 m, tiiviku pindala 1963 - 7854 m² ja võimsus 1 – 3 MW [28].

Suured tuulegeneraatorid on kõige efektiivsemad ja suudavad püüda enim energiat tuulest. Suured tuulegeneraatorid jahvatavad elektrit enamuses Eesti tuuleparkides nagu näiteks Pakri poolsaarel [28].

4.2 Tuulegeneraatorite põhitüübid

Laias laastus saab tuulikud jagada kahte kategooriasse: horisontaalse ja vertikaalse teljega tuulikud. Samas leidub ka erilahendusega tuulikutüüpe, mida ei saa otseselt kumbagi kategooriasse liigitada [17].

Horisontaalteljega	Vertikaalteljega (H-rootor)	Vertikaalteljega (Savonius)	Vertikaalteljega (Darrieus)
			

Joonis 4.2 Tuulikute põhitüübid [17]

Eri kujuga tuulikute eelised ja puudused(joonis 4.2):

1. Kõige tõhusamad on horisontaalse rootoriga seadmed. Puuduseks on suurem müratase kui Savonius tüüpi tuulikutel [17].

2. Vertikaalne Darrieus-rootori kasutegur on 75% horisontaalse rootoriga turbiinide omast. Puuduseks on suurus. Mida suurem võimsus, seda kohmakamaks kogu tuulik muutub. Lisaks see ka vajab suuremaid tuulekiirusi kui Savonius tüüpi ja horisontaalteljega tuulikud [17].
3. Vertikaalse H-rootoriga turbiinid on parameetritelt ja omadustelt sarnased Darrieus-rootoriga seadmetele [17].
4. Vertikaalse Savonius-rootori eeliseks on töö väiksematel tuulekiirustel. Puuduseks madal kasutegur – 25% horisontaalse teljega tuuliku kasutegurist. Kasutatakse väiksevõimsusega turbiinides. Eelisteks on väga madal müratase [17].

4.2.1 Horisontaalse teljega tuulegeneraatorid (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT)

Propellertüüpi rootor on paigaldatud horisontaalsele teljele. Tavaliselt pööratakse tuulik tuulde, kas tuuliku päras asuva tuulesuunda järgiva kiilutaolise sabaga (passiivne pööramine) või pööramismehhanismiga (aktiivne pööramine). Pööramismehhanismina kasutatakse mootorit, mida omakorda juhib tuulesuunda järgiv mehhanism. Horisontaalse teljega tuulikud on äärmiselt tundlikud muutuvatele tuule suundadele ning turbulentsile, mis mõjutavad oluliselt nende talitlust, kuna tuulikut tuleb kogu aeg pöörata tuulde. Kõige parem on sellist tüüpi tuulikud paigaldada lagedatele aladele, kus on ühtlane tuulekiirus ning võimalikult vähe maastikulisi takistusi [17].

4.2.2 Vertikaalse teljega tuulegeneraatorid (VAWT)

Ajaloolistel põhjustel on neid tuulikuid jagatud Savoniuse ja Darrieuse tüüpi tuulikuteks, sõltuvalt meetodist, mida kasutatakse tuule püüdmiseks [17].

Savoniuse tüüpi tuulikud töötavad kasutades ära õhutakistust: tuuliku anumatuüpi labad püüavad tuult selliselt, et see surub tuuliku laba pöörlema. Savoniuse tuulikutel on üldjuhul kaks kuni kolm laba. Disaini eripäradest tulenevalt pöörleb seda tüüpi tuulik suhteliselt aeglaselt, kuid on võimeline arendama suurt momenti. Kuna Savoniuse tuulik kasutab oma töö põhimõttes õhutakistust, siis ei suuda seda tüüpi tuuliku labad saavutada kunagi tuulekiirusest suuremat pöörlemiskiirust, mis muudab nad ka suhteliselt ebaefektiivseks. Savoniuse tuulikute kasuks räägib nende suhteline vaikne töötamine, lihtne ehitus ja väikesed mõõtmed [17].

Darrieuse tüüpi tuulikud põhinevad aerodünaamilise kandepinnaga labadel (airfoil) ning kasutavad pöörlemisel õhutakistuse asemel õhu tõstejõudu. Sarnaselt Savoniuse tüüpi

tuulikutele ei vaja ka Darrieuse tüüpi tuulikud eraldi mahhenismi pööramiseks seda tuulesunda ning samuti on võimalik seda tüüpi tuulikuid paigaldada maismaad ligi, kuna nad on võimelised töötama muutlikes tuuleoludes. Erinevalt Savoniuse tuulikust, on Darrieuse tuulik tulenevalt teisest tööpõhimõttest võimeline pöörlema kiiremini kui tuulekiirus, mistõttu on sellel ka suurem kasutegur kui Savoniuse tüüpi tuulikutel. Darrieuse tüüpi tuulikute kasutegur küündib 75 protsendini horisontaalse teljega tuuliku omast, samal ajal kui Savoniuse tuulikul ainult 25 protsendini. Küll aga ei ole Darrieuse tüüpi tuulikud võimelised ise pöörlema hakkama – nad vajavad täiendavat välist mõjutust nt väike elektrimootor [17].

Kui horisontaalse teljega tuulegeneraatorite paigaldamise, töökindluse, kasuteguri ja muude parameetrite osas tundub olema selgus majas, siis vertikaalse teljega generaatorite ümber keerleb jätkuvalt teravaid diskusioone. Ühed kiidavad taevani ja teised laidavad põrgu põhja ning võta siis kinni kellel õigus on. Siinkohal tuleks ehk appi võtta praktilised kogemused ja VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) kasutajate arvamused [29].

Eestis paigaldatud vertikaalse teljega tuulegeneraatorite osas ei ole teadaolevalt ühtegi hästi toimivat lahendust. Tuuleenergia käsiraamatud kajastavad samuti vaid negatiivseid fakte vertikaalteljelistele elektrituulikute kasuteguri ja töökindluse kohta [29].

Raamatus „Wind Energy Basics“ tõstatab autor Paul Gipe üles küsimuse: *“Miks juba palju aastaid turul olnud tuntud USA ja Euroopa väikeste tuulegeneraatorite tootjad ei paku VAWT tüüpi seadmeid? Kas nad on tõesti nii rumalad, et ei oska toota vertikaalseid tuulegeneraatoreid või ei ole nad teadlikud VAWT seadmete suurest väärtusest!”* [29].

Ei ole leidnud tõestust, et vertikaalteljega tuulegeneraator toodab turbulentses alas(joonis 4.3) (hoonete katused, linna keskkond jne) rohkem energiat kui horisontaalse teljega tuulegeneraator, sest turbulents vähendab oluliselt igat tüüpi generaatorite tootlikkust [29].



Joonis 4.3 Tuule turbulentsi ehk väga väikse tuuleenergiaga ala tekkimine ning ulatus [29]

Seoses tihti kõlava reklaamlausega, et "vertikaalsete tuulegeneraatorite puhul on tegemist innovaatilise tootega", tuleb mainida ära fakti, et Prantsuse leiutaja D. G. M.

Darrieus patenteeris „Φ“ (Fii) tüüpi vertikaalse tuulegeneraatori 1920 aastal ja Savonius leiutas oma mudeli 1922 aastal [29].

4.2.3 Teist tüüpi tuulikud

Energy Ball ja WindWall on uued innovaatilise horisontaalse teljega tuuliku. Energy Ball, mida tuntakse ka nime alla Venturi, on horisontaalse telje ning tuulelipuga (sabaga) tuulik, millel on innovaativne rootori disain: kuus poolringikujulist laba, mis moodustavad sfäärilise struktuuri. WindWall on samuti horisontaalse teljega tuulik, ainult et selle telg on katuse külge fikseeritud selliselt, et see püüab tuult ainult ühest konkreetsest suunast. Seetõttu on sellised tuulikud sobilikud asukohtadesse, kus ühest konkreetsest suunast tuuled on domineeriva iseloomuga [17].

4.3 Esimesed eestimaised tuulikud

Esimesena Eestis hakkas väiketuuliku tootma AS Konesko. AS Konesko toodab ja arendab mikro- ja väiketuuliku aastast 2009 [30]. Koeru tehases valmistavad horisontaalteljega Tuge10 ja Tuge20, nimivõimsusega vastavalt kümme ja kakskümmend kilovatti. Et jõuda ka Saksamaa ja Inglismaa turule, käib Koeru väiketuulikute sertifitseerimine. Tuulikud peavad vastama standarditele [31].

Töökindlate Tugede loomisele kulus kolm ja pool aastat. Koostööd tehti Tallinna Tehnikaülikooliga. Tugesid katsetati seitse kuud Saaremaal tugevas rannikutuules. Konkurentide lüüakse paremate tehniliste näitajate ja kõrgema ohutusega. Tugede teenindamist hõlbustab hüdrauliliselt langetatav mast. Edaspidi on Koneskol kavas ka Tuge50 ja Tuge90 ning vertikaalteljega tuulikud [31].

5. Tuuleenergia seadmete peamised keskkonnamõjud

Tuuleenergia seadmed on tunnustatud kui ühed efektiivsemad ja keskkonnasõbralikud taastuvatel loodusressurssidel põhinevad energia tootmise seadmed. Üksikud tuulikud ja tuulepargid põhjustavad mõõdukalt negatiivseid lokaalse iseloomuga keskkonnamõjusid. Sellest hoolimata on kõikidel tuuleenergia projektide arendajatel kohustus viia tuulikute negatiivsed keskkonnamõjud miinimumini lähtudes keskkonnakaitse aspektidest, tervisekaitse ja ohutuse seisukohast ning säästva arengu põhimõtetest [32].

5.1 Looduskaitsepiirangud

5.1.1 Mõjud linnustikule

Tuulikute mõju lindude rändele on maailmas suhteliselt hästi uuritud valdkond. Näiteks Taani Keskkonnaministeeriumi tellitud uuringu käigus on selgunud, et lindudele on tuulikute ohtlikumad hoopis tuuleparkidesse viivad elektrivarustuse õhuliinid. Üldiselt on uuringute ja linnuvaatluste käigus selgitatud välja, et linnud oskavad vältida tuuleparke ja ei sea oma elu ega tervist ohtu [32].

Lääne-Taanis Tjareborgis asub 2 MW-ne 60 meetrise rootoridiametriga tuulik ning selle juures on toimunud pidevad radarvaatlused. Vaatluste tulemused ütlevad, et linnud mööduvad tuulikust, muutes oma lennutrajektoori nii öösel kui päeval 100-200 meetrit enne ja pärast tuuliku asukohta [32].

Erinevad vaatlused ja uuringud on tõestanud, et ka offshore tuuleparkide mõju veelinnustikule on minimaalne. Tuuleenergia seadmete mõju linnustikule avaldub ornitoloogide arvamusel üldistatult järgmises [32]:

Haudelinnustik:

- asustustihedus väheneb, mõju ulatus on 0-200 meetrit lähimast tuulikust. Mõju suurus
- ja ulatus on koha- ja liigispetsiifiline;
- lindude sigimisedukus võib väheneda;
- linnud võivad hukkuda rootori, masti või õhuliiniga kokkupõrkes või muul tuuliku poolt põhjustatud viisil [32].

Mittepesitsusaegne linnustik, sh ränne:

- tuuleturbiinide mõjualasse jäävate toitumis- või puhkealade kasutamine lindude poolt võib väheneda kuni 95%, mõju ulatus on kuni 500 m. Mõju suurus ja ulatus on koha-, aja-, ilmastiku- ning liigispetsiifiline;
- linnud võivad hukkuda rootori, masti või õhuliiniga kokkupõrkes või muul tuuliku poolt põhjustatud viisil [32].

Seniste uurimuste tulemustena tehtud üldisemad järeldused lindude ja tuuleparkide seoste kohta on järgmised:

- Mõju linnustikule on koha- ja liigirühma (või liigi-) spetsiifiline, mistõttu olulisim on hoolikas asukohavalik varases tuuleparkide planeerimise staadiumis. Linnukaitseliselt olulistel aladel saab tuuleparke rajada juhul, kui detailsed ornitoloogilised uuringud on näidanud, et eeldatav mõju on ebaoluline.
- Uuringutega tuleb selgitada lindude arvukust, liigilist koosseisu ja käitumist, samuti rändeintensiivsuse ja -kõrguse sõltuvust ilmastikuoludest, kellaajast jms.
- Peale projekti käivitamist on esmase tähtsusega mõju seire, et vajadusel võtta kasutusele täiendavaid leevendavaid abinõusid või projekti järgmistest etappidest loobuda.
- Üldjuhul peetakse Euroopas looduskaitse seisukohalt lindude hukkumisest olulisemaks tuuleparkide rajamisega kaasnevat lindudele sobivate elupaikade pindala vähenemist ja lindude häirimist.
- Mõju linnustikule on kumuleeruv ja kasvab eeldatavalt lineaarselt tuulikute ja tuuleparkide arvu kasvuga [32].

Monoliitmastid on linnustiku kaitse seisukohast vähem ohtlikumad kui varem levinud sõrestikmastid [32].

5.1.2 Mõjud taimestikule

Tuulikute rajamise spetsiifiline probleem on seotud nende asukohaga, mis juhuti võib kattuda ka keskkonnakaitseliselt väärtuslike aladega. Sellistel puhkudel tuleb enne rajatiste, nagu tuulikud, muud hooned ja teed, rajamist viia läbi täiendavad botaanilised uuringud, et kindlaks määrata kaitsealuste taimede esinemine ja täpsustada nende asukohad ning levik. Kaitsealadele, mis on vastavalt Kaitstavate loodusobjektide seadusele rahvuspark, looduskaitseala, maastikukaitseala (looduspark) ja programmiala, tuulikuid siiski üldse kavandada ei tasuks [32].

Tuulikute poolt põhjustatavaid kaudseid keskkonnamuutusi taimestiku ja muu ökosüsteemi osas on suhteliselt raske hinnata. Otsese mõjude prognoosimine on selgepiirilisem ja ei sõltu niivõrd ekspertarvamuse andjatest. Otsene mõju avaldub elustiku otseses hävimises, nagu taimkatte või linnustiku hävimine, lindude või loomade elupaikade hävimises. Vastavate vaatluste ja uuringute tulemusena on selliste mõjude esinemise tõenäosus prognoositav ja tuuleparkide arendajad saavad planeerimisprotsessi käigus negatiivsete mõjude vähendamiseks vastavad abinõud ette näha [32].

5.2 Visuaalne mõju

Tuulegeneraatorite rajamisega kaasneb eelkõige Eestimaa tavapärase maastikupildile harjumatu visuaalne mõju kõrgete mastidega tuulegeneraatorite näol. Visuaalne mõju on eelkõige seotud maastiku esteetilise väärtuse kaitsmisega. Tähtis on, et tuulik ei paistaks häirivalt silma. Silmapaistvus sõltub tuulikute värvist, arvust, mastide kõrgusest ja konstruktsioonist. Tuulised rannikualad on avatud merele ja tuulikud ei tohi piirata navigatsioonimärkide ja tuletornide nähtavust. Inimeste hinnangud tuulikute maastikureostuse suhtes on individuaalset laadi, nende hindamiseks kasutatakse avaliku arvamuse analüüsi. Üldiselt on levinud positiivne suhtumine tuuleenergia tootmisse, kuid ollakse vastu tuuleturbiini püstitamisele oma elukoha lähinaabrusesse [33].

5.3 Varjud ja peegeldused

Tuulikud kui kõrgkonstruktsioonid põhjustavad päikesepaistelise ilmaga paratamatult varjusid. Tuntakse kahte tüüpi tuulikute ja päikepaiste koosmõjul tekkivaid keskkonnamõjureid:

- Liikuvad varjud;
- Perioodilised peegeldused [32].

Selliseid eeldatavaid mõjureid on tuuleparkide naabruses võimalik ennetada. Samas on teatud päikesesendi puhul ulatuslike varjude teke vältimatu. On teada, et päikese diameeter on 1390000 km ja vahemaa päikeseni on 150000000 km. Päikesekiirte madalaim langusnurk on vahemikus 0,5...0,55 kraadi. Seega on teoreetiliselt 45 m-se rootori diameetriga tuuliku varjude ulatus kuni 4,8 km. Tegelikuses ei saavuta varjud seoses atmosfääri optiliste takistustega kunagi sellist ulatust. Tänapäeval võetakse arvutustes varjude maksimaalseks ulatuseks tuulikust 2 km kaugeima vaatluspunktini [32].

5.3.1 Peegeldused – nn diskoefekt

Diskoefektiks nimetatakse olukorda, millal päike peegeldub hetketi tuuliku labadelt ja põhjustab teatud vaatluspunktis ebameeldivat helkimist. Kuna tegemist on juhuga, mida põhjustab tuuliku labade pinna peegeldus, kasutavad tuulikute ehitajad selle vähendamiseks matte pinnatöötlusmeetodeid. Seega on kaasaegsete tuulikute puhul diskoefekt suuresti välditav [32].

5.3.2 Liikuvad varjud - tuuliku konstruktsiooniosade poolt põhjustatavad varjud

Tuulikute liikuvaid varje vaatluspunktis põhjustavad tuuliku pöörlevad labad siis, kui tuulik lõikab päikese ja vaatluspunkti vahelist telge. Segavaks kujuneb tuulikute naabruse elanikele asjaolu, et tuuliku liikuvate labade töötamisest tekkivad varjud on liikuvad ja ebameeldiva vilkuva efektiga [32].

Üldiselt ei ole varjude ulatus seadusandlikult reguleeritud. Arvestuslikult on halvimal juhul varjude mõju naabruses asuvale elamule maksimaalselt kuni 30 tundi aastas arvestades tuulikute hinnangulist tööperioodi ja inimeste aktiivset päevast tegutsemisaega. Sealjuures on aluseks võetud halvimal võimalikul päikese asendid, tuule suund ja rootori labade pöörlemise kiirus. Pidevate vaatluste tulemusena ei ole tuuleparkide puhul täheldatud suuremat kui 20%-list teoreetilise maksimumtaseme (30 tundi aastas) ületamist [32].

5.4 Müra

Elektrituulikutega kaasnevat müra peetakse sageli üheks olulisimaks tuulikuparkide rajamisega kaasnevaks negatiivseks asjaoluks. Siiski on tuulikuparkidest lähtuv müra heade planeeringuliste ja tehniliste lahenduste korral tänaseks päevaks märgatavalt vähem probleemne teema kui näiteks 15-20 aastat tagasi. Seda peamiselt kahel põhjusel: esiteks on kaasaegsed elektrituulikud tehniliselt oluliselt täiustatumad võrreldes paarikümne aasta taguse toodanguga. Tuulikute võimsuse ja gabariitide suurenemisega on kaasnenud tuuliku rootori labade pöörlemiskiiruse kui ühe peamise müratekitaja aeglustumine ning täiustatud on aerodünaamilisi lahendusi, mis on oluliselt vähendanud rootori labade tuulde lõikamisest tingitud müra (vaatamata laba tipukiiruse suurenemisele). Seeläbi on tekitatav müra võimsusühiku kohta oluliselt vähenenud. Teine põhjus, miks müratemaatika ei ole hästi planeeritud/ehitatud tuulikuparkide puhul tänapäeval probleemne teema, on inimeste teadlikkuse kasv tuulikuparkidega kaasnevatest mõjudest, mis üldjuhul kummutab müüte tuulikute kui olulistest müratekitajatest. Müütide lõhkumisele on kaasa aidanud ka juba olemasolevad tuulikupargid, kus iga huviline saab oma silma (kõrvaga) ise kujundada enda

arvamuse. Loomulikult esineb tuulikuparkide rajamise ajaloos ja praktikas ka mõningaid eksimusi sisaldavaid tuulikuparkide planeeringuid, millele toetudes on võimalik süvendada tuulikuparkide negatiivset mainet [32].

Sealjuures on oluline märkida, et müra puhul tuleks vahet teha norme ületaval müratasemel ja häiringut/ebameeldivust tekitaval müratasemel. Normid on sätestatud selliselt, et oleks tagatud inimese tervist mitte rikkuv müratase, aga see ei tähenda, et müraallikat ei ole kuulda. Häiringu puhul inimene kuuleb müraallikat ning see ei pruugi talle meeldida, kuid tegemist ei ole tervist kahjustava olukorraga. Sama lähenemine on laialt levinud ja maailma (sh Eesti) tervisekaitsega tegelevate organisatsioonide poolt heakskiidu saanuna kasutatav ka teiste müraallikate puhul (liiklusmüra, tööstusmüra), kusjuures liiklusmüra puhul on nii päeval kui öösel üldjuhul lubatud näiteks 5-10 dB kõrgemad müratasemed kui tööstuse (sh tuulikute) puhul [32].

Vaatamata kaasaegsete tuulikute suhteliselt vaiksedale töörežiimile tuleb siiski tuulikud paigutada elamutes mõnevõrra eemale (üldjuhul piisab üksikute tuulikute korral 250-300 meetrist, tuulikute gruppide korral on puhverala laiem) tagamaks arendusprojektidele kehtestatud keskkonnanõuete täitmine [32].

Rahvusvahelise tava kohaselt loetakse kõrge mürafooniga piirkonnaks ala, kus heli ületab päeval ajal 55 dB(A). Eestis reguleerib lubatud müra sotsiaalministri määrus nr 42 (04.03.2002.a.) "Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid". Määrus kehtestab müra normtasemed elu- ja puhkealadel, hoonetes ning mürataseme mõõtmise meetodid [32].

5.5 Elektromagnetväljakiirguse mõju

Erinevate side- ja muude tehnoloogiliste rajatiste puhul kasutatakse olulisel määral raadio- ja mikrolaineid. Tuuleturbiinide tiivikud ning turbiin võivad samuti erandkorras põhjustada elektromagnetlainete hajumist ning peegeldumist. Kommunikatsiooni-vahendid, mida tuulikud mõjutavad, võivad kuuluda nii televisiooni- kui raadiosaatjatele, mobiilside- ja erinevat tüüpi navigatsiooniseadmetele. Ebasoovitavate elektromagnetiliste mõjude ennetamiseks tuleb tuulikute planeerimise ja võimaliku keskkonnamõju hindamise käigus varakult konsulteerida vastavate tsiviil- ja militaarametkondadega [33].

5.6 Avamere tuuleparkid

Esimene avamere tuulepark maailmas alustas tööd 1991. aastal Taanis. Seal asuvad ka kaks praegusaja maailma suurimat ja võimsaimat avamere tuuleparki. Nystedi pargi 72 tuulikut, koguvõimsusega 166 MW, suudavad rahuldada 150 000 kodu elektrivajaduse. See ei jää palju alla näiteks Iru elektrijaamale, mille võimsus on 190 MW. Nystedi taoline tuulepark suudab aastas toota kuni 600 GWh elektrit. Võrdluseks: Eesti Energia tootis 2007/2008. majandusaastal taastuvenergiat ainult 10,9 GWh. Peale Taani toodavad ja planeerivad praegu enim avamere tuuleenergiat Suurbritannia, Holland, Rootsi ja Saksamaa [34].

Eesti avamere tuulevaru on hinnanguliselt üle 30 000 GWh aastas, peale selle on veel madal ja tuuline Peipsi järv. Niisiis võiks avamere tuuleenergia Eesti aastase energiakulu täielikult katta ning jääks ülegi. Tõsi, tegelikult seda kindlasti ei juhtu, kas või looduskaitse põhjustel [34].

5.6.1 Mõju loodusele

Praegusajal lihtsalt pole võimalik ei taastumatut ega ka taastuvat energiat toota nii, et ükski looduskaitsehuviline häält ei tõstaks. Kuid energiat on vaja ja praegu nähakse maailmas tulevikku eelkõige taastuvenergiat. Niisiis jääb paratamatult keegi mingil määral kaotajaks. Tuleb aga kindlustada, et kaotus oleks nii väike kui võimalik [34].

Paljud Euroopa tuuleparkide ehitusele eelnenud uuringud ning nende töö ajal tehtud seired lubavad oletada, et tuuleparkide suurim negatiivne mõju on seotud merelindudega, eeskätt merel toituvate sukelpartidega. Nende lindude tavapärased ja energeetiliselt soodsaimad toitumisalad on just tuuleparkidele sobivad madalikud. Suured turbiinid peletavad aga linde eemale. Üksik park iseenesest ei ole küll katastroof, ent palju tuuleparke üheskoos võivad põhjustada väga tõsiseid tagajärgi [34].

5.6.2 Mõju kalastikule

Tänapäeva teadmiste järgi on avamere tuuleparkide kõige olulisem mõju kalastikule müra. Teisele kohale võiks asetada elektromagnetväljad. Mõlemat mõju on paraku väga keerukas selgitada, vaja on käitumiskatseid. Praegu pole isegi veel täpselt selge, millised on mõnede kalaliikide kuulmismehhanismid – rääkimata siis sellest, kas ja kuidas müra nende käitumist mõjutab ja elutegevust häirib [34].

Võrdluseks võiks tuua tõsiasja, et enamik linde ja imetajaid elab tänapäeval Eestis tunduvalt suurema müra (näiteks maanteemüra) oludes kui sadakond aastat tagasi. Samas, ma pole kohanud teadustöid, mis selgelt näitaksid mõõduka müra kahjulikkust [34].

5.6.3 Ehitusmüra

Teoreetiliselt on välja arvatud, et näiteks heeringas võib tuulepargi ehituse müra kuulda isegi kuni 80 km kaugusele. Heeringas on räime lähedane sugulane ja nad on parima kuulmisega liike kalade hulgas. Looduslikes oludes pole paraku ühegi liigi puhul mõõdetud, kas kalad kuulevad nii kaugelt, kui arvutused näitavad, pole isegi teada kas seda on üldse võimalik adekvaatselt teha [34].

Ühe uuringu järgi eemaldusid lõhed ehitusalast kuni 1,4 km, soomuslestad 1,6 km ja tursad 5,5 km kaugusele [34].

Tuulepargi ehituse puurimistööd tekitavad lähikonnas niivõrd tugeva helirõhu, mis võib kalu lausa füüsiliselt kahjustada. Kirjanduses leidub andmeid sisemiste vigastuste ning ka surmaga lõppenud katsete kohta. Ent mõned autorid on jõudnud järeldusele, et puurimise müra ei mõjuta kalu üldse. Enam-vähem kindlalt võib väita, et kui kehavigastusi üldse tekib, siis ainult puurimisala vahetus läheduses [34].

Müra mõju leevendamiseks leidub ennetavaid abinõusid, ent loomulikult nõuavad need lisakulutusi. Kuna nii mõndki avamere tuuleparki, näiteks Neugrundi, kavandatakse Eestis kõva merepõhja alal, siis tuleks puurimisel tekkivat müra siiski leevendada. Näiteks võib puurimiseks kasutatava vaia mähkida heli summutava materjali sisse või ümbritseda seadme õhumullikestest kardinaga. Samuti on võimalik rakendada vähem müra tekitavat puurimistehnikat [34].

5.6.4 Kaabli magnetväli

Avamere tuulepargist maismaale tuuakse elekter mööda mere põhjas asetsevaid kaableid, ka omavahel on tuulikud ühendatud kaablitega. Kaablid tekitavad vees elektromagnetvälju. Mitu liiki kalu kasutavad orienteerudes Maa magnetvälja abi, paljud on selle suhtes muudmoodi tundlikud. Seega võivad elektrikaablite tekitatud nn. lisamagnetväljad häirida kalade loomulikku käitumist [34].

Sääraste mõjudega peaksid nii tuuleparkide tellijad kui ka ehitajad juba praegu tõsiselt arvestama, aga eelkõige on järelevalve muidugi keskkonnaametnike ülesanne. Just avamere

tuuleparkide kumulatiivne toime võib tulevikus osutada kalade rännete ja liigilise mitmekesisuse oluliseks takistuseks [34].

Ka kaablite probleemi on võimalik leevendada: näiteks mattes neid merepõhja või kasutades magnetvälja summutavaid kaableid. Esimene variant on arvatavasti odavam, ent Eestis ei saa seda kõikjal rakendada: merepõhi on kohati kõva ning süvendamine võib seetõttu keskkonda liialt kahjustada. Teiselt poolt, matmata kaableid võib karmimatel talvedel madalas vees kahjustada jää [34].

5.6.5 Tuulikualused ja kalandus

Kindlasti kujuneb tähtsaks küsimus, kas tuulepargi alal lubada kalapüüki või mitte. Kuna tuulikud on kinnitatud põhja ja lõikavad ka läbi veesamba, siis võivad nad toimida tehisriffidena, s.t. aluspõhjane mereelustiku kasvuks, ning nõnda meelitada ligi väikseid põhjakalu. Seda toimet on kinnitanud uuringud praegu tegevates tuuleparkides. Väikesed kalad omakorda meelitavad ligi suuremaid. Nii võib tuulepargi alal suureneda kalasaak püügiühiku kohta [34].

See looks suure ülepüügi-ohu, sest vähemalt esialgu suurenevad kalavarud tuulepargi alal ümbruskonna varude kulul. Nii võib kalapüük varud kergesti ammendada ja pikas plaanis saada saatuslikuks kalandusele endale. Seega tuleb tuulepargi alal kalastust korraldada väga ettevaatlikult [34].

6. Lokaalne energiavarustus ja tsentraalne võrk

Eesti elektrisüsteem on praegu üles ehitatud selliselt, et suured elektrijaamad Narvas on elektritootjad ja elektrivõrk jaotab energiat laiali tarbijatele üle Eesti. Üks pool elektri müügist saadud rahast läheb elektrijaamale ja teine, veidi suurem pool, elektrivõrgule. See on valdavalt ühesuunalise energiavooga tsentraalne elektrivarustus [4].

Kas taastuvenergia puhul on enam mõtet kasutada tsentraalset elektrivarustust? Kui igal majal, vabrikul ja talul on oma kohalik elektrivarustussüsteem, siis pole elektrivõrku ju vajagi [4].

Võrgu kaotamisel on siiski ka negatiivsed küljed. Võrgu puudumisel ei saa kasutada suuri tuulikuid, mis mere äärde rajatuna annavad vähemalt kaks korda odavamalt elektrit kui väiketuulikud sisemaal. Suure arvu võrku ühendatud tarbijate ajaline koormusgraafik on palju ühtlasem kui üksiktarbijal. Ühtlane või aeglaselt muutuv koormus on elektri tootmisel ja ülekandmisel soodsam kui üksiktarbija ebaühtlane ja hüppeline koormus. Ilma võrguta ei saa aga tarbijate koormusi liita. Mitme generaatoriga võrgul on ka varustuskindlus suurem kui ilma võrguta ühest allikast toitel [4].

Seetõttu ei ole võrgu täielik kaotamine mõistlik. Küll aga võimaldab energia hajutatud tootmine vähendada võrgu kaudu antava energia kogust ja ülekandekaugust. Seda võimalust on mõistlik kulutuste vähendamiseks kasutada [4].

Ülemaailmne trend on kujundada olemasolev elektrivõrk ümber nn tarkvõrguks (ingl *smart grid*), mis võimaldab hajutatud tootmisel ka kahesuunalist elektrienergia liikumist ja on ülekandeliini avarii korral võimeline väiksemates piirkondades töötama ka kohaliku võrguna (elektrivõrgu talitus energiasaarena). Praegune tsentraalne võrk seda hästi ei võimalda. Töö kohaliku võrguna on eriti oluline sõjaolukorras, kui kõrgepinge õhuliinide juhtmed võidakse lühistada lennukitelt alla visatavate metall-lintidega. Elektritoite katkemise korral kaob õige ruttu internet, lõpeb veevarustus ja muidugi mõista ei tööta tanklad [4].

6.1 Tsentraalse võrgu üleviimisest taastuvenergiale

Tallinna Tehnikaülikoolis on Eesti energiatehnoloogia programmi raames uuritud taastuvenergial põhinevat elektrivarustust kohtade jaoks, kus seni elektrivõrk puudub. Neis paikades kas juba elatakse või soovitakse sinna elama asuda. Valida on, kas lasta ehitada uus elektriliin ja selle eest maksta või paigaldada kohalik tuulel või päikesel põhinev elektrivarustus. Uuriti, millisel juhul tuleb kilovatt-tunni hind odavam [4].

Selgus, et vastus sõltub oluliselt kahest asjaolust. Esiteks sellest, kui kaugel on uus tarbimiskoht olemasolevast 10-kilovoldisest liinist, ja teiseks sellest, kui suur tuleb tarbimine uue rajatava liini kaudu. Võrgust tarbitav elekter tuleb kohalikust elektrist odavam ainult siis, kui uus liin ei ole eriti pikk ja tarbimine selle uue liini kaudu on suhteliselt suur (alla 3 km liinist tuleb tarbida vähemalt 6000 kWh aastas) [4].

Ülejäänud juhtudel on kohalik elektrivarustus odavam. Kõrge elektrihind uuest liinist tarbimisel tuleneb peamiselt sellest, et uus liin on 10 kV kaabelliin, mille lõpus on alajaam, ning liini ja alajaama ehituskulud (suurusjärgus 50 000 kuni 100 000 eurot) peab tasuma liituja [4].

Uurimusest selgub samuti, et:

- elektriliinid ja alajaamad on väga kulukad rajatised, mis tasuvad end ära ainult pika aja pärast (kaksikümmend kuni kolmkümmend aastat) ja sedagi ainult juhul, kui tarbimine on piisavalt suur. Üks kilomeeter uut liini suvila jaoks ei tasu ennast ära ka saja aastaga [4];
- juhul kui päikesepaneelid on soetatud intressivaba laenuga ja nende elekter läheb ilma muundurita otse vee soojendamiseks, tuleb päikesepaneelidest saadava elektrienergia omahind Eesti oludes praegu umbes 0,09 €/kWh. Selline elekter on aga kõikuva pingega ja enamikule kodutarbijaist ei sobi. Kui paigaldada süsteem, kus on muundurid, pliiakud ja sise põlemismootoriga generaator (kasutusel ainult siis, kui on pikk pime aeg), on saadav elekter võrguelektrist seitse kuni kümme korda kallim. Siit järeldus, et kui roheline elekter viia kasutuskõlblikku konditsiooni, kallineb see väikeste suletud süsteemide puhul umbes kümme korda [4].

7. Taastuenergia augud ja elektrivarustussüsteem

Looduslik taastuenergia on kasutatav kahel kujul:

Kui põletatakse elektrijaama katlas hakkpuitu, siis tegelikult kasutatakse looduslikult salvestatud taastuenergiat. Hakkpuidu varu olemasolul on võimalik oma soojusjaama käivitada igal ajal. See teeb salvestatud energia kasutamise suhteliselt mugavaks [4].

Tuulegeneraator ja päikesepaneelid annavad otseenergiat, aga otseenergiat ei ole võimalik saada igal soovitud ajahetkel. Tuulevaikuses tuulegeneraatorist energiat ei saa. Öösel päikesepaneelidest energiat ei tule. Ent öösel on vaja elektrivalgustust kasutada. Otseenergia kasutamise teeb keerukaks asjaolu, et otseenergial on augud sees. Neid auke on kolme liiki [4].

7.1 Valgusaugud ja tuuleaugud

Valgusauk on siis, kui päikesepaneelidest saadav võimsus on väga väike (augu piiriks võetakse viis protsenti nimivõimsusest). Eesti oludes esineb väikeseid ja suuri valgusauke. Väike valgusauk on igal ööl ligikaudu päikeseloojangust päikesetõusuni. Kõige pikemate ööde ajal, talvise pööripäeva paiku, on päike üleval ainult 26 protsenti ööpäevast. Suvepäev on umbes kolm korda pikem [4].

Oluliselt vähendab päikesekiirgust ka pilvisus. Kui suvel on pilves ja sajab, siis väheneb päikesekiirgus umbes kümme korda. Pilves sügistalvisel päeval võib kiirgus väheneda isegi viiskümmend korda. Pilves ilmad ja lühike päev tekitavad talvise pööripäeva paiku suure valgusaugu, mille kestus on ligi kaks kuud. Sel ajal on päikesepaneelid peaaegu kasutud (väga väike päevane toodang siiski on) [4].

Tuuleauk on siis, kui tuulegeneraator ei tööta või sealt saadav võimsus on väga väike. Üldiselt on see siis, kui tuule kiirus on alla 3 m/s. Tuuleaugud ei ole ette ennustatavad. Küll on aga ennustatav tuuleaukude tõenäoline esinemissagedus ja kestus. Tuuleaukude summaarne ajaline kestmine sõltub tuulegeneraatori asukohast. Rannikul ja merel on tuult rohkem ja tuuleauke vähem [4].

7.2 Täisauk

Täisauk on siis, kui kasutatakse tuult ja päikest koos ning valgusauk ja tuuleauk kokku langevad. Siis ei tööta ei päikesepaneelid ega tuulegeneraatorid. Täisaugu ajal peab kogu tarbimise katma salvestatud energia. Täisauke on vähem kui tuule- või päikeseauke. Üldiselt

on pilves ja sajune ilm tuuline, päikesepaisteline ilm on aga sageli tuulevaikne. Tuult ja päikest koos kasutades saab rohkem otseenergiat ja seetõttu võib energiasalvestit vähendada [4].

7.3 Energiaaukude täitmine

Energiaaukude täitmiseks võib kasutada soojuselektrijaama, kus põletatakse puitu ja teisi biokütuseid, mis kujutavad endast looduslikult salvestatud taastuvenergiat. Võib kasutada ka hüdroakumulatsioonijaama, mis energia ülejäägi ajal pumpab vett alumisest basseinist ülemisse basseini. Energiaaugu ajal aga paneb ülemisest basseinist alla voolav vesi tööle turbiini ja generaatori ning saab kasutada eelnevalt salvestatud energiat. Hüdroakumulatsioonijaam on üks energia tehissalvestitest. Ka akupatarei on energia tehissalvesti [4].

Energiaaukude olemasolu teeb elektrivarustussüsteemi kokkupaneku keerukaks. Vaja on arvestada nii elektritarbimise ebahühtlusega kui ka tuule ja päikese ebahühtlusega [4].

7.4 Elektrivarustussüsteem ja sellega seotud valikud

Elektrivarustussüsteemi rajamisel tuleb teha hulk valikuid. Esiteks tuleb valida, millest m kompenseeritakse energiaauke – kas soojuselektrijaamast, energiasalvestist või mõlemast [4].

Soojuselektrijaama puuduseks on asjaolu, et seda ei ole võimalik kiiresti käivitada, samas võivad täisaugud tekkida vahel ootamatult kiiresti [4].

Kiirelt käivitatav on energiasalvesti. Energiasalvestit iseloomustatakse nn autonoomse ajaga, mille jooksul toimub ainult tarbimine, energiat ei toodeta ega salvestata. Mida pikem on salvesti autonoomne aeg, seda kallim see on. Autonoomse aja määramiseks on vaja teada, kui kaua võib energiatootmine olla peatunud ehk kui pikk võib energiaauk olla. On teada, et lokaalse tuule- ja päikeseenergiaga elektrivarustuse korral (näiteks merepoid) võetakse akusalvesti autonoomseks ajaks kümme ööpäeva. Kogu Eesti energiasüsteemi jaoks oleks kümneööpäevane salvesti väga kallis [4].

Otsustades ainult soojuselektrijaama kasuks, peaks sellele jaamale olema ka piisavalt puitu ja muud biokütust. Energiaaukude täitmiseks kulub 30–40 protsenti süsteemi koguenergiast. Eestis on biokütust hinnanguliselt koguses, millest saab toota 15–20 protsenti vajalikust elektrienergiast. Seega ainult soojusjaama variandile ei jätku puitu ja biokütust [4].

Salvesti ja soojusjaama kombinatsioon võimaldab lühendada salvesti autonoomset aega ja muuta salvesti odavamaks. Kui vähemalt pool energiaaukude täitmiseks vajalikust energiast tuleb salvestist, siis jätkub ka soojusjaamale kütust [4].

Teine võimalus salvesti vähendamiseks on kasutada suuremat hulka tuulikuid ja päikesepaneele, et ka halval ajal saada võimalikult palju otseenergiat. Aga tuulikute ja paneelide arvu suurendamine tõstab samuti süsteemi hinda. Optimaalne lahendus on ilmselt kuskil keskel. Autonoomses taastuvenerial põhineval elektrivarustuses on valik umbes nii, et 40 protsenti tuuliku ja päikesepaneelide potentsiaalsest energiatoodangust jääb kasutamata ja salvesti autonoomne aeg on kolm ööpäeva. Energia jääb kasutamata ajal, mil aku on täis, tarbimist on vähe ja tuulikute ja/või paneelidest tulevat energiast pole kuhugi panna. Suveajal on see sageli nii [4].

7.5 Mille vahel on valida Eestil?

Kui vaatletakse taastuvenerial põhineva elektrivarustussüsteemi kokkupanekut Eesti jaoks, tuleb arvesse neli komponenti. Need on tuul, päike, soojusjaam viiendiku energiatarbe ulatuses ja energiasalvesti. Ükski neist eraldi võetuna ei võimalda luua süsteemi. Kahe komponendi paaridest sobib ainult üks – tuul ja salvesti. Nelja komponendiga süsteem on teostatav. Kui neljast komponendist ühe ära jätame, saame neli kolmekomponendilist süsteemi, mis kõik on põhimõtteliselt teostatavad ja mida võib käsitleda neljakomponendilise süsteemi erijuhuna [4].

Tegelikult on valikuid ainult kaks:

- kas tuul koos salvestiga või
- neljakomponendilise süsteemi variatsioonid [4].

Üldlevinud arvamus väga suurest arvust valikutest ei vasta tõele. Uurida tuleks ainult seda, kuidas neljakomponendilist süsteemi optimeerida ja kas see optimeeritud süsteem on tuulikute ja salvestiga variandist parem või halvem. Optimeerimise lähtekohaks sobivad hästi niisuguse väikesevõimsuselise süsteemi parameetrid, milles on tuulik, päikesepaneelid, akusalvesti ja diiseldiiseliin. Selle lähtekoha puhul tuule, päikese ja salvesti proportsioone väga valesti ei vali ja optimaalsest süsteemist eriti kaugele ei satu [4].

7.6 Energiasalvestita ei saa

Ilma energiasalvestita ei õnnestu taastuvenerial põhinevat elektrivarustussüsteemi luua. Süsteem peab suutma töötada autonoomsena ka energeetiliselt halbadel aegadel, sest neil

aegadel elektriturg sisuliselt ei toimi (müüjad on turult kadunud). Halbadel aegadel on elektrienergia defitsiit üleüldine. Elektrienergia ei ole nii hästi varutav kui muu kaup. Energiavaru on peamiselt ainult hüdrojaamadel, neid on aga suhteliselt vähe. Pealegi piirab sealt energia kätte saamist generaatorite ja liinide võimsus [4].

Suure võimsusega süsteemi jaoks võivad põhimõtteliselt arvesse tulla akumulaatorid, kütuseelemendid, induktiivne ülijuhtsalvesti ja hüdroakumulatsioonijaam. Väikestes taastuvenergia süsteemides kasutatakse energiasalvestina spetsiaalse konstruktsiooniga hermeetilisi seatina-happeakusid. Moodsad liitium-ioonakud on kallimad ja neid kasutatakse elektriautodel, kus on oluline väiksem kaal. Viimasel ajal on arendatud ka mitmeid uusi akutüüpe, mis aga seni ei ole laialt levinud [4].

Akudega on juba aastakümneid konkureerinud kütuseelemendid. Tööpõhimõttelt sarnaneb kütuseelement üldtuntud tsink-süsinik taskulambipatareile. Taskulambipatarei muutub kasutuskõlbmatuks, kui metalliline tsink on elektrokeemilises reaktsioonis ära kulunud. Kütuseelemendis asendab tsinki vesinik (või metaan), mida saab balloonist juurde anda. Vesinik põleb veeauruks, andes seejuures elektrit ja soojust. Ka kütuseelemente on arendatud hulgaliselt, kuid seni kasutatakse neid siiski akudest vähem. Kütuseelemendist saadava energia hind ei erine suurel määral akust saadava energia hinnast [4].

Elektrivarustuses kasutatavate seatinaakude 1 kWh mahtuvuse hind on umbes 400 eurot 15-aastase kasutusea juures. Tallinna lähedale planeeritava 6000 MWh hüdroakumulatsioonisalvesti 1 kWh investeeringuks planeeritakse aga ainult 51 eurot. Akud ja kütuseelemendid ei suuda suurtes elektrivarustussüsteemides konkureerida hüdroakumulatsioonijaamaga [4].

Suurte süsteemide jaoks sobib põhimõtteliselt ka induktiivne ülijuhtsalvesti, mis kujutab endast umbes 300-meetrise läbimõõduga sügavale maapinda paigaldatud toroidset induktiivpooli. Selle pooli mähisetraat on viidud vedela vesinikuga jahutamise teel ülijuhtivasse seisundisse. Ülijuhtivuse tõttu ei tekita elektrivool soojuskadusid ja pooli magnetvälja saab salvestada suuri energiakoguseid (5000 MWh). Probleem on ainult väga kallis jahutussüsteem. Jahutussüsteemi saaks piisavalt odavaks muuta, kui oleks juhtmematerjal, mis läheks ülijuhtivasse seisundisse juba vedela lämmastiku keemistemperatuuril ($-195,8\text{ °C}$). Niisuguste materjalide otsingud käivad juba pikka aega, kuid igati rahuldavaid tulemusi seni kahjuks teada ei ole [4].

7.7 Hüdroakumulatsioonijaam

Hüdroakumulatsioonisalvesti on seni teadaolevatest lahendustest parim. Eestis arendab hüdroakumulatsioonijaama OÜ Energiasalv. Ühe hüdroakumulatsioonijaama asukohaks on planeeritud Muuga sadama piirkond Tallinna lähedal. Muuga jaam on mõeldud nii energiasüsteemi koormusgraafiku ühtlustamiseks kui ka tuuleenergia tasakaalustamiseks. Selle salvesti energiamahuvus (6000 MWh) moodustab täielikult taastuvenergiast põhineva süsteemi jaoks vajaliku salvesti energiamahuvusest umbes viis protsenti [4].

PHAJ roll elektrisüsteemi tasakaalustamisel:

- Sekundaar- ja tertsiaalreguleerimine. Sekundaarreguleerimine toimub ajavahemikus 30 sekundit kuni üks tund sageduse 50 Hz taastamiseks süsteemis tekkinud tootmise ja tarbimise mittevastavuse korral. Tertsiaalreguleerimine toimub ajavahemikus 10 minutit kuni süsteemis tekkinud suurte kõrvalekallete likvideerumiseni [35].
- Elektrisüsteemi taaskäivitamine nullist (*blackstart*) [35].
- Elektrivõrkude arendamiseks vajalike investeeringute edasilükkamine [35].
- Taastuvenergia baasil elektritootmise arengu toetamine [35].

Üleminek keerukamale ja kallimale taastuvenergiapõhisele elektritootmisele on lähitulevikus paratamatu. Kallim tootmine nõuab ka kokkuhoidlikumat tarbimist. Igal riigil ja igal maanurgal on vaja üles ehitada kohalikele loodustingimustele vastav elektrivarustus [4].

8. Piirangud tuuliku püstitamisel

8.1 Tuulikuparkide asukohavalik

Tuulikute püstitamiseks on sobilikud vaid alad, mis on majanduslikult tasuvad (heade tuuletingimustega) ning ei lähe vastuollu looduskaitsealade ja ühiskondlike huvidega [36].

Eesmärgid:

- Leida alad, mis on keskkonna- ja sotsiaalmajanduslike tegurite poolest sobilikud tuuleenergeetika arendamiseks:
 - ✓ Vältida looduskeskkonna häirimist tuulikuparkide rajamisel;
 - ✓ Vältida sotsiaal-majanduslike konflikte tuulikuparkide rajamisel [36].
- Võimaldada infrastruktuuri eelisarendamist tuulikute püstitamiseks sobilikes piirkondades [36];
- Planeeringu kaudu “säilitada” tuule-energeetika arendamiseks sobivad alad tuulikute püstitamiseks [36].

8.2 Hiiumaa piirangud

Hiiumaa linnustiku mitmekesisust iseloomustavad mitmed linnustiku kaitseks loodus alad. Näiteks hõlmab suure osa Hiiumaa rannikualast Väinamere Natura 2000 linnuala. Väinamere linnuala hõlmab ulatuslikku mereala ja ka Hiiumaa ida ja lõunarannikut koos paljude saartega. Natura ala koosseisu kuuluvad saare rannikualad Emmaste vallas asuvast Sõru sadamast mööda saare idakülge kuni peaaegu Kärkla linnani. Lisaks on sarnased, nii merd kui maismaad hõlmavad, Natura linnualad veel saare looderannikul Kõrgessaare-Mudaste ranniku linnuala ja saare lõunaosa rannikul Vanamõisa lahe linnuala. Lisaks on linnukaitsealade tähtsusega mitmed saare looduskaitsealad ja mitmel pool on kaitse alla võetud rangelt kaitstavate lindude püsielupaiku. Hiiumaa tuulikuparkide asukohavalikul on vajalik arvestada nii kohaliku haudelinnustiku kui ka läbirändavate lindudega [37].

Natura 2000 on üle-euroopaline kaitstavate alade võrgustik, mille eesmärk on tagada haruldaste või ohustatud lindude, loomade ja taimede ning nende elupaikade ja kasvukohtade kaitse. Natura 2000 ala ei välista majandustegevust, kuid kõikide selliste projektide korral tuleb läbi viia esmalt keskkonnamõju hindamine. Natura 2000 aladel on võimalik ka teatud tingimustel arendada suuremaid projekte, seda juhul, kui sellele arendusprojektile puuduvad

alternatiivid ja kui selleks on olemas tungivad vajadused. Oluline on neid projekte teostada nii, et loodus võimalikult vähe kahjustada saaks [38].

Natura 2000 alad Hiiumaal on toodud joonisel 8.1



Joonis 8.1 Natura 2000 kaitsealad Hiiumaal [39]

Tuule-elektrijaamade kõrvalnähtuseks on „visuaalne saastamine“ ja madalsageduslik müra. Tänapäevased kogemused näitavad tuulegeneraatorid ei kujuta endast lindudele nii suurt ohtu kui esialgselt arvati. Samuti on palju väiksem vibratsiooni mõju ümbritsevale keskkonnale [40].

Põhjus, miks täna tuulegeneraatoreid Hiiumaal ei ehitata on elektrivõrgus. Hiiumaa kohalik tarbimine on väike ja üle 4MW võimsusega tuuleparki siia rajada ei lubata. Lisaks piiravad ühendusvõimsust kohalik võrk, mis lubab ühes piirkonnas korraga võrku ühendada vaid 3-4 kaasaegset tuulegeneraatorit korraga [40].

Elektrienergia tootmine Hiiumaal on seotud infrastruktuuri ja nõudluse muutmisega. Majanduslikult põhjendatud elektri- ja soojusenergia koostootmine eeldab soojustarbimise kasvu ning seega kaugkütte osakaalu kasvu või suure soojusenergia vajadusega rajamist Kärđlas ja Viskoosas. Tuuleelektrijaamade rajamine Hiiumaa põhjaosas nõuab 110 kV elektriliini ehitamist üle Vormsi Hiiumaale kuni Viskoosani [40].

Täna vajab Hiiumaa tippkoormuse katmiseks umbes 80-100 tuulegeneraatorit, mis tippkoormusevahelisel ajal oleksid suutelised katma ka transpordi vajadused ja osa energiast jääb üle ekspordiks [40].

Hiiumaa elanikud saavad tuuleenergeetikast tulu eelkõige läbi oma energiaettevõtte loomise, mis osaleks suuremates investeerimisprojektides ning ehitaks väiksemaid tuuleelektrijaamu [40].

9. Päikeseenergia kasutamise piirangud Hiiumaal

Päikeseenergia kasutamiseks olmes on räägitud ja kirjutatud 70ndatest aastatest alates. Ometi on päikeseenergia praktiline kasutamine piirdunud üksikute pilootprojektiga ja entusiastide poolt ehitatud päikeseplatadega koduse sooja vee saamiseks. Samuti kasutab märkimisväärne osa eluhooneid endiselt traditsioonilist ahjukütet [40].

Päikesekollektorite sidumine hoone küttesüsteemiga eeldab, et selle võimalusega arvestatakse juba keskküttesüsteemi ehitamise või boileri väljavahetamise käigus. Vee soojendamine päikesekollektori abil toimib sõltumatu ahelana [40].

Ebakindlus päikeseenergia kasutamise suhtes tuleneb Hiiumaa asukohast ja asjaolust, et teave kaasaegsete päikesekütte seadmete ja tehniliste lahenduste kohta pole olnud kättesaadav. Samuti puudub võimalus soetada päikesekollektorite tehnilised näitajad ja efektiivsus märgatavalt paranenud ning hind muutunud märksa soodsamaks [40].

Siiski on päikeseenergia kasutamine täna tasuvuspiiril, lühike kasutusaeg umbes 6 kuud aastas, suhtelised kallid seadmed umbes 300 euro päikesekollektori ruutmeetri kohta, lisaks täiendavad kulutused lisavõimalustega boilerile ja torustikule ning lisanduvad hoolduskulud. Iga majaomanik kaalub enne põhjalikult ka väiksemaid väljaminekuid. Praktiline kogemus päikeseenergia kasutusväärtuse kohta Hiiumaal on seni puudulik [40].

Eelkõige sõltub päikeseenergia laiem kasutuselevõtt elanike majandusliku olukorra paranemisest, pilootprojektide edukusest ja seadmete kättesaadavusest [40].

10. Taastuenergia toetused

Taastuenergia on kiirelt arenenud, kuid vajab tänases faasis siiski riiklikke toetusi. Tehnoloogia arenguga on liigutud küll selles suunas, et nii päikese- kui ka tuuleenergia võivad selle kümnendi lõpuks saavutada sama efektiivsuse nagu traditsioonilised energiaallikad [41].

Riigid on taastuenergiat toetanud just seetõttu, et siis tuleb sektorisse rohkem ka erakapitali investeeringuid ning progress toimub kiiremini. Ilma riiklike toetusteta ei oleks näiteks päikesepaneelide efektiivsus muidu kindlasti nii kõrge, kui see praegu on. Kuid globaalne kriis on pikemaajalise rohelise mõtlemise suhtes toonud tagasilööke. Lühiajaliste raskuste tõttu on unustatud laiem pilt. See on toonud rasked ajad tootjatele: nõudlus on vähenemas ning seetõttu on paljud päikesepaneelide ja tuuleturbiinide tootjad on üle maailma finantsraskustes. Päikesepaneelide tootjate seas näeme lähiaastatel ilmselt ka pankrotte. Kindlasti vähendab see investeeringuid teadustegevusse ning taastuenergia lahenduste arengute tempo alaneb [41].

Euroopa on seadnud eesmärgiks 2020. aastaks taastuenergia osakaalu viia 20%-ni, kuid tagasilöögid võivad selle saavutamise raskeks teha. Paljud tootjad vähendavad praegu tootmisvõimsust, mõned on sunnitud ka ukсед kinni panema. See on investorid väga ettevaatlikuks teinud. Seega, kui Euroopa näiteks aastal 2015 otsustab, et "hakkame nüüd taas roheliselt tegema", siis võib tuba koostööpartneritest üsna tühi olla [41].

Eestis ei ole päikeseenergia kasutamine eriti efektiivne, see sobib Lõuna-Euroopasse, kus päikselisi päevi aastas palju rohkem. Küll aga võib varaks pidada rannikutel puhuvat tugevat tuult, mis on ka tuuleparkides kasutama on hakatud. Riigifinantside mõttes on Eestil praegu suur eelis paljude Euroopa riikide ees: eelarve on tasakaalus ja ei pea taastuenergia toetusi kärpima selle pärast, et raha hakkab otsa saama. Küll aga võib kriisi järel muutunud maailmas arutada, milline on kõige otstarbekam tee jätkata [41].

Toetusi taastuvate energiaallikate kasutuselevõtuks, energiasektori efektiivsemaks muutmiseks ja sisemaise varustuskindluse/võimsuse piisavuse tagamiseks jagatakse Elektriturseaduse §59 alusel [42].

Toetusi makstakse elektrienergia eest, mis on toodetud taastuvatest energiaallikatest, koostootmise režiimil biomassist või tõhusa koostootmise režiimil. Alates 2013 aastast on

toetused ette nähtud ka põlevkivil töötava tootmiseseadme netovõimsuse kasutatavuse eest. Vastavalt elektrituruseadusele maksab toetused välja põhivõrguettevõtja - Elering [42].

Toetuse rahastamisest tekkiva kulu kannab tarbija vastavalt võrguteenuse tarbimise mahule ning otseliini kaudu tarbitud elektrienergia kogusele [42].

Taastuvateks energiaallikateks loetakse vesi, tuul, päike, laine, tõus-mõõn, maasoojus, prügilagaas, heitvee puhastamisel eralduv gaas, biogaas ja biomass, kusjuures biomassiks loetakse põllumajanduse (sealhulgas taimsete ja loomsete ainete) ja metsanduse ning nendega seonduva tööstuse toodete, jäätmete ja jääkide bioloogiliselt lagunev osa ning tööstus- ja olmejäätmete bioloogiliselt lagunevad komponendid [42].

Toetuste määrad ja maksmise tingimused on esitatud tabelis 10.1.

Tabel 10.1 Toetuse määrad [42]

Toetuse määr	Toetuse saamise tingimused
Toetust makstakse elektrienergia eest, mis on toodetud:	
0,0537 Euro/kWh	taastuvast energiaallikast, välja arvatud biomassist;
0,0537 Euro/kWh	koostootmise režiimil biomassist. Pärast 31.12.2010 biomassist elektrienergia tootmist alustanud tootja võib saada toetust ainult koostootmise režiimil toodetud elektrienergia eest.
0,032 Euro/kWh	tõhusa koostootmise režiimil jäätmetest, jäätmeseaduse tähenduses, turbast või põlevkivitöötlemise uttegaasist;
0,032 Euro/kWh	tõhusa koostootmise režiimil tootmiseseadmega, mille elektriline võimsus ei ületa 10 MW.

11. Ühistu

Ühistu on ettevõtlusvorm, mis lähtub inimeste vajadustest ja kus tegevuse eesmärgiks on säästu saavutamine ühistegevuse läbi. Ühistu võimaldab hankida kaupu ja teenuseid õiglase hinnaga. Kuna ühistu tarbija ja omanik on samad isikud, siis muutub mõttetuks tarbijalt kõrgema hinna nõudmine lisandväärtuse vormis, sest parimal juhul saab sama isik nüüd juba omanikuna kasumi vormis pisut vähem tagasi sellest summast, mille ta tasus tarbijana. Ühistu loomulikuks tegevusvaldkonnaks on tarnida oma liikmetele kaupu ja teenuseid, mida nad jätkuvalt tarbivad. Mida suuremaks kujuneb ühistu käive, seda suuremaks kujuneb ka liikme sääst. Seejuures tasub tähele panna, et sääst ei tähenda tulu, kuid inimese materiaalne heaolu kasvab võrdeliselt sellega, mida suuremat tulu ta teenib või mida enam ta säästab [43].

11.1 Energiaühistu

Sarnaselt korteriühistutega eksisteerivad ka energiaühistud, mis toodavad või koguvad erinevate tootjate poolt toodetud energia ja transpordivad selle oma liikmetele. Eriti puudutab see kaugkütet, elektri ja soojuse koostootmist ning taastuvenergiat (päike, tuul, biomass ja – gaas). Lisaks enda energia varustamisega võivad energiaühistud toimida ka tulusate pensionisammastena, sest elektrivajadus ning selle hinnad pigem kasvavad kui kahanevad. On üsna tõenäoline, et taastuvenergiat toimiv elektrijaam on aastakümne(te) pärast väärtuslikum kui täna soetatud väärtpaberite pakk [43].

11.2 Taastuvenergia ühistu

Energiaühistute pioneerideks on Taani, Rootsi, Holland ja Saksamaa ning täna tekib üha rohkem ja rohkem uusi tuuleparke, mis ei ole planeeritud ja/või opereeritud suurte energiafirmade, vaid talunike, kodanike, oolide ja kogukondade poolt. Täna on üle poole taastuvenergia tootmisest Saksamaal ja Taanis kogukonna omandis. Energiaühistul on siinjuures oluline roll võimaldamaks kodanikel aktiivselt osaleda energia genereerimisel [43].

Energiaühistu plussideks on:

- Demokratiseerimine (arukad investeeringud toovad kaasa väiksemad energiaarved);
- Detsentraliseerimine (vähenenud sõltuvus tsentraliseeritud elektritootmisest);
- Dekarboniseerimine (kohalik kogukond annab oma panuse CO₂ vähendamisesse ja puhtamasse keskkonda) [43].

Selleks, et energiaühistute ideed Eestis ellu viia on vaja:

- reguleerivat keskkonda, mis võimaldab/soodustab energiaühistu loomist ja energiatootmis-seadmetele omakapitali ja finantseeringu leidmist;
- lihtsustatud ja taskukohast ligipääsu võrgule;
- juurdepääsu teadmistele, toetusele ja nõule [44].

12. Küla elektrivarustus

Päikesepaneelide tootlikkuse arutamiseks kasutas autor online-kalkulaatori Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [45]. Arvutamine toimub PVGIS andmebaasi abil.

Arvutamiseks on vaja järgmised andmed:

- Linna või küla nimi kuhu või mille lähedale on plaanis päikesepaneelide süsteem paigaldada, sobivad ka asukoha koordinaadid;
- Päikesepaneelide tüüp;
- Päikesepaneelide süsteemi võimsus (kW);
- Päikesepaneelide paigaldus, kas maapinnal või katusel;
- Katuse kaldenurk;
- Paneelide täpne sund.

Arvutuste tulemus on täpne eeldusel, et päikesepaneelidele ei lange puudest või muudest objektidest tekitatud varje [46].

Tuule võimsuse arutamisel võetakse tuule kiirus astmel kolm (v^3). Sellest järeldub, et nõrga tuulega (1-3 m/s) on tuuleturbiini võimsus väga väike (n $3,5^3=42$, aga $2^3 =$ ainult 8). Nõrga tuulega ei saavuta elektrituulik ka akude laadimiseks vajalikku pinget ja seega võrdub tootlikkus nulliga. Kõige parem, kui elektrituulik alustab pöörlemist alates tuule kiirusel 3 - 3,5 m/s, nii ei kulutata rootori laagreid kasutult [47].

Tiiviku labade arv ei muuda otseselt elektrituulikute võimsust, vaid toimib kui käigukast - mida rohkem labasid, seda suurem jõud ja väiksem pöörlemiskiirus. Kõige levinumad on kolme labaga tiivikud ja seda nii väikeste, kui ka suurte elektrituulikute puhul. Kui tiivik on generaatori suhtes väikese pindalaga, siis jääb tootlikkus madalaks. Kui tiiviku pindala on liiga suur, siis ei suuda väike elektrituulik tormituultega tiivikut ballastkoormuse abil piisavalt pidurdada ja tuuleturbiin võib seetõttu puruneda [47].

Elektrituulikute võimsuse arutamiseks erinevatel tuulekiirustel saab kasutada järgnevat valemit: $P = 1/2 \rho \times A \times v^3 \times C_p$, kus

P – elektrituuliku võimsus vattides (W),

ρ – õhu tihedus normaaltingimustel ($\rho=1,226 \text{ kg/m}^3$),

A – tiiviku pindala (m^2),

v – tuulekiirus (m/s),

C_p – kasutegur [47].

Kasuteguri C_p väärtus on piiratud “Betz’i limiidiga”, mis on 59% ($C_p=0,59$). Betz’i seadus tõestab, et teoreetiliselt on kuni 59% tuule kineetilisest energiast võimalik muundada kasulikuks pöörlemiseks. Praktikas tuleb aga arvestada igasugu muude kaasnevate kadudega - labade aerodünaamikast tulenevad kaod, elektritootmise kaod, turbulents. Kvaliteetsetel väikestel generaatoritel on maksimaalvõimsuse C_p 0,2 kuni 0,35. Suurtel elektrituulikudel on C_p keskmise tuulekiiruse juures 6-9 m/s optimeeritud maksimaalseks, ulatudes umbes 0,48 - 0,5-ni, suurematel ja väiksematel kiirustel aga jääb 0,3 ringi [47].

Kui puuduvad tuule kiiruste esinemise ajalised andmed aasta lõikes, on võimalus ligikaudsete arvutuste tegemiseks kasutada Rayleigh jaotust, mis on kaheparameetrilise Weibull’i jaotuse erijuhtum. Kogu Põhja-Euroopa ulatuses on tuultele avatud kohtades Rayleigh jaotuse keskmiseks väärtuseks 2 [47].

Elektrituuliku aastase toodangu arvutamise valem arvestades Rayleigh jaotust on järgnev:

$$W_h = 1/2 \rho \times A \times v^3 \times C_p \times 8760 \times \text{Rayleigh jaotuse väärtus, kus}$$

W_h – tootlikkus aastas,

8760 – tundide arv aastas [47].

Kliimaandmed, see tähendab tuulekiirus ja mõõtmise kõrgus on saadud tabelist 4.1 ja toodud tabelis 12.1. Kuna küla asub Hiiumaal, siis kõige lähedam ilmajaam on Ristna rannikujaam. Andmed talude kohta on saadud juhendaja poolt ja toodud tabelis 12.2. Talud on viilkatusega. Talud asuvad Kärdla lennujaama ääres. Kuna Villemi ja Peendu talude kohta ei olnud võimalik saada andmeid, siis need jäävad välja. Päikse ja tuulegeneraatori andmed on saadud kas maaletooja või tootja käest.

Tabel 12.1 Keskmise tuule kiirus Ristnal m/s [26]

m/s	J	V	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Aasta
Ristna	5,1	4,4	4,2	3,8	3,5	3,6	3,8	4,1	4,8	5,3	5,4	5,3	4,4

Tabel 12.2 Talude andmed

Talu	Peakaitse, A	Aastane tarbimine, kWh	Lõunapoolne katuse pind, m ²
Kuusiku	32	2442	50-80
Lahetalu	25	11000	50+25+70
Kasetuka	25	1200	30-40
Kossa	25	1200	50
Pendi	16	8000	50-80

12.1 Tuulikute ning päikesepaneelide valik

Kuna tegemist on küla elektrivarustusega, see tähendab, et tarbimine on väiksem kui linnas ja üle 4MW võimsusega tuuleparki Hiiumaale rajada ei lubata, siis on mõtetu kasutada tuulikuid suure võimsusega. Lisaks piiravad ühendusvõimsust kohalik võrk, mis lubab ühes piirkonnas korraga võrku ühendada vaid 3-4 kaasaegset tuulegeneraatorit korraga [40].

Võrgueeskirjale tuginedes on tuulepark mitmest elektrituulikust ning elektrituulikuid omavahel ja neid liitumispunktiga ühendatavatest seadmetest, ehitistest ning rajatisest koosnev elektriyaam [48]. Küla läheduses asuvad veel Natura 2000 alad. Natura 2000 aladele pole ehitamine keelatud, kuid seadus nõuab seal alati keskkonnamõtjude hindamist ning praktikas lõppeb see siiski sellega, et Natura 2000 aladele tuulikuid ei ehitata [43]. Piirangute tõttu käsitletakse antud töös tuulegeneraatoreid kui eraldiseisvaid generaatoreid iga talu kõrval.

Elektritootjad võib jaguneda nelja gruppi: mikro-, pisi-, väike- ja suurtootjad. Mikrotootmisseadmeks kvalifitseerub ühefaasiline tootmisseade, mille nimivõimsus on kuni 3,68 kW, või kolmefaasiline tootmisseade, mille nimivõimsus on kuni 11 kW. Mikrotootmisseade võib koosneda ka mitmest seadmest, mille koguvõimsus ei ületa eelpooltoodud suurusi, näiteks 5 kW ulatuses päikesepaneele ja 6 kW elektrituulik [49]. Pisitootja, kelle tootmisvõimsus on 11 kW kuni 200 kW, liitub Elektrilevi võrguga madalpingel 0,4 kV või keskipingel 6,3–20 kV. Väiketootja, kelle tootmisvõimsus on 200 kW kuni 5 MW, liitub Elektrilevi võrguga üldjuhul keskipingel 6,3–20 kV. Suurtootja, kelle tootmisvõimsus on üle 5 MW, liitub üldjuhul põhivõrguga, kõrgepingel 110–330 kV [50].

Arvutamiseks valis autor tuulegeneraatorid AWG-3000 ja AWG-5000, mis on pakutud firmaga Apekom. Iga talu kõrval on üks tuulik sobiva võimsusega. Tuulikute tehnilised näitajad on toodud tabelis 12.3.

Tabel 12.3 Tehnilised näitajad [51]

Tuulegeneraator	AWG-3000	AWG-5000
Võimsus	3 kW	5 kW
Tuuliku diameeter	5 m	6 m
Labade arv	3	3
Tuulekiirus nominaalse võimsuse jaoks	10 m/s	10 m/s
Maksimaalne võimsus	4,5 kW	7 kW
Toodetava elektri pinge	220 V	220 V
Tuule algkiirus	3 m/s	3 m/s
Töötamiseks sobilik tuulekiirusvahemik	3-25 m/s	3-25 m/s
Tormikaitse kuni	40 m/s	40 m/s
Masti kõrgus	15 m, 18 m, 27 m	16 m, 19 m, 28 m

Nimetatud tuulikud osutusid valituks mitmel põhjusel. AWG-5000 tuulegeneraatori nimivõimsus on väiksem kui 11 kW ning seega sobib valitud tuulik mikrotootmiseks. Generaatorite tuulekiirusvahemikud sobivad ka Eesti tingimustes. Kõik tuulikud on võimalik osta Eestis.

Tuulegeneraatorite mastikõrgused on võimalik valida. Kuna tuule kiiruse andmed on antud kõrgusel 10 meetrit, siis on õigem kasutada väiksemaid mastikõrguseid, AWG-3000 jaoks 15m ja AWG-5000 jaoks 16m.

Päikesepaneelideks on valitud SolarWorld Sunmodule Plus SW 250 poly. SolarWorld-i päikesepaneelid ja elemendid on valmistatud Saksamaal [52]. Ühe paneeli pindala on $1,675 \times 1,001 \approx 1,68 \text{ m}^2$. Päikesepaneelid on paigaldatud niimoodi, et maksimaalselt katta

lõunapoolse katuse pinna. Päikesepaneelide nurgaks on valitud maaletooja soovitusel 40° ja kõik päikesepaneelid on suunatud lõuna suunda [46].

12.2 Talude elektrivarustus

Kuusiku talu aastane tarbimine on 2442 kWh ja lõunapoolne katuse pind on 50-80 m². Talu elektrivarustamiseks on kasutatud tuulik AWG-3000 nimivõimsusega 3 kW ja päikesepaneelid võimsusega 6 kW (pindala 41 m²).

Lahetalu tarbimine on aga 11000 kWh ja katuse pind on 50+25+70 m². Elektrivarustamiseks on kasutatud tuulik AWG-5000 võimsusega 5 kW ja päikesepaneelid võimsusega 6+9=15 kW (102 m²).

Kasetuka talu tarbimine on 1200 kWh ja katuse pind on 30-40 m². Elektrivarustamiseks on kasutatud tuulik AWG-3000 võimsusega 3 kW ja päikesepaneelid võimsusega 4 kW (27 m²).

Kossa talu tarbimine on 1200 kWh ja katuse pind on 50 m². Elektrivarustamiseks on kasutatud tuulik AWG-3000 võimsusega 3 kW ja päikesepaneelid võimsusega 6 kW (41 m²).

Pendi talu tarbimine on 8000 kWh ja katuse pind on 50-80 m². Elektrivarustamiseks on kasutatud tuulik AWG-3000 võimsusega 3 kW ja päikesepaneelid võimsusega 6 kW (41 m²).

Talude summaarne tarbimine on 23842 kWh ja elektrivarustuse tagamiseks on kasutatud viis tuulikut summaarse võimsuse 17 kW ja päikesepaneelid võimsusega 37 kW. See tähendab, et Hiiumaale tekib 4 uut mikro- ja 1 pisielektritootjat.

12.3 Arvutamise tulemused

Eelpool oli mainitud, et kvaliteetsetel väikestel generaatoritel kasutegur on 0,2 kuni 0,35. Arvutamisel on kasutatud $C_p=0,2$. Kuna puuduvad andmed selle kohta kui suur on talude tarbimine kuude kaupa, siis tulemused tuulikute ja päikesepaneelide toodangust on toodud aasta kohta. Tulemused on toodud tabelis 12.4.

Tabel 12.4 Tootmine ja tarbimine

	Kokku			Päikesepaneelid		Tuulikud	
	Tarbimine, kWh	Tootmine, kWh	%	Tootmine, kWh	%	Tootmine, kWh	%
kokku	23842	54604	229	35070	147	19534	81,9
Kuusiku	2442	9280,8	380	5690	233	3590,8	147
Lahetalu	11000	19370,8	176	14200	129,1	5170,8	47
Kasetuka	1200	7390,8	616	3800	316,7	3590,8	299
Kossa	1200	9280,8	773	5690	474,2	3590,8	299
Pendi	8000	9280,8	116	5690	71,1	3590,8	44,9

Tabelist 12.4 on näha, et küla aastane tarbimine on 23842 kWh, aga tootmine on 54604 kWh. Planeeritud tootmine on rohkem kui kaks korda suurem kui aastane küla tarbimine. See tähendab, et tootmine täielikult katab tarbitava elektri. Vastavalt tabelile 12.4 toodaks ülalkirjeldatud mudel päikesest energiat 35070 kWh aastas, mis kataks aastastest tarbimisest 147%. Tuulegeneraatorid toodaksid elektrit 19534 kWh aastas, mis tähendab, et sellised tuulikud kataksid 81,9% tarbimisest. Summaarselt tähendaks see, et kokku toodetakse taastuvatest energiaallikatest elektrit 54604 kWh aastas. Tulemused näitavad, et umbes 30000 kWh on võimalik müüa elektrivõrku. Mudeli hind on toodud tabelis 12.5.

Tabel 12.5 Päikesepaneelide ja tuulikute hind talude kaupa

Talu	Päikesepaneelid, euro	Tuulikud, euro	Kokku, euro
Kuusiku	8394	4300	12694
Lahetalu	20124	7300	27424
Kasetuka	5832	4300	10132
Kossa	8394	4300	12694
Pendi	8394	4300	12694
Kokku, euro	51138	24500	75638

Tabelist on näha, et summaarne investeering on umbes 76000 euro. Suurem investeering elektrivarustusele peab tegema Lahetalu 27424 euro, millest 20124 euro tuleb

päikesepaneelidele. Väiksem investeering aga peab tegema Kasetuka. Tabelitest 12.4 ja 12.5 on näha, et tootmine võib vähendada ja sellega vähendada ka investeeringud.

Kui kasutada teist tuulegeneraatorit nominaalvõimsuse 1 kW ja rootori diameetriga 2,6 meetrit, on võimalik vähendada investeeringuid. Tuulegeneraatori BЭУ-1/2.6 maksumus on umbes 700 eurot [53]. Uued päikesepaneelide ja tuulikude võimsused on toodud allpool.

Kuusiku: tuulik 1 kW ja päikesepaneelid 3,5 kW

Lahetalu: tuulik 1 kW ja päikesepaneelid 6 kW

Kasetuka: tuulik 1 kW ja päikesepaneelid 3,5 kW

Kossa: tuulik 1 kW ja päikesepaneelid 3,5 kW

Pendi: tuulik 1 kW ja päikesepaneelid 3,5 kW.

Tootmine uue võimsusega on toodud tabelis 12.6.

Tabel 12.6 Tootmine ja tarbimine uute võimsusega

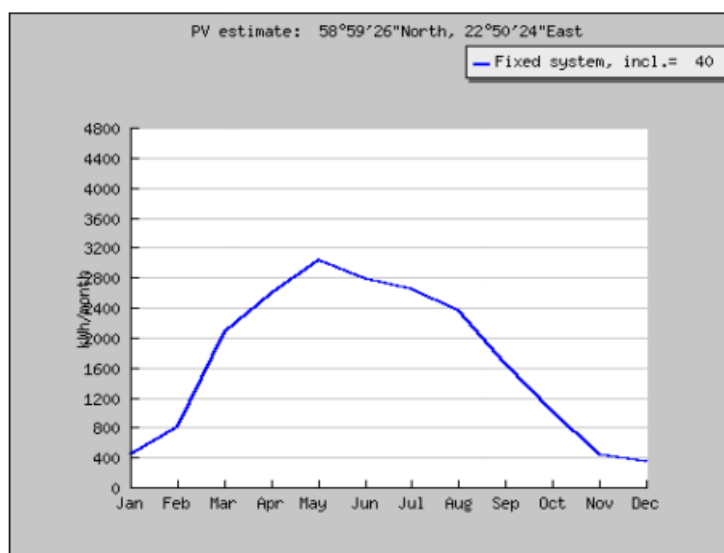
	Kokku			Päikesepaneelid		Tuulikud	
	Tarbimine, kWh	Tootmine, kWh	%	Tootmine, kWh	%	Tootmine, kWh	%
kokku	23842	23825	99,9	18970	79,5	4855	20,4
Kuusiku	2442	4291	175,7	3320	136	971	39,7
Lahetalu	11000	6661	60,6	5690	51,7	971	8,8
Kasetuka	1200	4291	357,6	3320	277	971	80,9
Kossa	1200	4291	357,6	3320	277	971	80,9
Pendi	8000	4291	53,6	3320	41,5	971	12,1

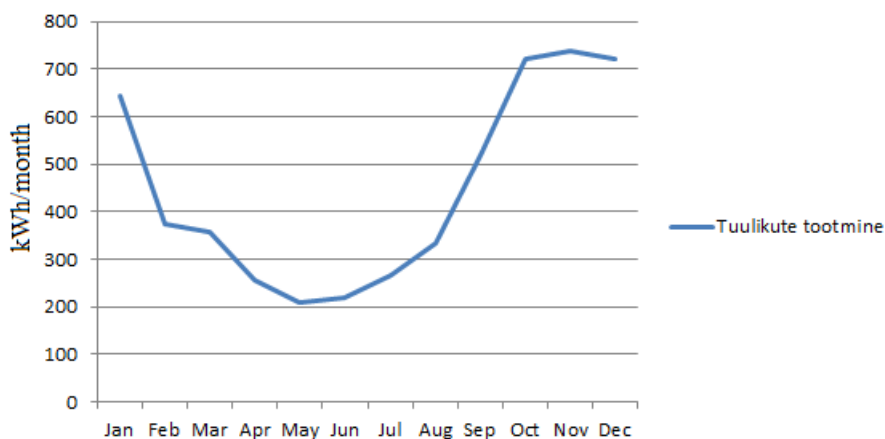
Tabelist 12.6 on näha, et tootmine ja tarbimine on võrdsed ja uued võimsused sobivad, et katta oma tarbimist. Aga see on võimalik ainult juhul, kui päikesepaneelid töötavad koos tuulikutega ning kompenseerivad teineteist ja kui vaadeldakse kõik talud koos energiaühistuna. Päikesest energiast toodetakse 79,5% elektrit ning tuulikud annavad 20,4% elektrit kogu tarbimisest. Võimsuse vähendamiseга langesid ka summaarsed investeeringud.

Tabel 12.7 Päikesepaneelide ja tuulikute hind talude kaupa uue võimsusega

Talu	Päikesepaneelid, euro	Tuulikud, euro	Kokku, euro
Kuusiku	5352	700	6052
Lahetalu	8394	700	9094
Kasetuka	5352	700	6052
Kossa	5352	700	6052
Pendi	5352	700	6052
Kokku, euro	29802	3500	33302

Tabelis 12.7 on toodud uued päikesepaneelide ja tuulikute hinnad. Selline mudel on rohkem kui kaks korda odavam, aga toota on võimalik ainult endale ja müüa elektrivõrku ei saa.

**Joonis 12.8 Päikesepaneelide tootmine kuude kaupa**



Joonis 12.9 Tuulikute tootmine kuude lõikes

Joonised 12.8 ja 12.9 illustreerivad tootmist kuude lõikes. Jooniselt 12.7 on näha, et päikesepaneelide tootmine jaanuarist maini kasvab ja väheneb maikuust detsembrini. Kõige suurem tootmine on maikuus. Võrreldes päikesepaneelide tootlikkust mais ja detsembris on selgelt näha, et detsembris praktiliselt päikesest elektrit ei toodetagi. Jooniselt 12.8 aga on näha, et tuulikute tootmine väheneb vastupidi jaanuarist maikuuni ja kasvab maist novembrini. Summaarne päikesepaneelide ja tuulikute tootmine aasta jooksul jääb enam vähem ühel ja samal tasemel.

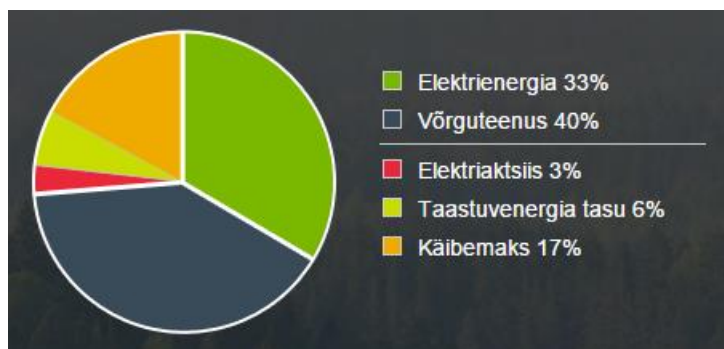
12.4 Võrguühendus ja võrguühenduseta majapidamine

Tasuvus võrguühenduse olemasolul sõltub:

- Süsteemi väljaehitamise hinnast;
- Süsteemi hoolduskuludest;
- Elektri hinnast;
- Toetustest;
- Omatarbimise ja väljamüügi suhtest [54].

Elektrihind koosneb elektrienergia maksumusest, võrgutasudest, taastuvenergia tasust, elektriaktsiisist, millele lisatakse ka käibemaks [55].

Jooniselt 12.10 on näha elektrihinna jaotust keskmise Eesti elektrikliendi puhul, kelle aastane tarbimine on 2400 kWh ning kes on sõlmitud ühetariifse aastase Kindla paketi lepingu 28. Jaanuaril2013 [55].



Joonis 12.10 Elektri hinna jaotus [55]

Elektrienergia maksumus sõltub hinnast hulgiturgudel ehk börsil, kliendi elektritarbimisest ning elektrimüüjate konkurentsist. Elektri hinnale lisandub käibemaks [55].

Võrgutasu sisaldab elektrivõrgu töökindlust tagavate investeeringute ning hooldus- ja remonditööde kulusid. Võrguteenus tähendab valmisoleku tagamist elektri edastamiseks või tarbimiseks ning selleks vajaliku taristu ülalhoidmist, samuti elektri transporti tarbimiskohani, näiteks koduni [56].

Elektrilevi võrgutasu kujuneb neljast peamisest kulukomponendist: investeeringud; Eleringi ülekandeteenuse ja reaktiivenergia kulu; püsikulud, sh elektrivõrgu hooldus- ja remondikulud, ning elektrienergia kaoga seotud kulud [56].

Taastuenergia tasu on riigi määratud tasu, mille eesmärk on toetada taastuvast allikast või tõhusa koostootmise režiimil elektrienergia tootmist Eestis. Taastuenergia tasu arvutab ja avalikustab igaks aastaks põhivõrguettevõtja Elering, klientidelt koguvad seda aga jaotusvõrguettevõtjad [55].

Elektriaktsiis on riiklik maks, millest rahastatakse keskkonnahoidu. Elektriaktsiisi suuruse kehtestab riik, seda koguvad jaotusvõrguettevõtjad, kes omakorda edastavad selle riigieelarvesse. Ka neile komponentidele lisandub elektriarvel käibemaks [55].

12.4.1 Elektri ost ja müük

Eespool oli mainitud, et ühe kilovatt-tunni hind koosneb elektrienergia maksumusest, võrgutasudest, taastuenergia tasust, elektriaktsiisist ja käibemaksust. Elektrienergia ööpäeva hind oktoobris ilma käibemaksuta on 4,72 senti/kWh [57]. Võrguteenuse hind on 5,40 senti/kWh [58]. Taastuenergia tasu Eestis on 0,77 senti/kWh [59]. Vastavalt alkoholi-, tubaka-, kütuse- ja elektriaktsiisi seadusele on elektriaktsiisi määr 1. märtsist 2010 käibemaksuta 0,447 senti kilovatt-tunni kohta [60]. Kilovatt-tunni hind on

$4,72+5,40+0,447+0,77=11,337$ senti, ning käibemaks on 2,267 senti. Hind kokku on 13,6 senti/kWh.

Kui talud toodavad rohelist elektrienergiat, siis nad saavad veel taastuvenergia toetust suuruses 5,37 senti/kWh. Sellega talude kokkuhoid on $13,6+5,37=18,97$ senti/kWh.

Kui talud müüvad energiat elektrivõrku, siis nende tulu on $4,72+ 5,37=10,09$ senti/kWh.

12.4.2 Liitumine elektrivõrguga

Võrgulepingu alusel varustatakse tarbimiskohta elektriga. Võrgulepingus lepatakse kokku elektriga varustamise tingimused ja võrguteenuse hinnapaketi. Elektrilevi võrgupiirkonnas on kasutusel peamiselt neli võrgupaketti, mis on mõeldud kuni 63 A võrguühendusega tarbimiskohtade jaoks, näiteks eramud, suvilad, väiksemad ärihooned ning korterid [61].

Võrgulepingu sõlmimine on tasuta. Liitumistasu suurus sõltub uue tarbimiskoha peakaitsme suuruselt ning liitumispunkti kaugusest elektrivõrgust ehk kaugusest 6–20 kV pingega keskpingeliinist. Liitumislepingu sõlmimisele lisandub lepingu menetlustasu [62].

- Kuni 400 m kaugusel keskpingeliinist (Liitumistasu arvestatakse amprite arvu järgi, ühe ampri hind on 134,22 eurot koos käibemaksuga);
- Üle 400 m kaugusel keskpingeliinist (Liitumistasu arvestatakse tegelike kulude järgi, näiteks materjalide ja ehituskulude järgi. Liitumistasule lisandub projektijuhtimise tasu, mille suurus on 3,35% tööde kogumaksumusest. Projektijuhtimise tasu rakendatakse ka kolmepoolsete lepingute korral) [62].

12.4.3 Liitumine mikrotootjale

Selleks, et oleks võimalik muretult elektrit tarbida ja samas ka enda tarbimisest ülejääva elektri võrku tagasi müüa, on vaja liituda Elektrilevi elektrivõrguga kui mikrotootja. Muretu elektritarbimine mikrotootmiseseadmega tähendab paralleeltööd elektrivõrguga, mis tähendab, et soodsa ilmaga toodab külale elektrit mikrotootmiseseade ning ebasoodsa ilmaga on võimalik vajamineva elektri osta elektrivõrgust. Nii on elekter igal ajal olemas. Liitumisleping sõlmitakse kinnistu omanikuga. Mikrotootja liitumise eelduseks on olemasolev võrguühendus ning kehtiv võrguleping. Mikrotootja liitumislepingu sõlmimine on tasuline teenus ning tasu arvutamine põhineb tegelikel kulutustel. Reeglina on mikrotootja liitumine lihtne ja kiire protsess, mis võib aega võtta kuni kaks kuud. Kui elektrivõrgus on vaja teha ümberehitusi, võtab liitumine aega oluliselt rohkem. Elektrienergia ostmiseks ja müümiseks tuleb sõlmida elektrileping elektrimüüjaga, näiteks Eesti Energia või mõne teise sobiva elektrimüüjaga [63].

12.5 Tasuvuse arvutused

Eespool oli toodud kaks võimalikud küla elektrivarustuse mudelid. Esimese mudeli iseärasuseks on suur tootmine, mis annab võimalust müüa elektrit võrku, teine mudel sobib ainult omatarbeks. Esimese mudeli hind on 75638 euro ja teise mudeli hind on 33302 euro. Esimesele mudelile lisanduvad veel liitumisega seotud tasud (liitumine mikrotootjale ja elektrivõrguga).

Arvutuste lihtsustamiseks on võetud, et talude kaugus keskpingeliinist on vähem kui 400 meetrit ja ei kasutanud tasu liitumise eest, kuna puuduvad täpsed andmed. Arvutused mudelite kohta on toodud tabelites 12.11 ja 12.12.

Tabel 12.11 I mudeli tasuvus

Talu	Tarbimine, kWh	Tootmine, kWh	Mudeli hind, euro	Kokkuhoid, euro	Müügi tulu, euro	Kokkuhoid + tulu, euro	Tasuvus, aasta
Kuusiku	2442	9280,8	16990	464	690	1154	14,7
Lahetalu	11000	19370,8	30780	2087	845	2932	10,5
Kasetuka	1200	7390,8	13490	228	625	853	15,8
Kossa	1200	9280,8	16050	228	815	1043	15,4
Pendi	8000	9280,8	14840	1518	130	1647	9
Kokku	23842	54604	92150	4523	3104	7627	12,1

Tabel 12.12 II mudeli tasuvus

Talu	Tarbimine, kWh	Mudeli hind, euro	Kokkuhoid, euro	Tasuvus, aasta
Kuusiku	2442	6052	464	13,1
Lahetalu	11000	9094	2087	4,4
Kasetuka	1200	6052	228	26,6
Kossa	1200	6052	228	26,6
Pendi	8000	6052	1518	4
Kokku	23842	33302	4523	7,4

Tabelitest 12.11 ja 12.12 on näha, et kui vaadelda küla tervikuna, siis tasuvam on toota elektrit ainult omatarbeks ja mudeli tasuvus on 7,4 aastat, suure võimsuse jaoks tasuvus on 12,1 aastat. Suure tarbimisega talude jaoks on parem toota ainult omatarbeks, sest siis investeering elektrivarustusele on palju väiksem. Väike tarbimisega talude jaoks on vastupidi parem toota, tarbida ja müüa elektrivõrku. Kuusiku talu tarbimine on keskmine ja tasuvus kahe mudeli jaoks on umbes sarnane.

12.6 Järeldused

Erinevate päikesepaneelide ja tuulikute konfiguratsiooni modelleerimisega on võimalik saada palju erinevaid võimalikke variante. Töös on tegemist kahe variandiga. Autori hinnangul I mudel, kus on suured võimsused, sobib rohkem taludele väikse tarbimisega, kes soovivad toota ja müüa rohelist energiat. Mudeli tasuvus sõltub veel omatarbimise ja väljamüügi suhtest. Teine mudel, mis annab võimalust ainult omatarbeks, on parem taludele suure tarbimisega.

Ülalkirjeldatud mudelid ei pretendeeri täiuslikkusele, vaid vajavad veel täiendavaid modelleerimise katsetusi optimeerimaks tootmist. Käesolevas töös uuriti ainult mikrotootmise võimalusi. Täiendavat uurimist oleks vaja tuulegeneraatorite osas. Nimelt võivad suurema nimivõimsusega generaatorid olla paremad, kasvõi sellepärast, et sellisel juhul läheks tuulegeneraatoreid vähem vaja. Lisaks tuleks katsetada võimalust, kus kogu elektrienergia toodetakse ainult kas tuulegeneraatoritest või päikesepaneelidest. Lisaks vajab täiendavat uurimist süsteemi optimaalsust [64].

Sellised mudelid võib kasutada ka teistel väikeküladel. Kõrgepingeliinide olemasolu võimaldab kasutada ka suurema võimsusega seadmed, aga teeks see elektrivõrguga liitumise keerulisemaks ning kulukamaks [63]. Taastuenergia projekti juures tuleb arvestada ka majanduslike võimalustega.

13. Kokkuvõte

Töös uuriti taastuvenergiaallikate kasutusvõimalusi Eesti tingimustes küla elektrivarustamisel. Käesolevas uurimistöös uuriti päikesepaneelide ja tuulikute tüübid, efektiivsus ning nende tasuvusaeg. Töös räägitakse ka mikrotootmisest ning selle majandusliku efektiivsusest, läbivaadakse ka energiaühistu plussid. Teema valikut ajendas ka autori huvi taastuvenergeetika vastu .

Eesmäärke saavutamaks, tutvus töö autor Hiiumaa saare elektrisüsteemiga. Energeetika on Hiiumaa arengu strateegiliseks valdkonnaks, sest see mõjutab kõiki kogukonna majandusliku ja sotsiaalse elu aspekte. Saare eraldatus ja väiksus tingib energiavarustuse suuremad kulud. Täiendavad kulud tingivad suurema majandusliku huvi taastuvenergeetika arendamise ja taastuvenergia kandjate väärtustamise vastu.

Tutvustakse Eesti taastuvenergiaallikate kasutusvõimaluste potentsiaali ja piirangutega. Töös võrreldakse ka taastuvenergia potentsiaal teiste riikidega. Et täpsemalt aru saada taastuvenergia kasutusvõimalustest, andis autor ülevaate erinevatest taastuvenergia allikatest. Tuule- ja päikeseenergia autori hinnangul omavad suurima potentsiaaliga. Eestis horisontaalsele pinnale langev aastane summaarne päikesekiirus jääb reeglina vahemikku 825...950 kWh/m². Optimaalse kaldega pinnale on summaarne aastane päikesekiirgus vahemikus 1100...1200 kWh/m². Seejuures 80...90% summaarsest kiirgusest langeb maapinnale vahemikus märts kuni september. Uurimistöös tutvustab autor ka erinevate päikesepaneelide tehnoloogiate, paigaldamisvõimaluste ja suunamisega.

Eestis on suur tuulepotentsiaal saartel ja madril eriti talvekuudel. Keskmine tuulekiirus Rista ilmajaama andmete järgi on 4,4 m/s. Töös räägitakse erinevate tuulegeneraatorite klassist ja tüüpidest, ning nende plussidest ja miinustest. Uuriti ka, et Eestis paigaldatud vertikaalse teljega tuulegeneraatorite osas ei ole teadaolevalt ühtegi hästi toimivat lahendust, ning rohkem kasutatakse horisontaalse teljega generaatorid.

Autor tutvus ka ohtudega nii inimestele kui ka loodusele, mis kaasnevad tuulegeneraatorite püstitamisega. Üksikud tuulikud ja tuulepargid põhjustavad mõõdukalt negatiivseid lokaalse iseloomuga keskkonnamõjusid. Sellest hoolimata on kõikidel tuuleenergia projektide arendajatel kohustus viia tuulikute negatiivsed keskkonnamõjud miinimumini lähtudes keskkonnakaitse aspektidest, tervisekaitse ja ohutuse seisukohast ning säästva arengu põhimõtetest. Töös tutvustatakse ka avamere tuuleparkide mõjuga. Tuulegeneraatorite ohud ümbritsevale loodusele eksisteerivad, kuid need ei ole piisavad põhjused takistamiseks nende

ehitamist. Inimasustusest tuleks aga tuulegeneraatorid ehitada piisavalt kaugemale, et vältida halba mõju tervisele.

Töös räägitakse ka lokaalsest energiavarustusest ning tsentraalsest võrgust. Kui igal majal, vabrikul ja talul on oma kohalik elektrivarustussüsteem, siis pole elektrivõrku vajagi. Võrgu kaotamisel on siiski ka negatiivsed küljed. Võrgu puudumisel ei saa kasutada suuri tuulikuid, mis mere äärde rajatuna annavad vähemalt kaks korda odavamalt elektrit kui väiketuulikud sisemaal. Suure arvu võrku ühendatud tarbijate ajaline koormusgraafik on palju ühtlasem kui üksiktarbijal. Ühtlane või aeglaselt muutuv koormus on elektri tootmisel ja ülekandmisel soodsam kui üksiktarbija ebaühtlane ja hüppeline koormus. Ilma võrguta ei saa aga tarbijate koormusi liita. Mitme generaatoriga võrgul on ka varustuskindlus suurem kui ilma võrguta ühest allikast toitel. Autor uuris, et kohalik elektrivarustus on odavam, kui ehitada uus liin.

Suur taastuvenergia probleem on valgus- ja tuuleaugud. Autor uuris kuidas on võimalik energiaaugud täita. Energiaaukude täitmiseks võib kasutada soojuselektrijaama, kus põletatakse puitu ja teisi biokütuseid, mis kujutavad endast looduslikult salvestatud taastuvenergiat. Võib kasutada ka hüdroakumulatsioonijaama, mis energia ülejäägi ajal pumpab vett alumisest basseinist ülemisse basseini. Energiaaugu ajal aga paneb ülemisest basseinist alla voolav vesi tööle turbiini ja generaatori ning saab kasutada eelnevalt salvestatud energiat.

Peamised tuulikute püstitamise piirangud Hiiumaal on Natura 2000 ala ning elektrivõrk. Põhjus, miks täna tuulegeneraatoreid Hiiumaal ei ehitata on elektrivõrgus. Hiiumaa kohalik tarbimine on väike ja üle 4MW võimsusega tuuleparki siia rajada ei lubata. Lisaks piiravad ühendusvõimsust kohalik võrk, mis lubab ühes piirkonnas korraga võrku ühendada vaid 3-4 kaasaegset tuulegeneraatorit korraga. Ebakindlus päikeseenergia kasutamise suhtes tuleneb Hiiumaa asukohast ja asjaolust, et teave kaasaegsete päikesekütte seadmete ja tehniliste lahenduste kohta pole olnud kättesaadav.

Riigid on taastuvenergiat toetanud just seetõttu, et siis tuleb sektorisse rohkem ka erakapitali investeeringuid ning progress toimub kiiremini. Ilma riiklike toetusteta ei oleks näiteks päikesepaneelide efektiivsus muidu kindlasti nii kõrge, kui see praegu on. Kuid globaalne kriis on pikemaajalise rohelise mõtlemise suhtes toonud tagasilööke. Elektrienergia eest, mis on toodetud taastuvast energiaallikast, välja arvatud biomassist, toetuse määr on 0,0537 euro/kWh.

Autor uuris mis on energiaühistud ja kus on need populaarsed. Energiaühistute pioneerideks on Taani, Rootsi, Holland ja Saksamaa ning täna tekib üha rohkem ja rohkem uusi tuuleparke, mis ei ole planeeritud ja/või opereeritud suurte energiafirmade, vaid talunike, kodanike, oolide ja kogukondade poolt. Energiaühistu plussideks on dekarboniseerimine, detsentraliseerimine ja demokratiseerimine.

Uurimistöös võeti aluseks kristallilisest ränist valmistatud päikesepaneelid, mis on oma praktilisust jõudnud juba aastakümnete jooksul tõestada. Nende fotoelementide efektiivsus kõrgem kui konkureerivatel õhukesekilelistel tehnoloogiatel, mistõttu ei vaja nad ka nii palju paigalduspinda ja seeläbi on nende paigaldustööde hind madalam. Töös on kasutatud SolarWorld Sunmodule Plus SW 250 poly päikesepaneelid. Uurimistöös päikesepaneelid on paigaldatud optimaalse 40° kaldenurgaga maapinna ning 0° lõunasuuna suhtes. Päikesepaneelide tootlikkus on leitud PVGIS kalkulaatori abil. Arvutamisel kasutas autor erinevate firmade tuulikud. Üks firma müüb AWG seeria tuulikud võimsusega 3 kW ja 5 kW, need on võimalik osta Eestis. Teine firma müüb tuulegeneraator BЭY-1/2.6 võimsusega 1 kW. Tuulikud on paigaldatud iga talu kõrval. Tuulikute toodangu arvutamised autor tegi Excel-is. Tuulekiirused on võetud Ristna jaoks, küla asub aga ida poole. Autori hinnangul ei mõjuta selle töö realistlikkust. Tuulekiiruse andmed ei ole kindlasti täpselt samad, aga ei saa andmed erineda kardinaalselt.

Arvutamised on tehtud kahe mudeli järgi. I mudel võimaldab müüa elektrienergiat võrku, II mudeli sobib ainult omatarbeks. Tulemused näitavad, et küla elektrivarustamine taastuenergiaallikate abil on võimalik, aga vajab suur investeeringut. Päikesepaneelid olid maikuus kõige suurema tootlikkusega. Tuulegeneraatorid tootsid aga kõige enam novembrikuus. Summaarne päikesepaneelide ja tuulikute tootmine aasta jooksul jääb enam vähem ühel ja samal tasemel. Lisaks päikesepaneelide ja tuulikute tootlikkuse arvutamisele selgitati välja ka päikeseelektrijaama ja tuulegeneraatorite maksumust.

Mudeli tasuvusaja puhul mängib väga suurt rolli, milline on tarbija jaoks elektri hind, mille põhjal kujuneb sääst elektritoodangust, ning kui suurt tasu saadakse elektrienergiat võrku müües. Autori hinnangul on kõige parem toota külas vaid endale, tasuvusaeg on siis väiksem kui toota ja müüa elektrivõrku. Suure tarbimisega talude jaoks on parem toota ainult omatarbeks, sest siis investeering elektrivarustusele on palju väiksem. Väike tarbimisega talude jaoks on vastupidi parem toota, tarbida ja müüa elektrivõrku. Päikeseelektrijaamu ja tuulikute paigaldades tuleb arvestada talude elektritarbimise koormusgraafikutega ning

vastavalt sellele projekteerida mudelid sellise võimsusega, et suurem osa elektritoodangust kasutatakse ise ära. Töös kasutatud mudelite tasuvusaeg jäi 7,4 ja 12,1 aasta vahele.

Uurimistöö tulemusi hinnates järeldati, et päikesepaneelide ja tuulikute paigaldamine külaoludes on kasulik. Autori hinnangul küla elektrivarustamine taastuenergiaallikate baasil on võimalik ning sobiva asukoha olemasolu ning suure elektritarbimise korral tuleks sellesse valdkonda investeerimist tõsiselt kaaluda. Sellise projekti arendamine võtab aega ja sõltub majanduslikest võimalustest, kuid idee kasutada taastuenergiaallikaid külas aitab kaasa riigi eesmärgile saavutada taastuenergia 15% osakaal.

14. Kasutatud kirjandus

- [1] „Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/valitsus/arengukavad/majandus-ja-kommunikatsiooniministeerium/Eesti_taastuenergia_tegevuskava_aastani_2020.pdf. [Kasutatud 20 aprill 2014].
- [2] „Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/valitsus/arengukavad/majandus-ja-kommunikatsiooniministeerium/Eesti_elektrimajanduse_arengukava.pdf. [Kasutatud 20 aprill 2014].
- [3] M. Mahlapuu, Päikeseelektrijaama toodangu simulatsioon ja majanduslik analüüs linnatingimustes asuvatel hoonetel, Tallinn, 2014.
- [4] K. Janson, A. Kallaste, V. Bolgov, „Energeetika – otsapidi üksnes taastuenergia küljes,“ *Horisont*, nr 2, 2013.
- [5] „Hiiu,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.hiiu.ee/artiklid/taastuenergia-osa-elektri-kogutarbimises-v%C3%A4henes>. [Kasutatud 20 aprill 2014].
- [6] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/paikeseenergia-eestis.html>. [Kasutatud 20 aprill 2014].
- [7] „Eesti Tuuleenergia Assotsiatsioon,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuuleenergia.ee/2014/04/kuidas-paike-ja-tuul-ennast-teenima-panna/>. [Kasutatud 20 aprill 2014].
- [8] „Hiiu,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.hiiu.ee/>. [Kasutatud 21 aprill 2014].
- [9] „Eesti Statistika,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.stat.ee/67696>. [Kasutatud 21 aprill 2014].
- [10] „Hiiu Maavalitsus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://hiu.maavalitsus.ee/documents/180835/1011719/Hiiu+taastuenergia+tegevuskava+2020%2B.pdf/514e78da-efc5-42bd-af6e->

4068c5a2bcce;jsessionid=8A8628AB6F16C31B93A205A3BB8FC102?version=1.0.

[Kasutatud 3 november 2014].

- [11] „Hiiu Maavalitsus,“ [Võrgumaterjal]. Available: [http://hiuu.maavalitsus.ee/documents/180835/1011719/Elektris%C3%BCsteemi+areng+-+Saared+\(Elering\).pdf/fab685e6-a5a9-422d-a400-65cc44416e0b;jsessionid=F782FF98EF5B625669CFCAB59D01E12E?version=1.0](http://hiuu.maavalitsus.ee/documents/180835/1011719/Elektris%C3%BCsteemi+areng+-+Saared+(Elering).pdf/fab685e6-a5a9-422d-a400-65cc44416e0b;jsessionid=F782FF98EF5B625669CFCAB59D01E12E?version=1.0). [Kasutatud 21 aprill 2014].
- [12] „Elering,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://elering.ee/taastuenergia/>. [Kasutatud 24 aprill 24].
- [13] „Eesti Energia,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energia.ee/taastuenergia>. [Kasutatud 24 aprill 2014].
- [14] „COPOWER OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://copower.ee/roheline-energia/tuuleenergia/>. [Kasutatud 25 aprill 2014].
- [15] „Tuuleenergia Assotsiatsioon,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuuleenergia.ee/about/statistika/olemasolev/>. [Kasutatud 14 detsember 2014].
- [16] „Eternalen,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.eternalen.ee/paikeseenergiast>. [Kasutatud 25 aprill 2014].
- [17] A. Rosin, S. Link, I. Drovtar, Energia lokaalse tootmise analüüs büroohoonele OSA I - Taastuenergialahendused, Tallinn, 2013.
- [18] [Võrgumaterjal]. Available: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_EE.png. [Kasutatud 25 aprill 2014].
- [19] „European Photovoltaic Industry Association,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf. [Kasutatud 26 aprill 2014].
- [20] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/paikesepaneel-ehitus-efektiivsus-monokristall-polukristall.html>. [Kasutatud 26 aprill 2014].

- [21] „Päikesepaneelid,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://xn--pikesepaneelid-5hb.com/paikesepaneelide-plussid-ja-miinused/>. [Kasutatud 26 aprill 2014].
- [22] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/paikesepaneeli-paigaldamine-suunamine.html>. [Kasutatud 26 aprill 2014].
- [23] „Elektroskandia Estonia,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.elektroskandia.ee/artiklid/taastuenergia/paikeselektrijaamad-on-meie-tulevik>. [Kasutatud 26 aprill 2014].
- [24] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/>. [Kasutatud 26 aprill 2014].
- [25] „Ares Elekter,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.areselekter.ee/ongridsusteemid>. [Kasutatud 26 aprill 2014].
- [26] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/tuulekiirus.html>. [Kasutatud 26 aprill 2014].
- [27] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/tuulegeneraatorid.html>. [Kasutatud 26 aprill 2014].
- [28] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/tuulegeneraatorite-klassid.html>. [Kasutatud 29 aprill 2014].
- [29] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/vertikaalse-teljega-tuulegeneraatorid.html>. [Kasutatud 29 aprill 2014].
- [30] „AS Konesko,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuge.ee/et/company>. [Kasutatud 14 detsember 2014].
- [31] „Tuuleenergia Assotsiatsioon,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuuleenergia.ee/2012/06/paevakorras-on-vaiketuulikud-kodutarbijal-voimalus-ise-tuuleelektrit-toota/>. [Kasutatud 14 detsember 2014].
- [32] M. Karjus, Tuuleparkide taluvuse kompensatsioon kohalikele kogukondadele, Pärnu,

- 2011.
- [33] K. Tõnsau, Tuuleenergetika areng Eestis, Tallinn, 2011.
- [34] M. Rohtla, „Avamere tuulepargid ja nende võimalik mõju kalastikule,“ *Eesti Loodus*, nr 3, 2009.
- [35] „Energiasalv,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://energiasalv.ee/pump-hydroakumulatsioon-elektrijaama-roll-elektrisusteemis>. [Kasutatud 25 Oktoober 2014].
- [36] A. Kull, „TUULEENERGEETIKA ARENGUT MÕJUTAVATEST TEGURITEST EESTIS JA LÄTIS – VAATEGA MERELE,“ 2011.
- [37] K. Kartau, „OÜ Hendrikson & KO,“ 5 november 2008. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.hendrikson.ee/>. [Kasutatud 4 november 2014].
- [38] „Natura 2000,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.natura2000.envir.ee/>. [Kasutatud 4 november 2014].
- [39] „Maa-amet,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.maaamet.ee/>. [Kasutatud 4 november 2014].
- [40] „Hiiu Maavalitsus,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://hiiu.maavalitsus.ee/documents/180835/1011719/Hiiumaa+energeetika+arengukava.pdf/373c4b76-72ff-4896-81c4-a9ca7145db0a;jsessionid=03FFA2790228686BA13E042647CB7255?version=1.0>. [Kasutatud 11 november 2014].
- [41] „Estonian Winpower Association,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.tuuleenergia.ee/2012/08/taastuvenenergia-toetused-mooda-hasti-enne-kui-loikad/>. [Kasutatud 11 november 2014].
- [42] „Elering,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://elering.ee/taastuvenenergia-toetus/>. [Kasutatud 11 november 2014].
- [43] „Energiatalgud,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.energiatalgud.ee/img_auth.php/f/fd/ETEA._Manual_tuule%C3%BChistutelle_10.2012.pdf. [Kasutatud 17 november 2014].
- [44] „Eesti põllu- ja maamajanduse nõuandeteenistus,“ [Võrgumaterjal]. Available:

- <http://www.pikk.ee/upload/files/Ettekanne%20-%20tuulikud%20ja%20energia%C3%BChistud%20koos%20n%C3%A4idetega.pdf>.
[Kasutatud 17 november 2014].
- [45] „European Commission,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>. [Kasutatud 19 november 2014].
- [46] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/paikesepaneelide-tootlikkuse-arvutamine-pvgis.html>.
[Kasutatud 19 november 2014].
- [47] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/tuuleenergia.html>. [Kasutatud 19 november 2014].
- [48] *Võrgueeskiri*, 2003.
- [49] „Elektrilevi,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/es/liitumine-mikrotootjale>. [Kasutatud 20 november 2014].
- [50] „Elektrilevi,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/es/kuidas-elektritootja-liitub>. [Kasutatud 20 november 2014].
- [51] „Apekom,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.apekom.eu/apekom/modx-2.2.6-pl/index.php?id=14>. [Kasutatud 20 november 2014].
- [52] „Taastuenergia OÜ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.taastuenergia.ee/polukristall-paikesepaneel.html>. [Kasutatud 20 november 2014].
- [53] „Мельников Электроветер,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.electroveter.ru/vetrogenerator-1-kvt.html>. [Kasutatud 23 november 2014].
- [54] „Eesti Taastuenergia Koda,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.taastuenergeetika.ee/wp-content/uploads/2013/03/Tasuvuse_v%C3%B5rdlus.pdf. [Kasutatud 25 november 2014].
- [55] „Eesti Energia,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energia.ee/elektriarve-kujunemine>. [Kasutatud 25 november 2014].

- [56] „Elektrilevi,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/et/hind>. [Kasutatud 25 november 2014].
- [57] „Eesti Energia,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energia.ee/et/ylidteenus-ja-bilansienergia>. [Kasutatud 26 november 2014].
- [58] „Elektrilevi,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/et/vorgutasud-naaberriikides>. [Kasutatud 26 november 2014].
- [59] „Elering,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://elering.ee/taastuenergia-tasu/>. [Kasutatud 26 november 2014].
- [60] „Elektrilevi,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/et/taastuenergia-tasu>. [Kasutatud 26 november 2014].
- [61] „Elektrilevi,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/et/vorgulepingu-solmimine>. [Kasutatud 26 november 2014].
- [62] „Elektrilevi,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/et/uue-tarbimiskoha-liitumine>. [Kasutatud 26 november 2014].
- [63] „Elektrilevi,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elektrilevi.ee/et/liitumine-mikrotootjale>. [Kasutatud 26 november 2014].
- [64] A. Natka, Tuule- ja päikeseenergiast elektri tootmise võimalused Vormsi saarel, Tallinn, 2013.