

Johannes Kakko

Vana-Lepiku talu päikeseelektrijaama ja võrguliitumise projekt

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Elektritehnika õppekava

Juhendaja: Indrek Tukmann

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina,

Johannes Ago Kakko,

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendajad Indrek Tukmann, Hallar Tamm

Lõputöö on kaitsmisele lubatud Tehnika instituudi direktori korraldusega nr.....

kuupäev

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Johannes Ago Kakko

sünnikuupäev: 17.09.1996

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Vana-Lepiku talu elektritootja ja võrguliitumise projekt

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas 07.05.2023

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. LÄHTEANDMED	7
1.1. Asukoht ja paiknemine	7
1.2. Olemasolev elektrivõrk.....	8
1.2.1. Õhuliin.....	8
1.2.2. Alajaam	9
1.2.3. Mastid.....	9
1.3. Lähteandmete vahekokkuvõte	9
2. SOBIVA LAHENDUSE VALIMINE	11
3. PÄIKESEPARGI TOOTLIKKUSE OPTIMEERIMINE	18
3.1. Muudetava nurgaga päikesepaneelide alused.....	18
3.2. Akupakkide kasutamine	20
3.3. Optimeerimise võimaluste vahekokkuvõte	21
4. RISKIANALÜÜS	22
4.1. Pahatahtlik seadmete mõjutamine inimeste poolt	22
4.2. Elektrienergia börsihinna madalaks muutumine	23
4.3. Loodusliku päritoluga rikked.....	25
4.4. Saadaolevad komplekt-lahendused.....	27
4.5. Riskianalüüsi vahekokkuvõte	27
5. PÄIKESEPARGI JA VÕRGULIITUMISE PROJEKT.....	28
5.1. Päikesepargi eelprojekt.....	28
5.1.1. Elektriskeemi põhimõtteskeem	28
5.1.2. Asendiplaan.....	29
5.2. Võrguliitumine ja tööd Elektrilevi võrgus.....	30
5.3. Materjalide ja seadmete spetsifikatsioon.....	33
5.4. Hinnapakkumine ja tasuvuskalkulatsioon	34
6. TÖÖ AUTORI HINNANG PROJEKTILE.....	37

7.	KOKKUVÕTE.....	38
8.	SUMMARY	39
	VIIDATUD ALLIKAD.....	40
	LISAD	42
8.1.	Lisa 1. Mastide kontrolli tulemus	43
8.2.	Lisa 2. Inverterite ja päikesepaneelide võrdlus	44
8.3.	Lisa 3. W.EG. Eesti OÜ veebipoe ostukorv	45
8.4.	Lisa 4. Keskpingel liitumise hinnastamise tabel	46
8.5.	Lisa 5. Optimaalne päikesepaneelide kaldenurk kuude lõikes	47
8.6.	Lisa 6. 20 kW nimivõimsuse ja lineaarse 43° paigutusega päikesepargi tootlikkus kuude lõikes	48
8.7.	Lisa 7. Kolme hinna-stsenaariumi kokkuvõte	49

SISSEJUHATUS

Kinnistu omanik avaldas töö autorile soovi rajada Vana-Lepiku talu kinnistule päikesepark. Kuna hetkel on lisaks taluhoovile seal umbes 3,5ha kasutamata põllumaad ning elektriline ühendus Elektrilevi võrguga on juba välja ehitatud, siis anti sisend uurida võimalusi rajada päikesepark ning ehitada välja elektrienergia võrku müümise võimekus.

Eesmärgiks seati leida kõige kiiremini rahaliselt ära tasuv päikesepargi lahendus, võttes arvesse päikesepargi ja sobiliku võrguühenduse materjalide kulusid, eeldatavat tootlikkust ning elektrienergia müügihinda.

Kinnistul paikneb ka suvila, kus aastaringselt sees ei elata. Seetõttu soovis kinnistu omanik, et soovitatav lõpptulemus oleks ei oleks „off-grid“ suunitlusega. See tähendab, et põhiline eesmärk, mida potentsiaalne ehitatav päikesepark täitma hakkab, on toodetud elektrienergia võrku müümine, mitte kohapeal tarbimine.

Käesoleva töö tulemus majanduslikult sobiva lahenduse väljaselgitamise korral on tööprojekt, millega saab kolmepoolse lepingu alusel ehitama hakata.

Eesmärgi saavutamisele seati piiranguks kinnistu omaniku poolt rahaline ülempiir 100 000 eurot. Kui töö käigus leitakse sobiv lahendus, mis vastab omaniku kriteeriumitele, siis sellele lahendusele sooviti ka tööprojekti, mis hõlmab endast elektriskeeme, asendiplaani, seadmete ja materjalide spetsifikatsiooni, objektiivset hinnapakumist ning tasuvusaega, arvestades töö valmimise ajal olevat elektrienergia turuhinda.

Püstitati hüpotees, et on võimalik välja ehitada 10 kW nimivõimsusega päikesepark, mis vastaks kinnistu omaniku poolt seatud kriteeriumitele.

Eesmärgi teostamise jaoks seati kaks alamülesannet: välja selgitada maksimaalne potentsiaalse päikesepargi suurus, võimsus ja muud näitajad ning väljaselgitatud lahenduse projekteerimine.

Eesmärkide saavutamise metoodika on algandmete kogumine, lähteandmete põhjal kalkulasioonide tegemine ja optimeerimine, kuni jõutakse eesmärgini või leitakse põhjus, mis see pole võimalik.

1. LÄHTEANDMED

1.1. Asukoht ja paiknemine

Käesolevas alampeatükis kirjeldatakse kavandatava päikesepargi asukohta ja paiknemist nii geograafilise ning päikeseenergia tootlikkuse kui ka looduslike piirangute aspektidest. Oluline on juba eskiisi etapis teada olulisemaid lähteandmeid, mis võiks projekti mõjutada. Näiteks kui palju planeeritav ala saab aastas päikesevalgust, kas puude varjud võivad mõjutada oodatavad tootlikkust, kas objektile on ligipääs ehitustehnikaga jne.

Vana-Lepiku talu on Harjumaal, Padise vallas, Hatu külas asuv kinnistu, kogupindalaga 8,5 hektarit. Kinnistu asub koordinaatidel 59°11'(N) ja 23°53'(E), PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM (edaspidi PVGIS) andmetel saab see piirkond aastas päikeseenergiat 1182 kWh/m² paneeli optimaalse (43°) kaldenurgaga, mis on Eesti mastaabis üks soodsamate tingimustega kohtadest. [1]



Joonis 1. Väljavõte Maa-ameti kaardirakendusest [2]

Päikesepargi jaoks kasutatav maa-ala on 1,9 hektarit. Metsatukkadega liigendatud ala kinnistu põhjaosas jäeti antud töös tasuvusarvutustes arvestamata, sest seal pole soodsad tingimused päikeseenergia kasutamise võtmes puude varjude tõttu.

Kasutatav maa-ala on puudega lähedalt piiratud vaid põhjaküljelt, tänu millele ei ole looduslikke takistusi nii hommiku- kui ka õhtupäikese kasutamiseks. Lõunapoolsel küljel pole lähedal samuti puid, mis soodustab talveperioodil madalamalt paistva päikesekiirguse kasutamist elektrienergia tootmiseks.

1.2. Olemasolev elektrivõrk

Et hakata kavandama potentsiaalset päikeseparki, on tarvis kaardistada olemasolev elektrivõrk. See on oluline, et määrata päikesepargi parameetrid maksimaalse võimsuse näol. Samuti on otstarbekas alustada just olemasoleva elektrivõrgu kaardistamisega, sest vastavalt Elektrilevi OÜ hinnakujunduse põhimõtetele võib ka kuni 15 kW võimsusega elektritootja toimimise jaoks vajaminevate võrguparandustööde maksumus jääda liituja kanda. On tarvis juba kavandamise faasis teada, kui suure võimsusega päikeseparki saab rajada, enne kui peab arvesse võtma ka võrgu ümberehituse maksumuse. [3]

Olemasoleva elektrivõrgu kaardistamise jaoks kasutas töö autor Elektrilevi kaardirakendust Trimble Webmap. See veebirakendus võimaldab veebipõhise kaardi peal tuvastada erinevaid Elektrilevi OÜ ja Enefit Connect AS-i hallatavaid elektrivõrgu elemente. See tööriist on äärmiselt oluline, sest selle abil on võimalik kindlaks määrata vajalikud lähteandmed, näiteks mast-alajaama nimivõimsus, liinikaitseseadmete rakendumisvoolud ning õhuliini tüübid. [4]

1.2.1. Õhuliin

Kinnistu olemasolevast tarbijaliitumispunktist Soo-Otsa mastalajaamani on mööda trassi 1450 meetrit. 860 m kaugusel alajaamast on õhuliinil 35 A sulavkaitsmetega liinikaitse mastilüliti. Õhuliin Soo-Otsa alajaamast kinnistuni on AMKA 3x70+95. Sellist tüüpi isoleeritud juhtmetega rippkeerdkaablit õhus paigaldusega saab püsivalt koormata kuni 159 ampriga. Need näitajad ei ole

otseses seoses kavandatava päikesepargi võimsusega, kuid viitavad sellele, et kohalik elektrivõrk ei ole viimase piirini koormatud vähemalt amprite aspektist. [5]

1.2.2. Alajaam

Mastalajaam on ühe 10/0,4kV trafoga, nimivõimsusega 50kVA. Fiidrikaitse käesoleva töö fookuses oleva kinnistu poole on 50A. Kaitset on võimalik suurendada kuni 100 amprini, ilma et oleks ületatud 70mm² alumiiniumkaabli koormatavuse piir 159A. Mast-alajaama kõik fiidrid on kasutuses, seega arvutuskäigus ei saa arvestada näiteks ühe õhuliini juurde ehitamisega ilma madalpingeseadet ümber ehitamata. [4]

Mast-alajaam on paigaldatud aastal 2007. Trafode projekteeritud eluiga on 20-30 aastat, praktikas tihti rohkem. Seetõttu projekti hinnastamise arvutuskäigus pole arvestatud sellega, et Elektrilevi oma võrku kuuluvat trafot lähema aja jooksul hakkaks omaalgatuslikult välja vahetama vanusest tingituna. See tähendab, et kui kõnealune trafo oleks olnud oma elutsükli lõpus, siis oleks olnud otstarbekas kinnistu omanikul saata Elektrilevi OÜ-le pakkumise sisuga, et trafo vahetada suurema vastu ning vahe ise tasuda. See oleks võimaldanud oluliselt väiksema kuluga suurendada alajaama läbilaskevõimet võrreldes oma kuludega trafo vahetamisega. [6]

1.2.3. Mastid

Mastid on 6-meetrised betoonmastid, mis on paigaldatud aastal 1970. 2016. aastal läbiviidud kontrolli käigus selgus, et üle poole [(17 masti 27-st, tabel kontrolli tulemustega on esitatud lisades (Lisa 1)) betoonmastidest näitab vananemise märke pealispinna murenemise näol. See tähendab, et kui Elektrilevi alustab lähitulevikus kohaliku elektrivõrgu rekonstrueerimisega mastide asendamise ja õhuliini väljavahetamise näol, siis on variant kinnistu omanikul pakkuda välja, et maksab vahe kinni, et Elektrilevi asendaks õhuliini suurema ristlõikega liini vastu. Eesmärk oleks väikesema kuluga suurendada võrgu läbilaskevõimet ning seeläbi suurendada ppargi potentsiaalset võimsust.

1.3. Lähteandmete vahekokkuvõte

Käesolevas peatükis selgus, et olemasolev elektrivõrk muutmata kujul võimaldab liituda suurusjärgus 50 kW võimsusega elektritootjal ilma võrguparandustöid teostamata. Võrgu elemendid on suures osas

tänapäevased, erandiks on amortiseerumise märke näitavad õhuliinimastid. Järgnevates peatükkides arvutuskäikude jaoks vajalikud algandmed on olemas olemasoleva elektrivõrgu tähtsamate näitajate näol.

Geograafilisest aspektist on tuleb piir ette oluliselt hiljem – maa-ala on piisavalt, asukoht ja paiknemine on soodne ja ligipääs on olemas.

2. SOBIVA LAHENDUSE VALIMINE

Kavandatava päikesepargi suuruse määramise metoodika on järgnev:

1. Arvutada päikesepargi maksimaalne võimsus antud lähteandmetega
2. Panna kokku esmane hinnapakumine ja tasuvusanalüüs
3. Tuvastada elektrivõrgu element, mille tõttu ei saa võimsust suurendada
4. Hinnastada antud elemendi välja vahetamiseks vajamineva materjali ja töö hind
5. Korrata punkte 1 – 4, kuni tuleb ette rahaline piir 100 000€

Antud metoodika valiti, et projekti maht ja maksumus tõuseks järk-järgult ning samas oleks kõik elektrivõrgu elemendid optimaalselt rakendatud. See tagab, et ilma mõjuva põhjusega ei võetaks ette mastaapseid töid elektrivõrgus, mis võivad tõsta kogu projekti maksumust hüppeliselt.

Lähteandmete põhjal saab järeldada, et olemasolevas elektrivõrgus võivad ilmned kaks kitsaskohta: õhuliini maksimaalne koormatavuse piir ning mast-alajaama võimsus (vaata peatükk 1.2 Olemasolev elektrivõrk). Lisaks on võimalus elektritootjal liituda ka keskpingel, mis praeguses kontekstis tähendaks 10 kV liini pikendamist kinnistuni, kuhu ehitada 10/0,4 kV alajaam.

Esmalt arvutati välja päikesepargi maksimaalne võimsus olemasoleva elektrivõrguga. Selle jaoks kasutati Simelect 4 programmi [7]. Simelect 4 on programm, mis võimaldab mitmeid arvutusi, käesolevas töös olid eriti olulised:

- Kaablitele lubatud koormusvoolud
- 3-faasilised lühisvoolud
- Pingekadu

Esmane arvutus Simelect 4 programmiga viidi läbi kasutades algandmetena eelnevalt välja toodud (alampeatükis 1.2 Olemasolev elektrivõrk) väärtuseid. Eesmärk oli suurendada järk-järgult mast-alajaama fiidrikaitse ja liini keskel oleva liinikaitse sulavkaitseid. Kuna sulavkaitsete hind antud projekti mastaabis on väike (3 tk NH000 gabariidiga 63 A sulavkaitset – 6,99 €) [8] ning nende

vahetamine elektritöödega tegelevale ettevõttele hõlmab töö autori hinnangul kahte töömeest, ühte korvtõstukit ja võtab aega orienteeruvalt 15 minutit ühe komplekti vahetamise kohta, siis arvutuskäik teostati eeldusel, et sulavkaitsed on vahetatud suurima rakendumisvooluga kaitsmete vastu, mis tagavad elektrivõrgu kaitstuse lühiste ja rikete eest.

Esmase arvutuse eesmärk on leida liini lõpu tootjaliitumispunkti peakaitse suurim võimalik nimivool. Selle kaudu on võimalik välja arvutada antud lahenduse juurde päikesepargi maksimaalne võimsus, kuna teada on liini tööpinge ja maksimaalne voolutugevus.

Projekti üldandmed

Võrgu ja trafo andmed

Võrgu parameetrid: ...

Võrgu nimipinge U_f [V]: 410

Näivtakistus [oomi]: 0,1291

☐ Sisesta näivtakistus käsitsi

☒ Vali trafo tüüpide hulgast

Trafo tüüp: 50 kVA 10.5/0.41 kV Yzn CTO

Trafo nimivool (sekundaar): 70 A

Trafo nimivool (primaar): 2,75 A

U_{kr} : 3,96%

Fiidrikaitse: gG63A

☐ Arvesta IB1-ga trafo dU arvutamisel

Liinilõikude andmed

	Liinilõigu pikkus [m]	Juhi mark	Vool liinis I_B	Kaitseseade liinilõigu lõpus	I_Z
1	850	AMKA3x70+95	39	gG50A	$I_{z1}=180$ A
2	600	AMKA3x70+95	16	-Valimata-	$I_{z2}=180$ A
3	0	-Vali juht-	0	-Valimata-	Teadmata
4	0	-Vali juht-	0	-Valimata-	Teadmata
5	0	-Vali juht-	0	-Valimata-	Teadmata
6	0	-Vali juht-	0	-Valimata-	Teadmata
7	0	-Vali juht-	0	-Valimata-	Teadmata
8	0	-Vali juht-	0	-Valimata-	Teadmata
9	0	-Vali juht-	0	-Valimata-	Teadmata
Σ 1450 m					
1f lühisvool liini lõpus [A]		255,51	C-tunnusjoonega kaitselüliti	C25 A	Reguleeritava fiidrikaitse max
3f lühisvool liini lõpus [A]		583,36	B-tunnusjoonega kaitselüliti	B50 A	lubatud lühisvoolukordsus 1m
Lühisvõimsus liini lõpus [kVA]		717,5	gG tüüpi sular	gG50A	
Pingekadu		5,3%			

-Fiidrikaitse rakendamine lühisvoolule 5 sekundi jooksul lähima kaitseseadmega kohani liinilõigus 1 on tagatud.

-Kaitse 1 rakendamine lühisvoolule 5 sekundi jooksul on tagatud.

Joonis 2 - Simelect 4 - olemasoleva õhuliiniga arvutus [7]

„Vool liinis“ ridade väärtused on sisestatud nii, nagu liini mõlemad tarbijad tarbiksid täisvõimsusel (liinilõigu 1 lõpus 25 A ja liinilõigu 2 lõpus 16 A) [4].

Arvutuskäigust selgub, et kui suurendada fiidrikaitse sulavkaitseid alajaamapoolses liini otsas 63 amprini ning liinikaitse sulavkaitseid 50 amprini, saame liini lõpus kasutada 3x25 A C-karakteristikuga või 3x50 A B-karakteristikuga kaitselüliti.

Nüüd kui on teada, et tootjaliitumispunkti peakaitse saab olla kuni 3x50 A, tuleb valida sobivad seadmed päikeseenergia tootmiseks. Need peavad vastama mitmetele kriteeriumitele nii võrguhaldaja kui ka projekteerimise poole pealt:

Nõuded inverterile:

- Vastavus Elektrilevi OÜ poolt heakskiidetud inverterite nimekirjale [9]
- Võimalik soetada ilma välismaalt tellimiseta
- Võimalikult hea hinna ja võimsuse suhe

Inverteri valimise jaoks võrreldi saadaolevaid tooteid (Lisa 2), eesmärgiga leida kõige soodsam inverter või inverterite kombinatsioon, mille koguvõimsus oleks võimalikult lähedal 20 kW-le $[400 \text{ (liinipinge, V)} * 50 \text{ (faasi vool, A)} = 20\,000 \text{ (W)} = 20 \text{ (kW)}]$.

Mitmete saadaolevate inverterite seast osutus valituks SUN2000-20KTL-M2 20 kW. Tähtsamad omadused selle toote juures on täpne sobivus võimsuse poolest ja hea ilmastikukindluse klass IP65. IP klass 65 tähendab, et seda toodet saab kasutada ilma lisakaitsemeetmeteta välispaigaldistes. [10] [11]

Lisaks inverterile on vaja ka päikesepaneeli.

Nõuded päikesepaneelidele

- Võimalik soetada ilma välismaalt tellimiseta
- Võimalikult hea hinna ja võimsuse suhe
- Võimalik kinnitada maapealsetele raamidele/alustele

Valituks osutus DAH SOLAR 460W FULL SCREEN paneel (Lisa 2). Selliseid paneele läheb vaja 43 tükki $(20\,000 \text{ (W - inverter)} / 460 \text{ (W - paneel)}) = 43,47$, et inverter oleks maksimaalselt koormatud.

Nüüd, kui on teada esmaste arvutustulemuste põhjal kavandatud päikesepargi seadmed, nende hinnad ja nimivõimsused (Lisa 2), saab kokku panna orienteeruva hinnapakkumise.

Lisaks nimetatud seadmetele on vaja ka päikesepaneelide maakinnitusi/maaraame. Praeguses etapis on vaja teada, mitu päikesepaneeli ühe raami peale saab kinnitada, teisisõnu mitme raami hinnaga esialgses tasuvusanalüüsis arvestama peab.

Maaraamiks valiti Mysolar OÜ veebipoest GMXXL-01 maaraam. Kuna praeguses mahus on vaja kinnitada 43 päikesepaneeli mõõtudega 1903 mm * 1134 mm, siis on vaja arvestada $114,00 * 43 = 4902,00 \text{ (€)}$ paneelikinnituste hinnaks. [12]

Tabel 1 - Hinnapakkumine 1

Artikkel	Hind (€)	Kogus (tk)	Hind kokku (€)
Inverter	2881,80	1	2881,80
Paneel	176,20	43	7567,60
Paneelide maakinnitused	114,00	43	4902,00
Lisaseadmed ja materjalid	1000,00	1	1000,00
			16351,40

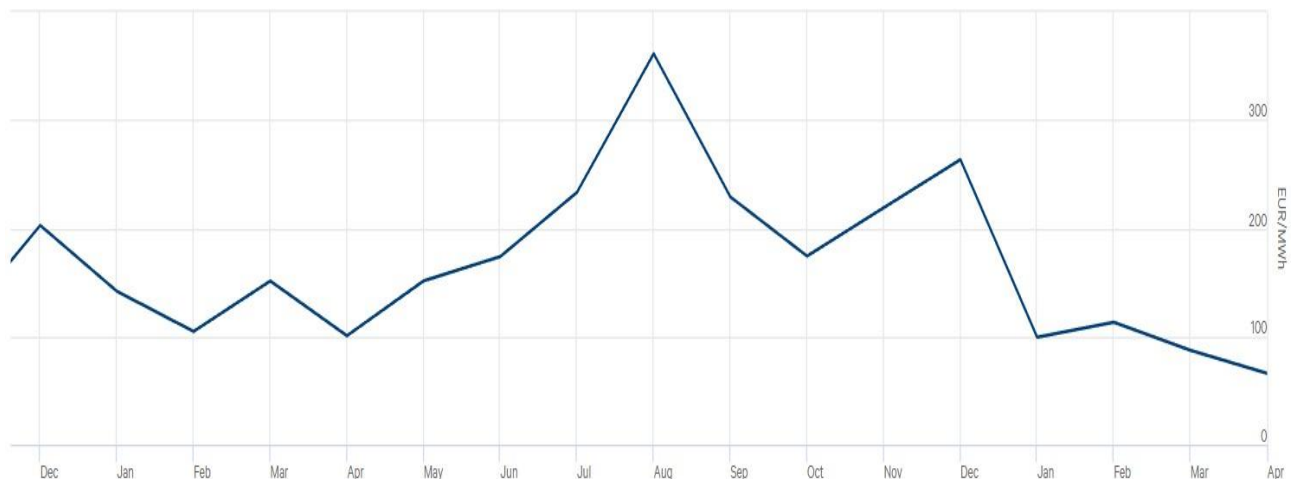
Rida „lisaseadmed ja materjalid“ hõlmab endas:

- Liitumiskilp ja selle ühendus- ja maandustarvikud
- Kahepoolset mõõtmist võimaldav elektriarvesti

Liitumiskilp ja sellega seonduvad materjalid ja elektriarvesti on hinnad on võetud W.EG. Eesti OÜ veebipoest. Näidis-ostukorvi vaata Lisa 3. Saadud hinda 860.61 € on ümardatud suuremaks, et hõlmata ka erinevaid kinnitusvahendeid ja muud, mida praeguses etapis pole vaja detailselt kajastada.

Käesolevas etapis on oluline hinnastamisel suurusjärg paika saada, detailsem seadmete ja materjalide loetelu esitatakse koos lõpliku projektiga

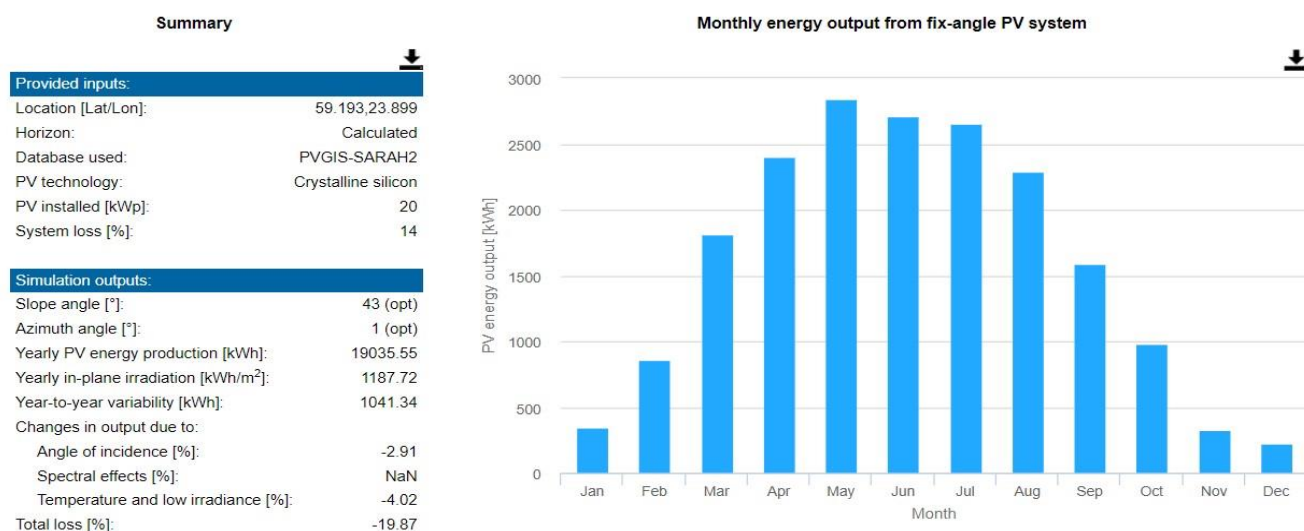
Kui hind on teada, on tarvis leida sellise päikesepargi tootlikkus. Selle jaoks on vaja teada objektiivset hinda, millega saab toodetud elektrienergiat võrku müüa. Et saaks erinevas mahus lahendusi omavahel, võeti aluseks, et elektrienergiat saab võrku müüa hinnaga 100 €/MWh ehk 0,10€/kWh. Lõpliku tasuvusanalüüsi jaoks arvestatakse läbi kolm eri stsenaariumi elektri turuhinna lõikes, sellest pikemalt peatükis 4. RISKIANALÜÜS.



Graafik 1 - Nordpooli elektri börsihind [13]

Graafikul 1 on kujutatud elektri börsihind Nordpool AS-i elektribörsil ajavahemikus 2021. aasta detsember kuni 2023. aasta aprill.

Tasuvuse arvutamiseks tuleb lisaks leida 20 kW nimivõimsusega päikesepargi tootlikkus. Selleks saab kasutada PVGIS rakendust, sisestades algandmetena päikesepargi nimivõimsuse. Rakendus leiab ise sisestatud laiuskraadile kõige optimaalsema kaldenurga ja asimuudi. Kuna käesolevas töös käsitletakse maapealset päikeseparki ja eeldatakse, et päikesepaneele saab paigaldada maakinnituse külge sobiva nurgaga, siis rakenduses lähteandmeid sisestades märgiti *Optimize slope and azimuth* lahter aktiivseks. Lähemalt päikesepaneelide paigutuse optimeerimisest peatükis 3. PÄIKESEPARGI TOOTLIKKUSE OPTIMEERIMINE. [1]



Graafik 2 - 20 kW nimivõimsusega päikesepargi tootlikkuse arvutamine [1]

Graafik 2 annab 20 kW nimivõimsusega päikesepargi aastaseks tootlikkuseks 19035,55 kW/h. Korrutades saadud tulemust aluseks võetud elektrienergia müügihinnaga saame aastaseks tootlikuseks 1903.55 €. See tähendab, et 20 kW nimivõimsusega päikesepark teenib investeeringu tagasi investeering jagatud tasuvus aasta kohta: $16351,40 / 1903,55 = 8,6$ (aastat).. Oluline on toonitada, et see pole lõplik tulemus, sest projekt praegus etapis on hinnastatud üldistades, samuti pole elektrienergia müügihind suure tõenäolisusega reaalses oludes saavutatav. [14]

Vahekokkuvõtte esimese lahenduse kohta:

- Nimivõimsus - 20 kW
- Paneelide arv - 43
- Hind - 16351,40 €
- Tasuvusaeg – 8,6 aastat

Seega, esmane lahendus on kavandatud, hinnastatud ja tasuvusanalüüs on tehtud. Seejärel tuleb leida elektrivõrgu element, mis takistas suuremat päikeseparki rajamast. Selleks suurendati järk-järgult Simelect 4 arvutusprogrammis sulavkaitsmete suurusi alajaama fiidri ees, liini keskel olevas mastilülitis ja liini lõpus kavandatavas tootjaliitumiskilbis. Selgus, et õhuliini faasijuhi ristlõikega 70 mm² jääb väikseks ning tuleb vahetada suurema ristlõikega õhuliini vastu. 120 mm² ristlõikega õhuliini kasutades saab tootjaliitumiskilbis kasutada 3x63 A B-karakteristikuga peakaitset.

Nüüd saab korrata uute lähteandmetega arvutusi, mis sooritati eelnevalt. Selgub, et kui vahetada välja 1200 meetrit õhuliini alajaamast kuni kinnistu piirini [2], saaks ikkagi kasutada sama suure nimivõimsusega inverterit ja sama arv paneele, sest täpselt 24 kW nimivõimsusega inverterit, mille külge ühendada 53 paneeli, käesoleva töö valmimise ajal saada ei olnud. See tähendab, et sellises mahus pole otstarbekas projekti ette võtta, sest kui õhuliini välja vahetamise materjali kulu on 13704 € [1200 (meetrit õhuliini) * 11,42 (120 mm² ristlõikega AMKA meetri hind)] [15] aga sellest hoolimata ei saa suurema võimsusega päikeseparki rajada.

Kuna selline lahendus ei tööta, siis arvutati läbi ka liitumine keskpingel. Kuna sellises mahus projekti lahutamatu osa on alajaama ja trafo(de) soetamine, siis tuleb kindlaks määrata nende maksumus. Enne trafode ja neid mahutava alajaamahoone valimist on vaja teada, kui suure võimsusega saab liituda keskpingel. Selle jaoks töödeldi läbi stsenaarium, kus lähima alajaamani saabuv keskpingeliin pikendataks kinnistu piirini.

Kinnistu piirini saaks rajada keskpinge õhuliini, mis saaks toite kinnistu piirist 1200 meetri kaugusel olevast 10/0,4 kV alajaamast. Seda toitev kaabel on AXCL-LT 3x50+16 10kV maakaabel. Arvutuskäigu jaoks on oluline, et see liin ei ole täies pikkuses maakaabel, vaid on ka paljasjuhtme õhuliin. Kõige väiksema ristlõikega liini osa mast-alajaamast seda toitva alajaamani on AS-25. Sellist juhti saab koormata kuni 135 A. Stsenaariumi läbi arvutamiseks koormame seda liini 30% ulatuses, eesmärgiga püsivalt mitte koormata liinilõiku maksimumi lähedal. [16]

See teeb voolutugevuseks 40,5A, 10 kV juures on seega näivvõimsuseks ~400 kVA [$10000 \text{ (V)} * 40,5 \text{ (A)} = 40500 \text{ (VA)} = 405 \text{ (kVA)}$]. Nüüd on teada, kui suure näivvõimsusega trafot/trafosid vaja läheb. Riigihangete registrist selgub, et Enefit Connect OÜ soetas Connecto Eesti AS käest 2 tk 250 kVA trafot 28 980,00 € eest. Need sobivad praeguse lahenduse läbi arvutamiseks, sest kahe trafoga on tänu seksioneerimisele parem töökindlus päikesepargil. Samuti pole trafod viimase piirini koormatud.

Kuna töö valmimise ajal viimase 12 kuu jooksul polnud ühtegi avalike tulemustega hanget sobiva komplektalajaama kohta, siis arvestatakse selle maksumuseks arvutuskäigu jaoks 10 000€.

Päikesepargi koguvõimsuseks arvestatakse stsenaariumi läbiarvutamiseks 400 kW-ga (400 kVA, kui $\cos \varphi = 1$). 400 kW tootmisvõimsuse saavutamiseks saab kasutada 20 komplekti varem arvatud 20 kW võimsusega päikesepaneelide ja inverteeri komplekte. Et mitte kasutada 20 eraldi liitumiskilpi, arvestati nende maksumus hinnastamisel välja. Kõik inverteerid oleks ühendatud otse alajaama madalpingelattidele läbi jadavinnaklülitite ning elektrienergia mõõtmine toimuks alles keskpinges ühe arvestiga läbi voolu- ja pingetrafode.

Sellise lahenduse orienteeruv maksumus on seega 369 008,00 €, tootlikkus aastas 38071 € ja investeeringu tagasiteenimise aeg 9,7 aastat (vaata Lisa 4). See ületab projektile seatud hinnalae mitmekordselt, seega sellises mahus arendust ei jätkata.

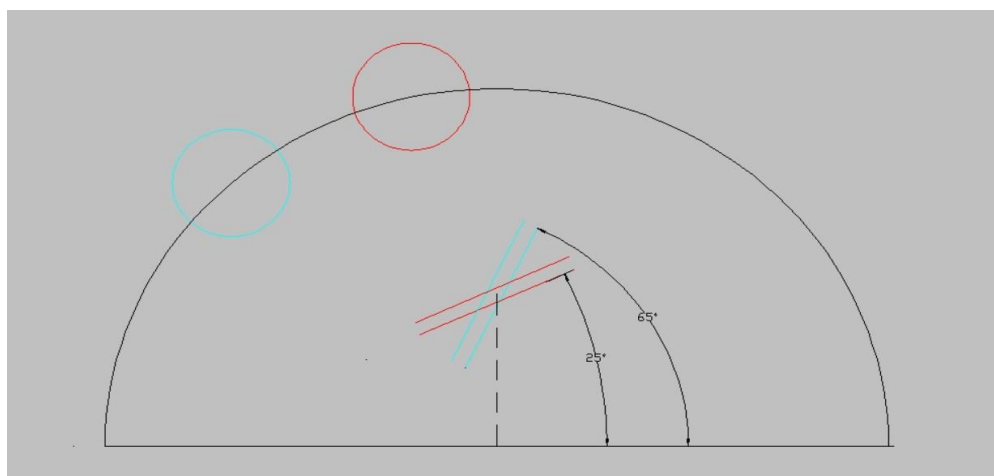
Seega ilmneb, et kõige otstarbekam on liituda olemasoleva elektrivõrguga ning võrguparandustööd piirduvad vaid sulavkaitsmete vahetamisega.

3. PÄIKESEPARGI TOOTLIKKUSE OPTIMEERIMINE

Enne lõpliku projektiga jätkamist tuleb töödelda läbi erinevad variandid, kuidas saaks optimeerida päikesepargi tootlikkust. Optimeerimise variandid on näiteks päikesepaneelidele muudetava nurgaga alustele kinnitamine. Sel viisil saaks seadistada päikesepaneelid suvel väiksema ja talvel suurema nurgaga. Potentsiaalselt saaks sellise meetodiga saavutada suurema tootlikkuse aasta lõikes. Samuti tuleb arvutada läbi variant, kus päikesepaneelide toodetud elektrienergia ei müüda võrku kohe tootmise hetkel, vaid salvestatakse akupakki ning müük toimub kõrgema elektri börsihinna ajal.

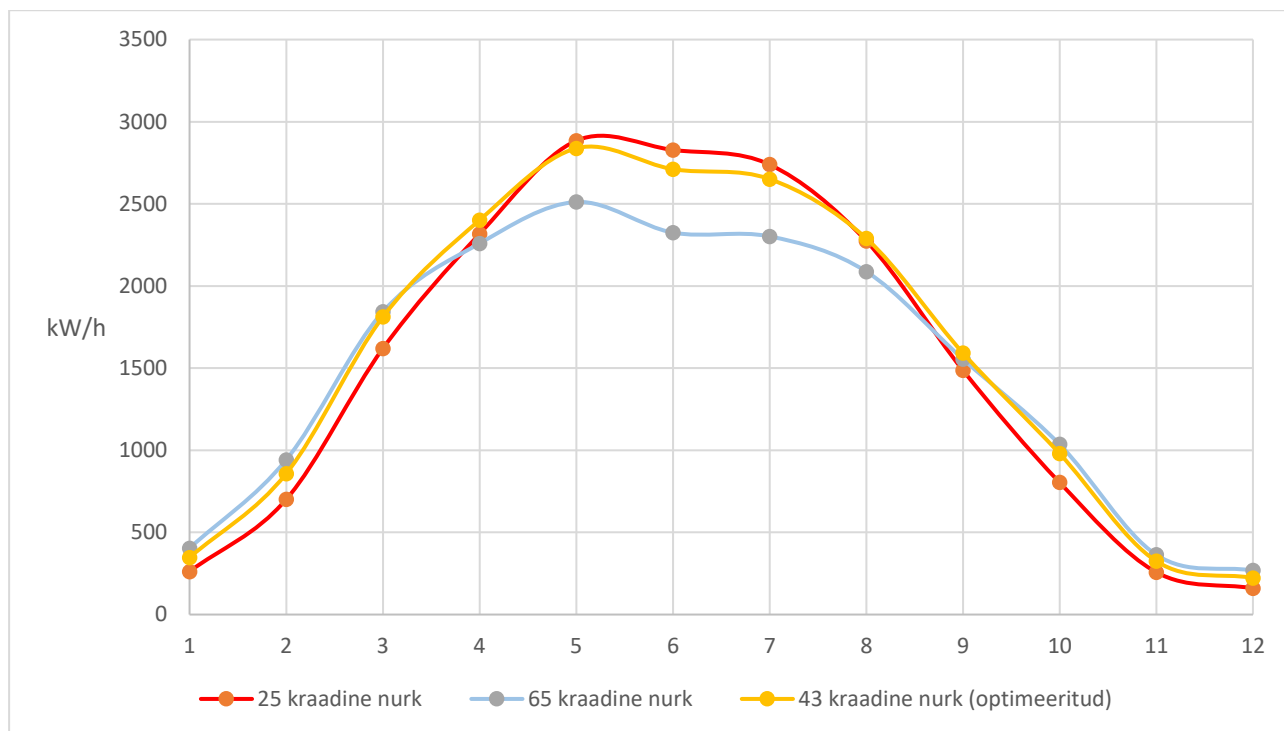
3.1. Muudetava nurgaga päikesepaneelide alused

Esimesena tuleb määratleda meetodika, kuidas hüpoteesi kontrollida. Selleks tuleb vähemalt kahe erineva nurgaga sooritada arvutused PVGIS [1] rakenduses. Algandmetesse sisestada manuaalselt nurk, mitte lasta rakendusel ise optimeerida. Seejärel sooritada sama arvutus uuesti, seekord teise nurgaga. Saadud graafikute tulemused kõrvutada ning saab valida, mis kuudel on otstarbekam kasutada üht päikesepaneeli nurka, millal teist. Kuna optimeerides määras rakendus nurgaks 43° , siis kaheks nurgaks, millega arvutused läbi viia, valiti esimese iteratsiooniga ekstreemsemad näited 25° „suviseks“ nurgaks ja 65° „talviseks“. Seda eesmärgil, et kui tõesti selline lahendus tõstab tootlikkust, siis tuleks vahe paremini esile.



Joonis 3 - Paneelide nurga muutmise põhimõtteskeem

Joonisel 3 on kujutatud paneelide nurga muutmise eskiis. Helesinisega on kujutatud „talvine“ asetus ja punasega „suvine“. Välja toodud on nurkade suurused, mida kasutati esimese iteratsiooni arvutuskäigus. Arvutuskäigust selgub, et selliste nurkadega paneele paigutades tuleb esile, et oktoobrist kuni maikuuni on suurema tootlikkusega 65° nurgaga paigutatud päikesepaneelid, maist oktoobrini 25°.



Graafik 3 - Muudetava nurgaga päikesepaneelide tootlikkus kuude lõikes [1]

Graafikult selgub, et talveperioodil on tõepoolest suurema kaldenurgaga päikesepaneelid tootlikumad, kui väiksema nurgaga. Sama kehtib ka suvekuudel väiksema nurgaga. Seejärel tuli katse-eksitus meetodil leida iga aastaaja jaoks optimaalne kaldenurk. Kuna 43° on optimeeritud aasta lõikes, juhul kui saab kasutada vaid ühte kaldenurka, võeti see kaldenurk keskmiseks ning arvutuskäiku korrati veel kaheksa nurgaga 6° sammude kaupa, kus neli on suurema nurgaga ja neli on väiksema nurgaga: 19°, 25°, 31°, 37°, (43°), 49° ja 55°, 61°, 67° ja 73°. Tulemustest selgub iga kuu jaoks kõige optimaalsem kaldenurk päikesepaneelidele. Kuna kinnistu omanik käib kinnistul vähemalt kord kuus, siis arvestati võimalusega iga kuu aja tagant kaldenurka muuta.

Kuu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tootlikkus (kW/h)	411	944	1857	2401	2893	2828	2739	2303	1594	1036	366	276
Kaldenurk (°)	73	67	55	43	31	25	25	37	55	61	73	73

Tabel 2 - Kuude lõikes optimaalne kaldenurk ja tootlikkus

Täismahus tabelit vaata Lisa 5. Iga kuu jaoks on välja toodud kõige suurema tootlikkusega päikesepaneelide kaldenurk. Et paremini mõista muudetava kaldenurgaga päikesepaneelide kasumlikkust, võrreldi kahte väärtust: aastane tootlikkus 43° kaldenurga juures ja kõikide kuude tootlikkuste summa kõige optimaalsema kaldenurga juures. Kuna vahe on ainult 3% $[(19648-19028) / 19648 * 100 \text{ \%}]$, mängib väga olulist rolli, kui suur on hinnavahe eelnevalt mainitud maakinnituste ja reguleeritavate kinnituste vahel. Seda eeldusel, et selliseid on üldse saadaval.

Lähemal uurimisel selgub, et selline toode on tõepoolest välja töötatud, kuid ühtegi kohalikku edasimüüjat käesoleva töö valmimise ajal ei olnud. Vastava toote arendus ja ise valmistamine on teoreetiliselt võimalik, kuid pole käesoleva töö eesmärkide hulgas.

Samadel põhjustel jäeti kaalutlusest välja ümber püsttelje pööratavad motoriseeritud maakinnitused. Nende suurimad puudused on kõrge soetusmaksumus ning väiksem hooldusvälp võrreldes statsionaarse maakinnitusega. [17]

3.2. Akupakkide kasutamine

Teoreetiliselt on ka võimalik kasutada akupakki toodetud energia salvestamiseks ning müümiseks võrku kõrgema elektrienergia börsihinna ajal. Sellise variandi eelis on sama tootlikkusega suurem kasum, kuid puudused on: kõrge akupaki soetushind, distantsilt/automaatse juhtimise keerukus, vajadus kaitsta akupakki ilmastiku ja muude mõjude eest, akude mahutavuse vähenemine aja jooksul.

Illustreeriv näide kalkuleeriti läbi kasutades seadmetena Huawei LUNA 2000 seeria valmistooteid: 3 tk 5 kW/h akupakk kogumahtuvusega 15 kW/h ja aku juhtmoodulit. Soetushind nendel seadmetel kokku on suurusjärgus 11200 €. Esmase tasuvusarvutuse huvides vaadeldi stsenaariumit, kus akude komplekt laetakse aasta jooksul iga päev üks kord täis kõige madalama elektrienergia börsihinna ajal ning müüakse võrku kõige kõrgema hinna ajal. [10], [13], [18]

Tutvudes Nordpool AS-i börsihindade ajalooga ilmnes, et ööpäeva lõikes on elektrienergia börsihindade kõikumised madalad. Tihti kattub päevavalguse aeg kõrgema elektrienergia börsihinnaga. See tähendab, et ilma keerulise ja reaajas juhtimiseta ei ole otstarbekas kasutada akupakki elektrienergia salvestamise ja hiljem müümise meetodit. [18]

Sellise lahenduse võiks uuesti fookusesse võtta, kui kinnistul asuv suvila muutuks püsivaks elukohaks kellelegi ning akupakk hakkaks täitma muid ülesandeid, elektrivarustuse tagamine võrgukatkestuse korral näiteks.

3.3. Optimeerimise võimaluste vahekokkuvõte

Eelnevates alapeatükkides võeti vaatluse alla kaks päikesepargi tootlikkuse/tasuvuse võimalust. Muudetava kaldenurgaga paneelide maakinnitused langesid valikust välja, põhjus seisnes toote ebausaldusväärses saadavuses ja potentsiaalses kõrges hinnas. Akupaki kasutamine osutus ebamõistlikuks antud tingimustes elektrienergia börsihindade ööpäevase väikse varieerumise tõttu.

Nendel põhjustel selgus, et on kõige otstarbekam kasutada statsionaarseid maakinnitusi ning toodetud elektrienergia võrku edastada tootmise hetkel.

4. RISKIANALÜÜS

Enne detailsemat projekteerimist ja täpsemat tasuvusanalüüsi on oluline kaalutleda riske, mis võivad mõjutada planeeritud päikesepargi konstruktsiooni, hinda ja toimimist. Iga riskifaktori mõju tuleb hinnata projektile eraldi ja koos teistega. Tulemusena saab võtta vajadusel kasutusele meetmed nende vältimiseks või mõjude leevendamiseks

4.1. Pahatahtlik seadmete mõjutamine inimeste poolt

Teoreetiliselt on võimalus, et kavandatav päikesepark satub näiteks vandalismi ohvriks. Halvemal juhul selle tulemusena lõhutakse paneelid ja inverter, mis tähendab suuri kulutusi taasehitamiseks. Samuti mõjuks päikesepargile halvasti seadmete vargus.

Töö autori hinnangul on sellise stsenaariumi juhtumine ebatõenäoline. Olgugi, et kavandatavat päikeseparki on näha sealt mööduva pinnaskattega tee peal liikudes, on see liikleja jaoks tupiktänav, tänu raskesti läbistava maastikuga lõigule. Samuti paikneb sellel teelõigul vaid naaberkinnistu koos sealsete eluhoonetega. Läheduses asuvad teeviidad, mis suunavad Tänavjärve RMK puhkealale, suunavad piirkonda sattuvad inimesed mööda teisi teid. Seega on väga harv juhus, kui mitte-kohalik sinna tee peale satub, et üldse kavandatavat päikeseparki näha, seda väiksem tõenäolisus on, et see inimene juhtub olema pahatahtlik ning kuritegelike kalduvustega.



Joonis 4 - Riskianalüüsi skeem 1

Ülaltoodud skeemil on punase joone ja noolega tähistatud RMK Tānavjärve puhkealale suunavate teeviitade teekond. Sinisega on markeeritud kavandatava päikesepargi asukoht ning violetse viirutusega ala on raskesti läbistavate teeoludega lõik.

See tähendab, et võimalus, et kavandatav päikesepark satub vandalismi või varguse mõjude alla, on ebatõenäoline. Seega ei ole otstarbekas rajada sinna aedasid või muud tõkendeid, ega ka video- või muudsorti valveseadmeid. Kuna sellised lahendused tõstaksid investeeringu summat ja seega langetaksid tasuvust, aga juhtum, mille eest kaitsmiseks nad on loodud, hinnatakse äärmiselt ebatõenäoliseks.

4.2. Elektrienergia börsihinna madalaks muutumine

Tootlikkusele mõjuks väga halvasti, kui elektrienergia börsihind muutuks liiga madalaks. Viimaste kalkulatsioonide kohaselt on kavandatava päikesepargi tasuvusaeg alla 9 aasta, kasutades tasuvusarvutuses elektrienergia müügihinna 0,10 €/kWh. Kõige halvemaks stsenaariumiks hinnati, kui hinnad peaks püsivalt jääma viimase 12 kuu kõige madalamale tasemele (nädalapõhise arvestusega).



Graafik 4 - Viimase 12 kuu elektrienergia börsihind, nädala vaade [18]

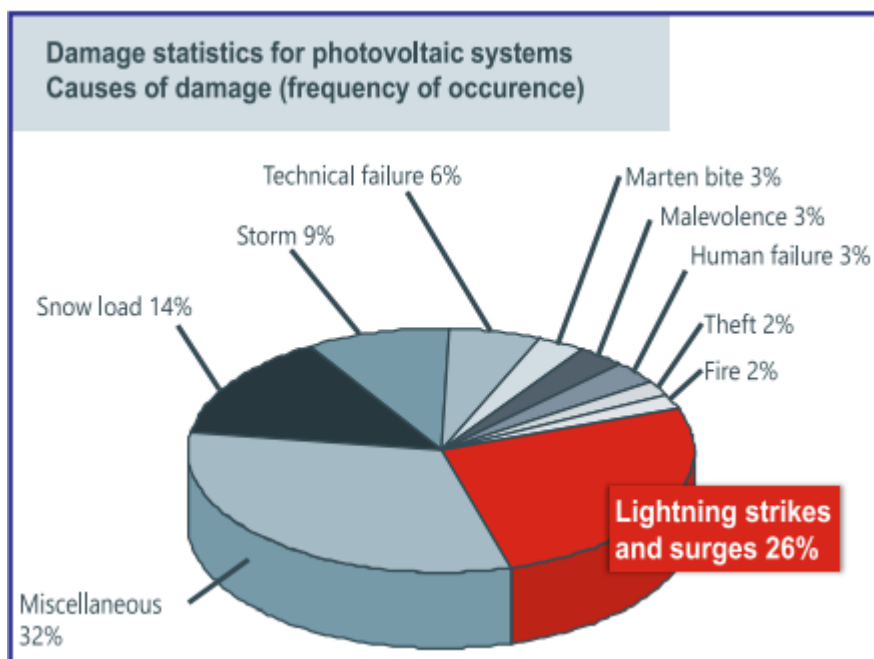
Ülaltoodud graafikult selgub, et madalaima elektrienergia börsihinnaga nädal oli 2022. aasta viimane nädal, kus keskmine hind oli 64,6 €/MWh ehk 0,06 €/kWh. See ei mängi suurt rolli tasuvuskalkulatsioonis, sest detsembrikuus toodaks kavandatud päikesepark vaid 1,17 % aastasest kogutoodangust $[223 \text{ (kWh)} / 19028 \text{ (kWh)} * 100 \text{ \%}]$. Olulisem on kaalutleda stsenaariumi, kus kõrgema tootlikkusega kuudel (märts – august toodavad iga kuu üle 10% aastasest kogutootlikusest) (vaata Lisa 6).

Kalkuleeriti läbi teine stsenaarium, mis mõju oleks aastasele tootlikkusele, kui märtsist augusti lõpuni oleks püsivalt kõige madalam selles vahemikus 2022. aastal olnud elektrienergia börsihind:

Kuna perioodi kõige madalam hind oli kõrgem (0,14 €/kWh > 0,10 €/kWh), kui esialgse kalkulatsiooni aluseks võetud hind, siis vähemalt ajaloolistele andmetele tuginedes avaldab selline stsenaarium tootlikkusele vaid positiivset mõju.

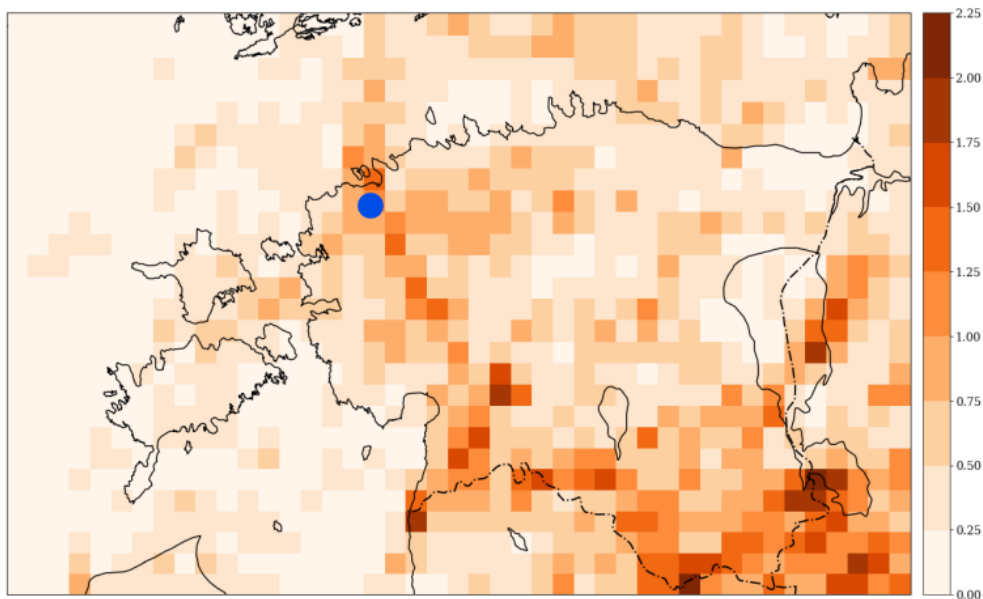
4.3. Loodusliku päritoluga rikked

Loodusliku päritoluga rikkeid võivad kaasa tuua mitmed sündmused. Tihti on nende tagajärjeks paigaldise täielik hävimine, seetõttu tuleb nende mõjud läbi kaalutleda ja vajadusel vastavad meetmed kasutusele võtta. Kavandatavale päikesepargile võivad mõju osutada näiteks äikselöök, torm ja üleujutused.



Graafik 5 - Levinumad päikeseparkide kahjude põhjused [19]

Ülaltoodud graafikult kajastub, et peale kategoriseerimata rikete (*miscellaneous*) on kõige levinum kahjutekitaja pikselöök. Sellele tuleb tähelepanu pöörata, kuna kavandatav päikesepark on Eesti mastaabis võrdlemisi äikse-rohke asukohaga, 2021. aastal keskmiselt 1,25 pilv-maa äikselööki ruutkilomeetri kohta. [20]



Graafik 6 - Põlv-maa äikselööki sagedus ruutkilomeetri kohta (2021) [20]

Graafikul on sinisega märgitud orienteeruv päikesepargi asukoht. Kuna äikse esinemise tõenäolisus piirkonnas on märkimisväärne ning selle potentsiaalne kahju on suur, tuleb võtta kasutusele meetodid selle mõjude leevendamiseks. Kõige lihtsam viis on rajada piksekaitse, piksekaitsevarraste ning maanduse näol.

Selleks tuleb paigaldada vastav piksekaitsepaigaldis. See on oluline, sest objektiivsel hinnangul on sellise sündmuse tõenäolisus elektripaigaldise eluea jooksul vältimatu ja tulemus suure tõenäolisusega paigaldise oluliste osade täielik häving, samuti on vajalike materjalide saadavus jaekliendile on kasin, siis see teenus ostetakse sisse alltöövõtu raames. Selle jaoks eraldatakse orienteeruvalt 1000 €.

Samuti võib katastroofiliselt mõjuda üleujutus, nagu juhtus Lõuna-Eestis 2023. aasta kevadel. Artiklist selgub, et suurvesi sattus päikesepargi territooriumile ning kattis osaliselt maa peale paigutatud päikesepaneele. Ei selgu, mis mõju antud sündmus päikesepargile ja selle osadele avaldas. [21]

Sellest hoolimata tuleb analüüsida, kas sellise sündmuse kordumine antud päikesepargi kavandamisel on midagi, millega arvestada ning vajadusel meetmeid selle vastu kaitsmiseks kasutusele võtta. Olgugi, et kinnistu asub Läänemaa Suursoo ja Vihterpalu jõe vahel, siis Keskkonnaministeeriumi Maa-ameti üleujutuste kaardirakenduselt ei ilmne, et ala oleks üleujutusala riskipiirkonnas. [22]

4.4. Saadaolevad komplekt-lahendused

Enne päikesepargi projekteerimise alustamist on oluline kontrollida, kas kavandatud mastaabiga päikesepargile on olemas „võtmed kätte“ lahendus. Kuna praeguses etapis on teada, kui millise nimivõimsusega (20 kW) päikesepark antud tingimustel sobib ning kui palju see orienteeruvalt maksma läheb kinnistu omanikule (16351,40 €), siis tuleb tutvuda erinevate saadaolevate pakkumistega. Püstitatud hüpoteesi kohaselt on otstarbekam ise kavandatud päikesepark ehitada, kui tellida komplekt-lahendus alltöövõtjalt.

Et võrrelda kavandatud päikeseparki saadaolevate pakkumistega, siis võrreldavaks näitajaks kasutati €/W. Kavandatud päikesepargi puhul on selline näitaja $0.81 [16351,40 \text{ (€)} / 20000 \text{ (W)}]$. Mida väiksem see näitaja on, seda kasumlikum.

- Pakkumine 1: Solar4you OÜ - näitaja 1,35 (15900 € - 12000 W) [23]
- Pakkumine 2: Sunelekter OÜ - näitaja 0,98 (19608 € - 20000 W) [24]
- Pakkumine 3*: E-Systems OÜ – näitaja 1,03 (10320 € - 10000 W) [25]

Märkus: E-Systems OÜ näidispakkumine on indikatiivse iseloomuga, sest käesoleva töö valmimise lõpus veebileht enam ei tööta, kuid pakkumise andmed said salvestatud 22. veebruar 2023 seisuga.

Saadaolevad pakkumised sarnases võimsusklassis on kallimad, kui kavandatav päikesepark, seega on otstarbekas jätkata.

4.5. Riskianalüüsi vahekokkuvõte

Eelnevatest alapeatükkidest selgub, et erinevatest riskifaktoritest ainuke, millega arvestada, on äike. Selle vastu meetmetest pikemalt 5. PÄIKESEPARGI JA VÕRGULIITUMISE PROJEKTEERIMINE. Inimtekkelised kahjustused, elektrienergia börsihinna langemised ning üleujutused antud kontekstis on kaduvväikse tõenäolisusega ning nende vastu meetmeid kasutusele ei võeta. Samuti on kavandatav päikesepark soodsam ise rajada, võrreldes saadaolevate komplekt-lahenduste pakkumistega.

5. PÄIKESEPARGI JA VÕRGULIITUMISE PROJEKT

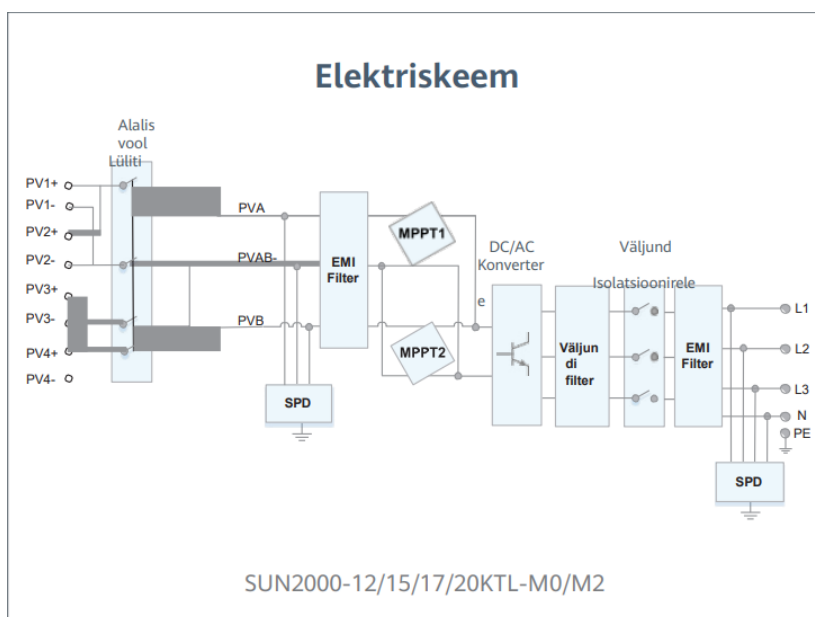
Esmane tasuvus- ja riskianalüüs näitavad, et projekt on jätkusuutlik. Seega saab jätkata kavandatud päikesepargi ja võrguliitumise projekteerimisega. Projekt on jaotatud järgnevateks osadeks:

- Päikesepargi eelprojekt (elektriosa põhimõtteskeem, asendiplaan)
- Võrguliitumine ja tööd Elektrilevi haldusalas olevas elektrivõrgus
- Materjalide ja seadmete spetsifikatsioon ja töömahtude tabel
- Hinnapakkumine ja tasuvuskalkulatsioon

5.1. Päikesepargi eelprojekt

5.1.1. Elektriskeemi põhimõtteskeem

Kindlaks on vaja määrata põhilised seadmed, nende elektrilised seosed ning paigutus. Samuti lisapaigaldised maanduspaigaldis, piksekaitserajatis. Esimeses etapis tuleb kindlaks määrata alalisvoolu pool, ehk kuidas päikesepaneelid on ühenduses inverteriga.



Joonis 5 - SUN2000 seeria inverteri elektriskeem [26]

Ülaltoodud jooniselt selgub, et päikesepaneele saab inverteri külge ühendada kuni neljas grupis. Tehniliste andmete tabel sätestab, et inverteri normaalseks talituseks on vaja toidet alalispingel kuni 600 V. Maksimaalne vool ühe terminali kohta on 22 A. Kuna kasutatakse DHT-M60X10/FS paneele, mille tööpingeks maksimaalsel koormusel on 52,8 V, maksimaalseks pingeks paneeli kohta 1000 V ning voolutugevuseks maksimaalsel koormusel 8,71 A, moodustatakse iga terminali külge 11 järjestikku ühendatud ahelat. Kuna paneelide arvutuslik kogus on 43, siis viimase terminali külge jääb 10 paneeli. Paneelid kasutavad valdkonnas standardset MC4 pistikutüüpi.[26], [27]

Terminalides pinge maksimumtalitusel on seega 580,8 V ja vool 8,1A (viimasel terminalil 528 V).

Kuna päikesepargi paigutusega märkimisväärset kasu toovaid meetodeid ei tuvastatud, siis paigaldatakse kõik 43 paneeli lineaarselt suunaga lõunasse. Ühe paneeli laius on 1134 mm, seega paneelide rivi laius on 24,4 meetrit. Maaraamile saab paigutada kaks paneeli üksteise kohale. [12]

Inverteri jaoks paigaldatakse liitumiskilbi kõrvale teine analoogne Harju Elekter AS-i HETR seeria kilp. Vahelduvvooluühendus tehakse läbi kilbi küljeseinas oleva läbiviigu. Vahelduvvooluahelas liitumiskilbi ja inverteri vahel on voolutugevus orienteeruvalt 50 A (vaata arvutuskäiku leheküljel 12), kasutatakse MKEM 25 isoleeritud vaskjuhet 25 mm² ristlõikega ühe faasi kohta. Mõlemale kilbile rajatakse eraldiseisev maandus ja potentsiaaliühtlustusring. [5], [28].

5.1.2. Asendiplaan

Kuna päikesepaneelide arv, suund ja paigaldusviis on välja selgitatud, saab need asendiplaanile paika seada. Paigaldatakse lineaarselt, kahe üksteise kohal oleva paneeliga. Kaablite paigalduse huvides tuleks liitumiskilp (koos inverteri kilbiga ja paneelide riviga) paigaldada võimalikult lähedale olemasolevale õhuliinile sealjuures sattumata, mis on kuni 1 kV õhuliini puhul 2 meetrit mõlemale poole piki liini telge. Samuti tuleks võimalusel kaugemale paigutada pinnaskattega teest, mis võib kuiva ja tuulise ilmaga kanda päikesepaneelidele tolmu.

Kõiki neid aspekte arvesse võttes paigutatakse seadmed järgnevalt:



Joonis 6 – Asendiplaan

Asendiplaani seletuseks: violetne joon on kinnistu piir, oranž on pinnaskattega tee piir, jäme roheline on olemasolev õhuliin, peenike roheline on metsa piir, sinine on kraav ning kollane on päikesepaneelide paigutus koos asjakohaste mõõtmetega.

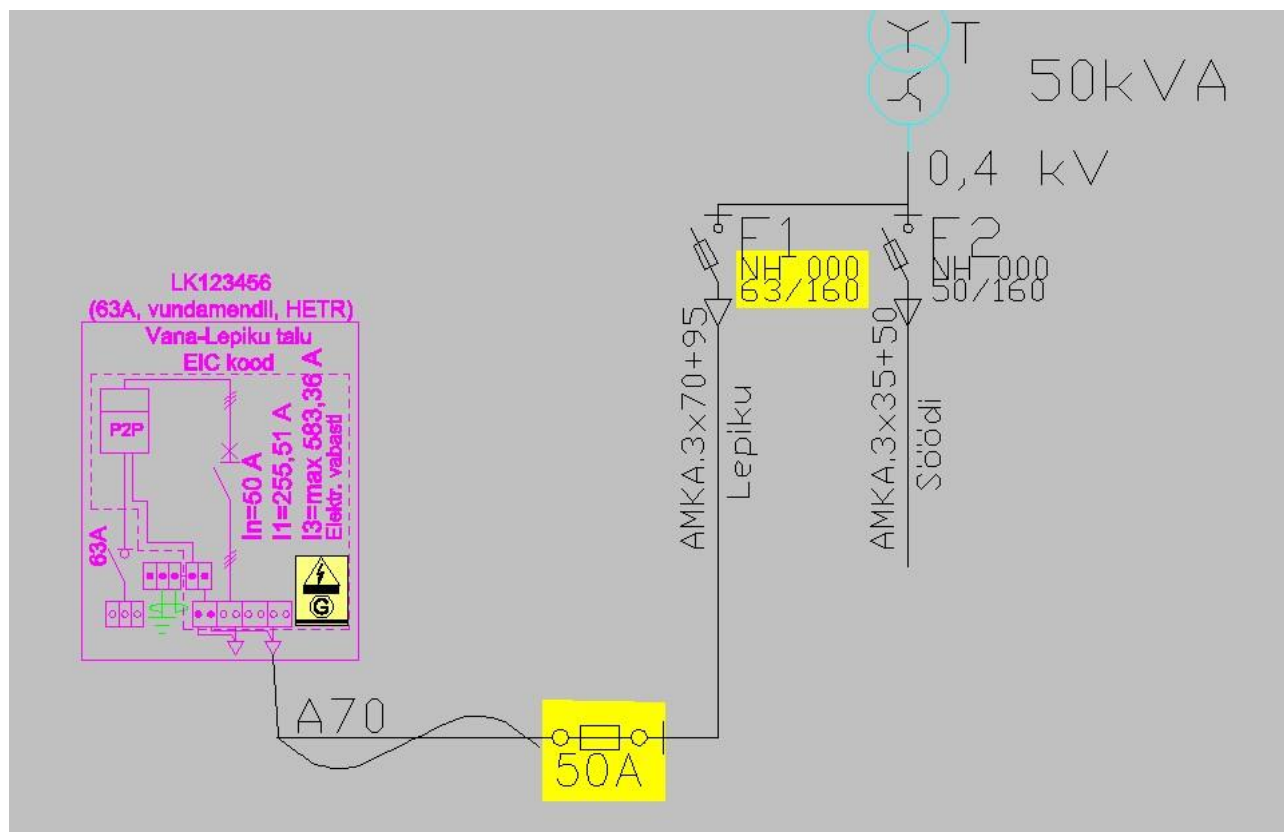
8 meetrit on piisav kaugus, et mitte sattuda elektripaigaldisega liinikaitsevööndisse ning piisavalt lähedal, et maakaabli paigaldus (liitumiskilbist õhuliini mastini) ei oleks liiga suure töömahuga.

5.2. Võrguliitumine ja tööd Elektrilevi võrgus

Peatükis 2 SOBIVA LAHENDUSE VALIMINE selgitati välja, et liitumiskilbi peakaitse on B-tunnusjoonega 3x50 A ning vahetatakse välja liinikaitse ja fiidrikaitse sulavkaitsed. Enefit Connecti partnerite portaali juhenditest partneritele leiab tootjaliitumiskilbi tüüpskeemi. Ühendus liitumiskilbi ja õhuliini masti vahel teostatakse maakaabliga AXPk 4G35. Koguseliselt on seda vaja 8 meetrit trassi jaoks, 6 meetrit õhuliinile paigaldamiseks ja 2 + 2 meetrit otsamuhvide tegemiseks. [5], [29], [30]

Arvesti valiku juhendi kohaselt valiti elektriarvestiks E360. See arvesti võimaldab kahepoolset (tarbimise ja tootmise lugemine) mõõtmist ning on kaugloetav. Samuti sobib see paigaldamiseks liitumiskilpidesse peakaitsmega kuni 100 A. [30]

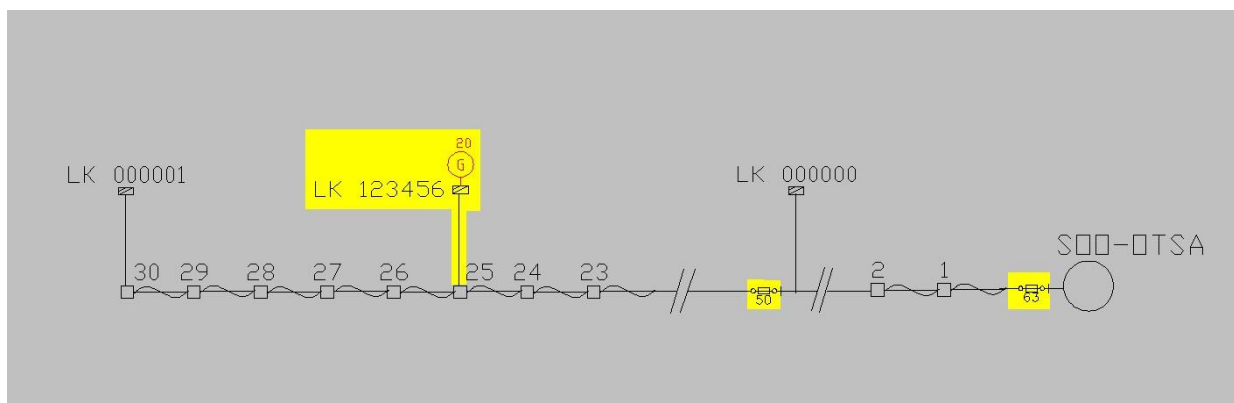
Seega elektriskeem vahelduvvoolu poolel on järgnev:



Joonis 7 – Elektriskeem (lihtsustatud) [Lisa 8]

Joonisel on violetsega kujutatud uued osad elektrivõrgus, kollasega muudatused. LK number ja EIC kood on indikatiivsed, sest reaalselt lähteülesannet pole väljastatud antud tööle.

Elektriskeemi lahutamatu osa sellise töö puhul on ka alajaama piirkonnaskeemiparandus:



Joonis 8 - Alajaama piirkonnaskeemi parandus [Lisa 9]

Selgituseks: kollasega on märgitud võrgus planeeritud tööd. LK-de numbrid on indikatiivsed.

Nüüd, kui on teada milliseid töid käesoleva projekti raames on plaanis ette võtta, saab koostada töömahtude tabeli. Selle funktsioon on kõik eraldiseisvad tööde etapid lahti kirjutada, et saaks objektiivsemalt koostada hinnapakkumist ja seeläbi sooritada ka tasuvuskalkulatsiooni.

Tabel 3 - Töömahtude tabel

Töö nimetus (tärn tähistab, et tööd peab sooritama võrguettevõtja töötaja)	Proгноositud ajakulu tundides
Päikesepaneeli maaraamade paigaldus	22
Alalisvooluühendused	5
Inverteri ja inverteri kilbi paigaldus	2
Liitumiskilbi paigaldus*	2
Vahelduvvoolukaabli paigaldus koos otsamuhvidega*	4
Sulavkaitsete vahetamine*	2
Muud ettenägematud tööd	4

Töömahtude tabelist selgub, et ise saab sooritada suurema osa vajalikest töödest. Vaid tööd Elektrilevi haldusalasse kuuluvast võrgus on autori hinnangul mõistlik lasta sooritada võrguettevõtja töötajal, seda nii tööohutusalaste teadmiste, kogemuste, õiguste ja pädevuste tõttu.

5.3. Materjalide ja seadmete spetsifikatsioon

Järgneb tabel, kus on välja toodud kasutusele võetavad olulisemad materjalid, seadmed ja nende kogused:

Materjal / seade	Kogus (ühik)
Harju Elekter ühekohaline liitumiskilp + sokkel	1
Elektriarvesti	1
Harju Elekter tühi kilp inverterile	1
Maanduspaigaldis + potentsiaaliühtlustusring	15 m
MKEM 35 isoleeritud juhe	6 m
Piksekaitsevarras	10 m
NH000 50 A sulavkaitsed	3 tk
NH000 63 A sulavkaitsed	3 tk
AXPK 4G35 maakaabel	18 m
Kaablikaitsekõri 110 mm 450 N	9 m
Masti tarvikud	1 komplekt

5.4. Hinnapakkumine ja tasuvuskalkulatsioon

Nüüd, kui on teada materjalide ja seadmete kogused, paika on pandud töömahtude tabel, on teada, millised tööd suunatakse alltöövõtjatele (tööd Elektrilevi võrgus ning piksekaitse paigaldamine), saab koostada lõpliku hinnapakkumise.

Tabel 4 – Hinnapakkumine [10], [26], [28], [31]

Alltoodud tabelis on esitatud lõplik hinnapakkumine.

Hinnapakkumine			
Toode	hind	kogus	Summa
Päikesepaneel	176.2	43	7576.60
Maaraam	114	22	2508.00
Inverter	2881.8	1	2881.81
Inverteri kilp	135.88	1	135.88
Liitumiskilp	385.55	1	385.55
Kilbi sokkel	385.55	2	771.10
Elektriarvesti	259.23	1	259.23
AV juhtmed	3.75	100	375.00
VV kaabel	2.73	18	49.14
Muud vahendid	500	1	500.00
Alltöövõtt			
Piksekaitse paigaldus	1000	1	1000.00
Tööd Elektrilevi võrgus	1000	1	1000.00

Alltöövõtt	hind	kogus	Summa
Elektripaigaldise audit	250	1	250.00
Ettenägematud kulutused	2000	1	2000.00
	Summa kokku:		19692.31

Tasuvuskalkulatsioonis arvestati kolme võimalusega

1. Elektrienergia börsihind on jäädavalt madal
2. Elektrienergia börsihind on jäädavalt kõrge
3. Elektrienergia börsihind langeb kokku 2022. aasta hinnaga

Madalaks hinnaks loeti 0,05 €/kWh, kõrgeks 30 €/kWh ning 2022. aasta hinnad on alltoodud tabelis:

Tabel 5 - Nordpool elektrienergia börsihinnad 2022. aastal [13]

Aasta ja kuu	Hind, €/MWh
22 - Dec	263,45
22 - Nov	218,99
22 - Oct	174,29
22 - Sep	228,93
22 - Aug	361,35
22 - Jul	233,21
22 - Jun	173,83
22 - May	151,37

22 - Apr	100,66
Aasta ja kuu	Hind, €/MWh
22 - Mar	151,23
22 - Feb	104,63
22 - Jan	141,74

Selgub, et kõige pessimistlikuma prognoosiga on käesoleva projekti aastane tootlikkus 951,40 € aastas, mis teeb tasuvusajaks üle 20 aasta, optimistliku prognoosiga 4,1 aastat ning 2022. aasta hindade kordumisega 4,9 aastat. Oluline on toonitada, et ainult ajalooliste andmete põhjal ei ole soovituslik tulevikuplaane teha.

6. TÖÖ AUTORI HINNANG PROJEKTILE

Selgus, et algselt kavandatud 10 kW-sest päikesepargist saab kaks korda võimsama rajada, mis ikkagi vastab käesolevale tööle sisendi andnud kinnistu omaniku kriteeriumitele. Olgugi, et numbrilised näitajad soosivad antud projektiga jätkamist ja projekteeritu elluviimist, soovitab töö autor tungivalt läbi kaaluda, kas projektiga soovitakse jätkata.

Kui kinnistu omanik on käesoleva töö ja selle tulemustega tutvunud ning soovib jätkata projektiga, siis oleks otstarbekas lähemalt tutvuda erinevate soodustuste, toetuste ja muude võimalustega vähendada omainvesteeringu suurust.

Samuti tuleb kriitilise pilguga üle vaadata elektrienergia börsihinna prognoos, sest see mõjutab suures osas projekti kasumlikkust. Seda selles võtmes, et näiteks lähemalt uurida, millised poliitilised sündmused võivad mõjutada elektrienergia börsihinda.

7. KOKKUVÕTE

Käesoleva töö sisendiks antud ülesanne sai lahendatud. Projekteeritud on päikesepark koos elektrienergia võrku müümise võimekusega. Püstitatud eesmärk sai täidetud, leitud on kõige optimaalsem lahendus, mis vastab kinnistu omaniku poolt seatud kriteeriumitele. Leitud on sobivad seadmed, materjalid ja vahendid, et projektiga vajadusel jätkata.

Koostatud on riskianalüüs, mis käsitleb mitmeid erinevaid stsenaariume. Suurimat mõju avaldavate faktoritega on arvestatud ning vajalikud meetmed on projekti sisse viidud.

Valminud on tööprojekt, mille alusel saab vajalikud seadmed ja materjalid soetada, kaasata vajalikud alltöövõtjad ning asuda projekti ellu viima.

Püstitatud hüpotees osutus tõseks – antud tingimustel on võimalik ehitada isegi kaks korda võimsam, kui algselt kavandatud. Alamülesanded said samuti täidetud – maksimaalse võimaliku suurusega päikesepark on kalkuleeritud ning sellele vastav projekt on valmis. Olgugi, et on riske, on nendega arvestatud ja vajadusel meetmed kasutusele võetud. Ühtegi projekti elluviimist välistavat asjaolu ei selgunud.

Ettepanek töö tellijaks olnud kinnistu omanikule – tutvuda käesoleva tööga ning võtta vastu kalkuleeritud otsus, kas jätkata projektiga.

8. SUMMARY

The task given as input to this project was solved. The solar park has been designed with the ability to sell electricity to the grid. The set goal was met, the most optimal solution was found that meets the criteria set by the property owner. Suitable equipment and materials have been found to continue with the project if necessary.

A risk analysis has been prepared that deals with several different scenarios. The factors that have the greatest impact have been taken into account and the necessary measures have been introduced into the project.

The work project has been completed, on the basis of which the necessary equipment and materials can be acquired, the necessary subcontractors can be involved, and the project can be implemented.

The raised hypothesis turned out to be true - under the given conditions, it is possible to build even twice as powerful as originally planned. The subtasks were also completed - the solar park of the maximum possible size has been calculated and the corresponding project is ready. Although there are risks, they have been taken into account and, if necessary, measures have been introduced. No circumstances preventing the implementation of the project were revealed.

Proposal for the owner of the property that ordered the work - to get acquainted with this work and make a calculated decision whether to continue with the project.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] European Commission, Joint Research Centre, “JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.” https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (vaadatud Aprill. 29, 2023).
- [2] “X-GIS(2) - Maainfo.” https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis?app_id=UU82A&user_id=at&LANG=1&WIDTH=1236&HEIGHT=754&zlevel=8,494848.89602663,6561946.5980529&setlegend=UU82_FLOOD=1,FUUFLOOD82_300=1,FUUFLOOD82_MAX=0,SHYBR_ALUS01_82A=0,SHYBR_ALUS13_82A=1 (vaadatud Aprill. 30, 2023).
- [3] Elektrilevi OÜ, “Elektritootja liitumine - Elektrilevi.” <https://www.elektrilevi.ee/elektritootja-liitumine> (vaadatud Aprill. 29, 2023).
- [4] Eesti Energia AS, “Infosüsteemid partnerile.” <https://www.energia.ee/partnerile/infosusteemid-partnerile> (vaadatud Aprill. 29, 2023).
- [5] W.EG. Eesti OÜ, “Kaablite koormatavuse tabel - W.EG. Eesti.” <https://www.weg.ee/vajalik-info-teenused> (vaadatud Aprill. 29, 2023).
- [6] P. Raesaar, “ELEKTRIVÕRKUDE ERIKURSUS”.
- [7] Simelect OÜ, “Simelect 4.2.” <https://www.simelect.ee/> (vaadatud Aprill. 29, 2023).
- [8] W.EG. Eesti OÜ, “WT-00C/GG 63A SULAVKAITSE 500V NH000.” <https://www.weg.ee/wt-00c-gg-63a-sulavkaitse-500v-nh000-118773> (vaadatud Aprill. 29, 2023).
- [9] “vorguinverterite_nimekiri.pdf.” Vaadatud: Aprill. 29, 2023. [Online]. Available: https://www.elektrilevi.ee/-/doc/8644141/liitumised/vaiketootjale/failid/vorguinverterite_nimekiri.pdf
- [10] A. K. OÜ, “ABC Kliima.” <https://www.abckliima.ee> (vaadatud Aprill. 29, 2023).
- [11] “IP klassifikatsioonid.pdf.” Vaadatud: Aprill. 29, 2023. [Online]. Available: <https://data.oomipood.ee/failid/IP%20klassifikatsioonid.pdf>
- [12] “MAARAAMID XXL,” *MySolar - Päikesepaneelid*. <https://mysolar.ee/product/maaraamid/> (vaadatud Aprill. 30, 2023).
- [13] Nord Pool AS, “Nordpool yearly chart.” <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/ALL1/Hourly/> (vaadatud Aprill. 30, 2023).
- [14] “Return on Investment (ROI): How to Calculate It and What It Means,” *Investopedia*. <https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp> (vaadatud Aprill. 30, 2023).
- [15] “AMKA 3X120+95 RIPPKEERDKAABEL.” <https://www.weg.ee/amka-3x120-95-rippkeerdkaabel-169658> (vaadatud Aprill. 30, 2023).
- [16] M. Meldorf and J. Kilter, “4 Keskpinge võrgud,” *TTÜ Elektrotehnika Inst.*, p. 199, 2008.
- [17] H. Täll, “Päikesepaneelide kinnitused ja kaldenurk,” *Energiapartner*, Dec. 05, 2020. <https://energiapartner.ee/paikeseenergia/paikesepaneelide-kinnitused-ja-kaldenurk/> (vaadatud Mai 01, 2023).
- [18] “Market data.” <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/EE/Monthly/> (vaadatud Mai 01, 2023).

- [19] "lightning-protection-for-pv-farms.pdf." Vaadatud: Mai 01, 2023. [Online]. Available: https://lpconcepts.com/_downloads/lightning-protection-for-pv-farms.pdf
- [20] M. Kivisild, "2021. aastal esines keskmisest rohkem äikest," *Keskkonnaagentuur*.
- [21] T. Loim and A. Meeks, "Päikesepark jäi suurveele ette," *Lõunapostimees*, Mar. 28, 2023. <https://lounapostimees.postimees.ee/7741587/galerii-video-paikesepark-jai-suurveele-ette> (vaadatud Mai 01, 2023).
- [22] "X-GIS 2.0 [yua]." <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/yua> (vaadatud Mai 01, 2023).
- [23] "Päikesepaneelide komplektid nii era- kui ärikliendile," *Solar4you*. <https://solar4you.ee/paikesepaneelid/paikesepaneelide-komplektid/> (vaadatud Mai 01, 2023).
- [24] "Päikesepark 20kW," *Sunelekter*. <http://sunelekter.ee/tooted/paikesepargid/paikesepark-20kw> (vaadatud Mai 01, 2023).
- [25] "403 Forbidden." <https://www.e-systems.ee/tooted-ja-teenused/naidispakkumised/> (vaadatud Mai 01, 2023).
- [26] "HUAWEI SUN2000-12-20KTL-M2_EE.pdf." Vaadatud: Mai 01, 2023. [Online]. Available: https://www.abckliima.ee/data/Intranet/TOOTED/Huawei/Failid/2021/HUAWEI%20SUN2000-12-20KTL-M2_EE.pdf
- [27] "DAH SOLAR 460W FULL SCREEN," *MySolar - Päikesepaneelid*. <https://mysolar.ee/product/dah-solar-455w-dhm-72l9bw/> (vaadatud Aprill. 29, 2023).
- [28] "H07V-K (MKEM) 25 MUST JUHE TRUMMEL." <https://www.weg.ee/h07v-k-mkem-25-must-juhe-trummel-118354> (vaadatud Mai 01, 2023).
- [29] "AXPK 4G35 JÕUKAABEL." <https://www.weg.ee/axpk-4g35-joukaabel-173547> (vaadatud Mai 01, 2023).
- [30] "Enefit Connect partnerite portaal." https://epp.energia.ee/epp/info/procurement_files;jsessionid=398C2F4693C8F01E3D1006134E3C91AC?currentFolder=%2F1.+Heakskiiidetud+p%26otilde%3Bhimaterjalid+ja+seadmed (vaadatud Aprill. 29, 2023).
- [31] "MC4 solar ühenduskomplekt kaablile pesa+pistik - Oomipood." https://www.oomipood.ee/product/mc4_mc4 (vaadatud Mai 01, 2023).

LISAD

- 1.1. Lisa 1. Mastide kontrolli tulemus
- 1.2. Lisa 2. Inverterite ja päikesepaneelide võrdlus
- 1.3. Lisa 3. W.EG. Eesti OÜ veebipoe ostukorv
- 1.4. Lisa 4. Keskpingel liitumise hinnastamise tabel
- 1.5. Lisa 5. Optimaalne päikesepaneelide kaldenurk kuude lõikes
- 1.6. Lisa 6. 20 kW nimivõimsuse ja lineaarse 43° paigutusega päikesepargi tootlikkus kuude lõikes
- 1.7. Lisa 7. Kolme hinna-stsenaariumi kokkuvõte

8.1. Lisa 1. Mastide kontrolli tulemus

Mastide kontroll 2016. aastal	
Masti number	Kontrolli tulemus
1	OK
2	OK
3	OK
4	Betooni pealispind murenenud
5	OK
6	OK
7	Betooni pealispind murenenud
8	Betooni pealispind murenenud
9	OK
10	OK
11	OK
12	Betooni pealispind murenenud
13	OK
14	Betooni pealispind murenenud
15	Betooni pealispind murenenud
16	Betooni pealispind murenenud
17	Betooni armatuur kahjustatud
18-27	Betooni pealispind murenenud

8.2. Lisa 2. Inverterite ja päikesepaneelide võrdlus

Tüüp	Hind, €	Nimivõimsus, W	Edasimüüja	W/€
Paneel	217.2	380	Mysolar.ee	1.75
Paneel	179.9	410	Mysolar.ee	2.28
Paneel	186.0	415	Mysolar.ee	2.23
Paneel	190.8	450	Mysolar.ee	2.36
Paneel	176.2	460	Mysolar.ee	2.61
Paneel	238.8	455	Mysolar.ee	1.91
Paneel	183.6	460	Mysolar.ee	2.51
Paneel	258.0	650	Mysolar.ee	2.52
Inverter	1554.3	5000	ABCkliima	3.22
Inverter	1730.8	6000	ABCkliima	3.47
Inverter	2050.0	8000	ABCkliima	3.90
Inverter	2494.8	10000	Mysolar.ee	4.01
Inverter	2310.5	10000	ABCkliima	4.33
Inverter	2377.7	12000	ABCkliima	5.05
Inverter	2794.8	15000	Mysolar.ee	5.37
Inverter	2680.2	15000	ABCkliima	5.60
Inverter	2881.8	20000	ABCkliima	6.94

8.3. Lisa 3. W.EG. Eesti OÜ veebipoe ostukorv

Toote nimetus (funktsioon)	Kogus (ühik)	Hind (€)	Kokku hind (€)
Harju Elekter HETR 35L (liitumiskilp)	1	385,55	
HETR 35 sokkel (liitumiskilbi „vundament“)	1	135,88	
E360 S2 LTE 3F Arvesti P2P (kolmefaasiline, kaugloetav ,kahepoolset mõõtmist võimaldav elektriarvesti)	1	259,23	
Maandustarvikud (liitumiskilbi maandus ja potentsiaaliühtlustus)	1	80,00	
			860.61

8.4. Lisa 4. Keskpingel liitumise hinnastamise tabel

Toote nimetus	Kogus (ühik)	Hind (€)	Kokku hind (€)
Trafod (2 tk)	1	28980,00	
Komplektalajaam koos seadmetega	1	10000,00	
Seadmed (jadavinnaklülitid, mõõtetrafod, arvesti jne)	1	3000	
20 * 20 kW päikesepaneelide komplekt	20	16351,40	
			369008,00

8.5. Lisa 5. Optimaalne päikesepaneelide kaldenurk kuude lõikes

Kuu	Tootlikkus (kW/h)																		
1	167	226	262	294	322	347	385	398	406	411									410
2	531	632	701	762	814	858	919	936	944	943									925
3	1352	1524	1620	1700	1764	1812	1857	1854	1835	1789									1713
4	2113	2250	2317	2365	2393	2401	2357	2305	2233	2414									1967
5	2775	2856	2884	2893	2877	2838	2695	2591	2464	2317									2061
6	2792	2827	2828	2807	2772	2711	2533	2414	2275	2118									1855
7	2682	2731	2739	2728	2701	2651	2493	2384	2258	2109									1864
8	2141	2233	2274	2298	2303	2290	2209	2142	2057	1956									1769
9	1313	1427	1487	1535	1570	1592	1594	1575	1543	1497									1403
10	664	776	840	896	942	980	1027	1036	1035	1025									992
11	182	230	258	284	306	325	352	360	365	366									361
12	92	134	160	184	205	223	252	263	270	276									275
Kaldenurk ()	10	19	25	31	37	43	55	61	67	73									82

8.6. Lisa 6. 20 kW nimivõimsuse ja lineaarse 43° paigutusega päikesepargi tootlikkus kuude lõikes

Kuu	Tootlikkus (kWh)	Osakaal (%)
1	347	2%
2	858	5%
3	1812	10%
4	2401	13%
5	2838	15%
6	2711	14%
7	2651	14%
8	2290	12%
9	1592	8%
10	980	5%
11	325	2%
12	223	1%
Kokku	19028	100%

8.7. Lisa 7. Kolme hinna-stsenaariumi kokkuvõte

Stsenaarium 1, madalad hinnad			
Kuu	el. börsihind, €/kWh	Tootlikkus kuus, kWh	Tootlikkus, €
Detsember	0.05	347	17.35
November	0.05	858	42.90
Oktoober	0.05	1812	90.60
September	0.05	2401	120.05
August	0.05	2838	141.90
Juuli	0.05	2711	135.55
Juuni	0.05	2651	132.55
Mai	0.05	2290	114.50
Aprill	0.05	1592	79.60
Märts	0.05	980	49.00
Veebruar	0.05	325	16.25
Jaanuar	0.05	223	11.15
		Aastas kokku:	951.40

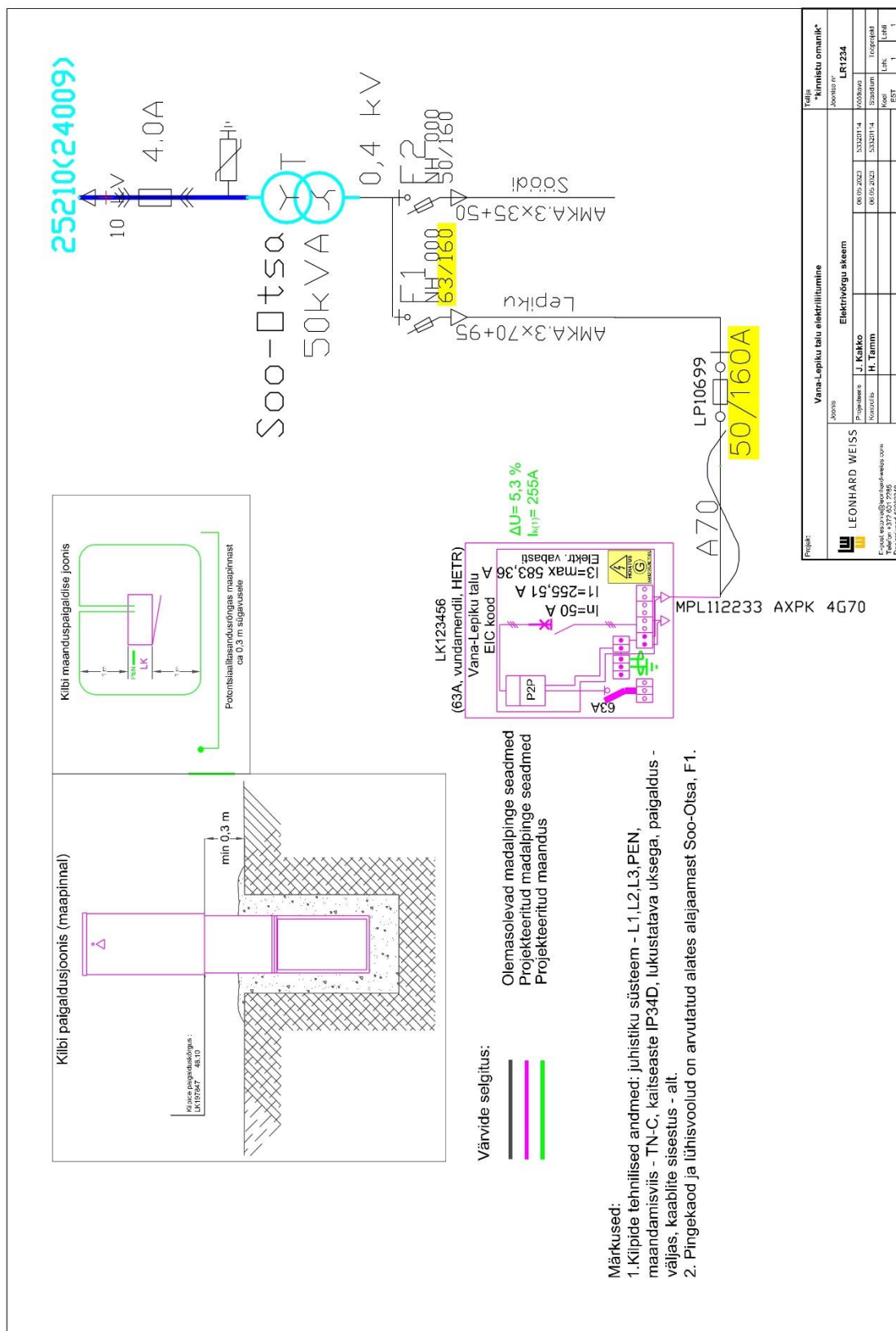
Lisa 7 jätk. Kolme hinna-stsenaariumi kokkuvõte

Stsenaarium 2, kõrged hinnad			
Kuu	el. börsihind, €/kWh	Tootlikkus kuus, kWh	Tootlikkus, €
Detsember	0.25	347	86.75
November	0.25	858	214.50
Oktoober	0.25	1812	453.00
September	0.25	2401	600.25
August	0.25	2838	709.50
Juuli	0.25	2711	677.75
Juuni	0.25	2651	662.75
Mai	0.25	2290	572.50
Aprill	0.25	1592	398.00
Märts	0.25	980	245.00
Veebruar	0.25	325	81.25
Jaanuar	0.25	223	55.75
		Aastas kokku:	4757.00

Lisa 7 jätk. Kolme hinna-stsenaariumi kokkuvõte

Stsenaarium 3, 2022. aasta hinnad			
Kuu	el. börsihind, €/kWh	Tootlikkus kuus, kWh	Tootlikkus, €
Detsember	0.263	347	91.42
November	0.219	858	187.89
Oktoober	0.174	1812	315.81
September	0.229	2401	549.66
August	0.361	2838	1025.51
Juuli	0.233	2711	632.23
Juuni	0.174	2651	460.82
Mai	0.151	2290	346.64
Aprill	0.101	1592	160.25
Märts	0.151	980	148.21
Veebruar	0.105	325	34.00
Jaanuar	0.142	223	31.61
		Aastas kokku:	3984.06

8.8. Lisa 8. Elektriskeem



8.9. Lisa 9. Piirkonnaskeemi parandus

