



Martin Tõniste

KUMPSU TALU PÄIKESEELEKTRIJAAMA PROJEKT

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Elektritehnika eriala

Juhendaja: Jaanus Ojangu, *MSc*

Tallinn 2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Martin Tõniste

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

Kumpsu talu Päikeseelektrijaama Projekt

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, Martin Tõniste

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt. Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Jaanus Ojangu

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1 OBJEKTI KIRJELDUS.....	6
1.1 Kliendi soovid	7
1.2 Vaadeldatavad lahendused	8
2 OFF-GRID EHK VÕRGUÜHENDUSETA SÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE	9
2.1 Projekteerimine	9
2.1.1 Paigaldusviis	10
2.1.2 Paneelide valik	12
2.1.3 Inverteri valik.....	14
2.1.4 Energia salvestamine	16
2.1.5 Tagavaratoide.....	21
2.1.6 Kaabeldus.....	24
2.2 Tasud ja kulud	26
3 ALTERNATIIVSED LAHENDUSED.....	27
3.1 Võrguliitumine	27
3.1.1 Eelised ja puudused	28
3.1.2 Kulud ja tasud	29
3.2 On-grid ehk võrku integreeritud lahendus	30
3.2.1 Eelised ja puudused	30
3.2.2 Integreerimine elektrivõrku.....	31
4 ANALÜÜS JA KLIENDI TAGASISIDE	33
KOKKUVÕTE	36
SUMMARY.....	37
VIIDATUD ALLIKAD	39
LISAD	41
Lisa 1. Global Solar Atlas raport.....	41
Lisa 2. Valitud päikesepaneeli infoleht	43
Lisa 3. Valitud inverteri tooteleht	45
Lisa 5. Asendiplaan	49

Lisa 6. Lihtsustatud ühendusskeem	50
Lisa 7. PV*SOL Raport.....	51

SISSEJUHATUS

Elekter on kogu majanduse vereringe ning elumaja üks määravamaid osi. Sellest sõltuvad enamus modernse inimese mugavused - valgus, ligipääs internetile, küte jne. Ostes kinnistu või elumaja, millel puudub elekter, on ostja esimene reaktsioon taotleda elektrivõrguga liitumist. Küll aga on tänapäeval elumaja elektriga varustamiseks ka teisi võimalusi nagu näiteks iseseisev võrguühenduseta päikeseelektrijaam, mis võib kujuneda palju jätkusuutlikumaks nii rahakotile kui keskkonnale.

Lõputöö objektiks on Kumpsu talukompleksi elumaja, mis asub Viljandi maakonnas, Metsla külas. Eesmärk on projekteerida iseseisev päikeseelektri jaam, mis tagaks Kumpsu elumaja elektrienergia vajadused.

Lõputöö hõlmab endas nelja peatükki.

Esimeses peatükis on välja toodud vajalik põhiinfo objekti kohta, millele on vaja eelnimetatud projekt valmistada.

Teises peatükis luuakse Kumpsu elumajale võrguühenduseta päikeseelektrijaam. Süsteemi otstarve on tagada kliendi suvekodu eluhoonele põhivajadused. Lahenduse eesmärk on pakkuda kliendile võrgust sõltumatu süsteem ning aidata kaasa kliendi soovile vähendada oma isiklikku süsinikjalajälge.

Kolmandas peatükis vaadeldakse võrguga liitumise lahendust. Tuuakse välja selle eelised, puudused ja sellega kaasnevaid kulusid. Peatükk annab ülevaate lahenduse otstarbekusest kliendi soove ning vajadusi arvesse võttes. Lisaks analüüsib hajatootmise ehk *on-grid* potentsiaali integreerides põhiprojektis kajastatud iseseisev lahendus võrguga. Analüüsi eesmärk on anda kliendile ülevaade selle võimalikkusest.

Töö viimases peatükis võrreldakse ja analüüsitakse kõike kolme varianti üksteisega. Võetakse arvesse nende perspektiivikut ja otstarbekust Kumpsu talu vajaduste suhtes ning tehakse vastavad järeldused.

1 OBJEKTI KIRJELDUS

Kumpsu on talukompleks, mis asub Metsla külas, Viljandimaal. 2,8 hektari suurune kinnistu sisaldab elamuhoonet, laudahoonet ja üksikuid varemeid. Selles töös on keskendutud ainuüksi elamuhoonetele.



Joonis 1. Aerofoto katastritunnusega

Hoone oletuslik ehitusaasta on 1904 ning on lõputöö kirjutamise hetkel veel rahuldavas seisus. Tellija soetas kinnistu 2023. aasta kevadel, ning ühtlasi sai alustatud remonditöödega. Hoones sees leidub rämpsuhulgas vanu pistikupesi, mis viitab sellele, et kunagi mingit sorti elektrisüsteem seal eksisteeris. Praegu kinnistul elekter puudub. Elumaja kütmiseks pole elektrit vaja, kuna selleks on majas puitküttega ahjud. 0,32 hektarist õueala ümbritseb 1,53 hektariline lage haritav maa, mis loob soodsad võimalused päikesepargi paigaldamiseks (Joonis 1) [1].



Joonis 2 foto, Kumpsu talu 1926 [2]

1.1 Kliendi soovid

Tellija taotlus autorile oli projekteerida päikeseelektrijaam, mis vastaks tema soovidele. Lisaks soovis tellija ülevaadet teistest lahendustest.

Tellija soovid on järgmised:

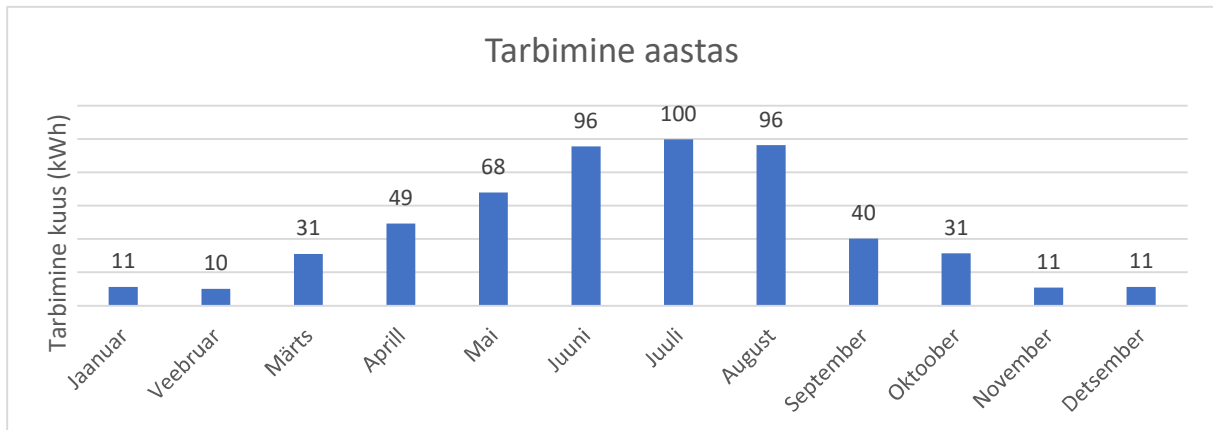
- Majanduslikult efektiivne – lahendus võiks maksumuselt olla võimalikult odav, kuid samas jätkusuutlik;
- Iseseisvus – tellija soovib kontrolli oma süsteemis tarbimise ja tootmise üle;
- Süsinikjalajälje vähendamine – kliendil on soov olla võimalikult neutraalne keskkonnamõjude suhtes ning isiklikult panustada süsinikjalajälje vähendamisele;
- Mugavus – elamu elektrivarustus peab olema piisav, et tagada vähemalt minimaalsete vajaduste olemasolu (sh valgus, internet jne).

Tellija edastas autorile seadmed, mis tema hinnangul vajavad elektriga varustamist (Tabel 1):

Tabel 1. Seadmete loetelu

Seade	Võimsus, W
Pesumasin	1000
Valgustus	400
Televiisor	100
Külmkapp	100
Boiler	1000
Valve	10
Veekeedukann	2000
Ruuter	5
Veepump	500

Tarbimise määramiseks lõi autor Exceli faili, kuhu on sisestatud kõik tellija poolt nimetatud seadmed ning nende andmed. Exceli faili eesmärk on visualiseerida iga seadme tarbimismustrit individuaalselt ning mustri järgi luua arvutused (Joonis 3), mille tulemusi kasutada kogu süsteemi projekteerimisel. Tellija poolt sai sisestatud umbkaudne muster.



Joonis 3. Tarbimismustri põhja koostatud tulpdiagramm

1.2 Lahendused

Lõputöö põhirõhk on võrguühenduseta ehk *off-grid* süsteemi projekteerimisel, kuna see vastab kliendi soovidele kõige ligilähedasemalt. Küll aga kaasnevad selle lahendusega omad mured, mis nõuavad põhjalikku menetlemist ja lahendamist. Tarbimises vaja teha kindlaid ohverdusi, süsteemi kogumaksumuse madaldamiseks. Selle süsteemi puhul on välja arvatud vajalike komponentide kulud ja tasud, ning lisaks on analüüsitud selle lahenduse vastavust kliendi soovidele.

Lõputöö lõpus on võrdluseks välja toodud kaks põhilist alternatiivset lahendust iseseisvale süsteemile: tavaline võrguga liitumine ja mikrotootjaks liitumine Elektrilevi kaudu. Tavaliitumise puhul on ära määratletud võrguliitumise protsess ning sellega kaasnevad sissemaksed ning iga-aastased kulud. Mikrotootjaks liitumise puhul on tuvastatud selle võimalikkus, selle kulud ja tasud. Viimaks on kõike kolme lahendust omavahel võrreldud, andes sellega ülevaate Kumpsu elektriga varustamise võimalustest, mille põhjal saab tellija langetada kaalutletud otsuse lahenduse valikul.

2 OFF-GRID EHK VÕRGUÜHENDUSETA SÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE

Off-grid ehk võrguühenduseta süsteem tähendab elektrisüsteemi, mis ei ole ühendatud avaliku elektrivõrguga. See tähendab, et hoone või piirkond toodab ja tarbib elektrienergiat iseseisvalt, kasutades taastuvenergiaallikaid, nagu päikeseenergia, tuuleenergia, hüdroenergia või muud alternatiivsed energiaallikad. Sageli kasutatakse ka energiasalvestussüsteeme, nagu akud.

Selline süsteem on tavaliselt kasutusel kohtades, kuhu avalik elektrivõrk ei ulatu või kus võrguga ühendamine võib kujuneda majanduslikult ebasoodsaks või tehniliselt keerukaks. Tihtipeale on sellisteks piirkondadeks maakohad ja saared.

Võrguühenduseta PEJ jaoks on vajalikud järgmised komponendid:

- Päikesepaneelid
- *Solar* kaablid
- Kinnitused ja raamid
- Inverter
- Laadimiskontroller
- Akupank
- Tagavaratoide

2.1 Projekteerimine

Olles kliendilt välja selgitanud seadmed, mida elumajas kasutama hakatakse, on võimalik võtta eelnevas peatükis välja toodud andmed lähteandmeteks ka päikeseelektrijaama (PEJ) projekteerimisel. Selles alapeatükis on ära kirjeldatud kõik Kumpsu *off-grid* lahenduse projekteerimisel läbi tehtud etapid.

Projekteerimiseks on kasutatud PV*SOL *premium* 2024, mis on fotogalvaaniliste projekteerimisprogrammide tööstusstandard, sellega on võimalik projekteerida ja simuleerida igat tüüpi kaasaegseid fotogalvaanilisi süsteeme.

PV*SOL *premium* võimaldab visualiseerida kõiki levinud süsteemitüüpe 3D vormis, olgu need siis katuseintegreeritud, katusele paigaldatud, maaraamile paigaldatud jne. Lisaks kaasneb programmiga ka ulatuslik andmebaas, mis sisaldab üle 24 000 päikesepaneeli, 6700 inverteri ja 3700 akusüsteemi [3].

Projekti koostamise käigus on suur osa arvutusi koostatud manuaalselt selleks, et autor saaks ise oma tulemuste korrektsuses veenduda. Arvutuste teostamiseks on kasutatud tarkvara Microsoft Excel.

Jooniste eestikeelseks ümberjoonestamiseks ja täiendamiseks on kasutatud ZWCAD 2020 ning sellega koostöös CADtools-i.

2.1.1 Paigaldusviis

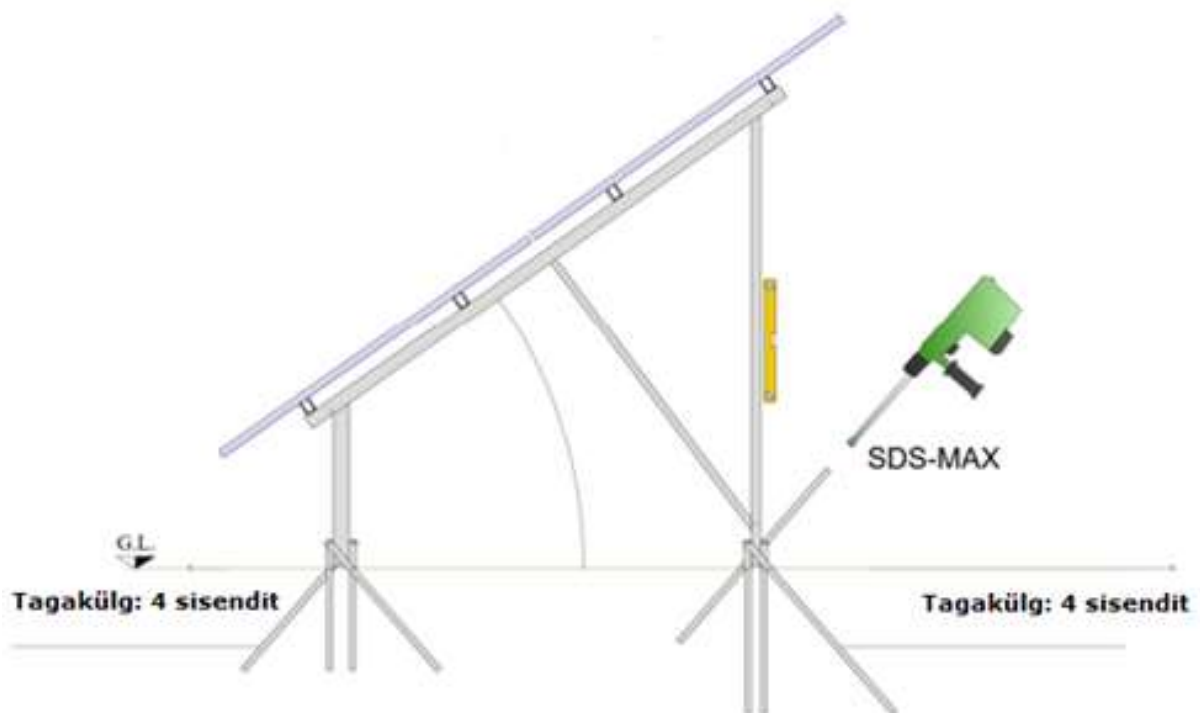
Esiteks sai määratud sobiv päikesepaneelide paigaldusviis. Selle määramiseks tuleb võtta arvesse objekti omapärasid. Kuna hoone on praktiliselt risti lõuna-suunaga, siis katusele paigaldamine on ebasoodne variant. Lisaks sellele on katus vanast eterniidist, mille puhul paljud ettevõtted üldse keelduvad paigaldustöödest. Kinnistu on lõuna ja ida küljelt piiratud põllumaaga, mille puhul on antud juhul kõige sobivam lahendus maaraam. Maaraami umbkaudne määratud asukoht on välja toodud allpool pildil punase ristkülikuna (Joonis 4). Maaraami asukoha ees asetsevad ka mõned puud, mis peab päikesepargi eest likvideerima, et need paneelidele varju ei heidaks.



Joonis 4. Aerofoto objektist, punase kastiga märgitud paigaldise umbkaudne asukoht

Paigaldise asukoha valimisel arvestati võimalike varjudega, mis võivad paneelidele langeda. Seega elumajast põhjapoolle pole seda soodne paigaldada, lisaks on seal ka vesine maapind, millele paigaldamisel ei jää paigaldis eriti stabiilne.

Töö jaoks valitud maaraamisüsteem on *TreeSystem*, mis on Eestis üks levinumaid ja kättesaadavamaid lahendusi. *TreeSystem*-i maaraami on äärmiselt lihtne paigaldada vajades selleks ainult kahte inimest ja tööriistade poolest vaid piikvasarat spetsiaalse otsikuga (Joonis 5). Raam kinnitatakse maa sisse spetsiaalsete vaiadega. Töö jaoks läheb vaja kahte meest, ühte kes seab raami loodi ja teist kes piikvasaraga vaiad maa sisse ajab.



Joonis 5. *TreeSystem*-i paigaldusmeetod

2.1.2 Paneelide valik

Paneelide valikul võttis autor arvesse järgmiseid tegureid:

- Kättesaadavus Eestis
- Vajaminev paneelide arv
- Tehnilised andmed
- Hind

Esmalt on autor uurinud veebipoodide, mille järgi on võimalik tuvastada, milliseid paneele on võimalik Eestis soetada. Veebipoodides toodetega kaasnevad tootelehed, mis sisaldavad vajalikke andmeid paneeli koguse arvutamiseks.

Vajalike paneelide koguse arvutamiseks on kasutatud järgmist valemit (1):

$$E = S * r * H * PR, \quad (1)$$

- kus
- E - energia, kWh;
 - S - paneelide kogupindala, m²;
 - r - efektiivsus, %;
 - H - DNI ehk *direct normal irradiation*, kWh/m²;
 - PR - kaotegur, vaikesi 0,75.

Vastavalt asukohale annab veebipõhist päikeseatlast kasutades kindlaks määrata Kumpsu keskmine päikese kiirgus (DNI), milleks on 2,78 kWh/m² päevas. Kasutatud on veebirakendust Global Solar Atlas, mis annab põhjaliku raporti Kumpsu päikeseandmete kohta (Lisa 1). PV*SOL arvutas välja ligilähedase tulemuse.

Kasutades seadmete loetelu saab välja arvutada maksimaalse päevase energia vajaduse varuga 24,31 kWh. Iga toote kohta välja arvutatud pindala, mis vastavat energiat toodab. Eelnevast valemist (1) on tuletatud järgmine valem:

$$S = \frac{E}{r * H * PR}$$

Tootelehtede abil on igale uurimisaluseks valitud tootele välja arvutatud üksiku paneeli pindala. Jagades paneelide kogupindala üksiku paneeli pindalaga on saadud vajalik paneelide kogus iga võrreldud paneeli kohta.

Selle projekti jaoks valitud moodul on Leapton Solar LP210*210-M-66-MH. Arvutuslik vajalik kogus on 18 paneeli (Lisa 2).



Joonis 6. Kuvatõmmis, Paneelide paigaldamine 3D keskkonnas määratud asukohta



Joonis 7. Kuvatõmmis, PV*SOL *premium* määrab paneelidele grupid

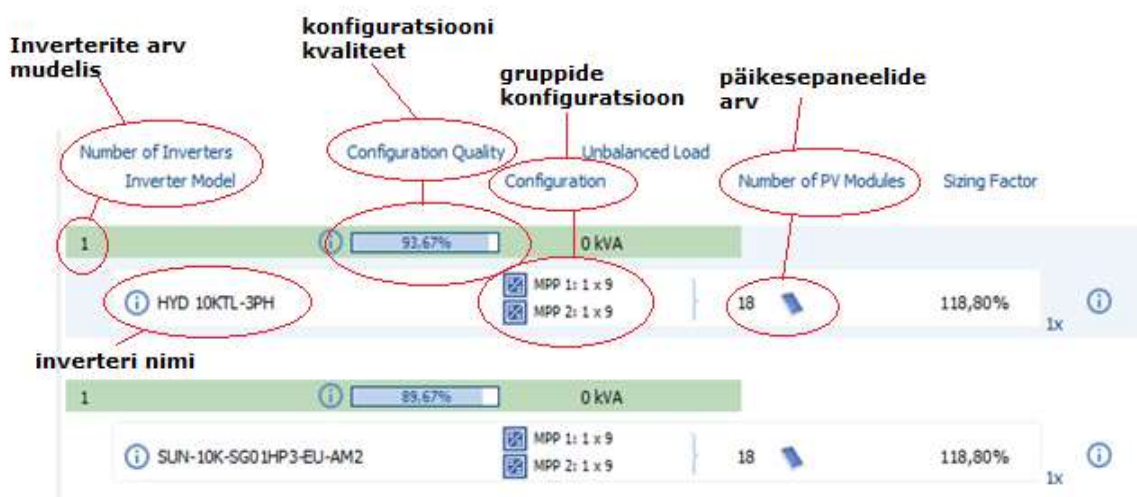
2.1.3 Inverteri valik

Invertereid kasutatakse selleks, et teisendada päikesepargist tulev alalisvool elamuhoones kasutatavatele seadmetele vajalikuks vahelduvvooluks. Inverterid jagunevad kolme kategooriasse sõltuvalt selle funktsionaalsusest: võrgupõhine inverter, *off-grid* inverter ja hübriid inverter. Antud juhul sobivad projekti jaoks viimased kaks kategooriat ehk *off-grid* ja hübriid.

Hübriid inverter hõlmab nii võrgupõhise kui võrguvälise inverteri funktsionaalsust, andes lisavõimalusena võime müüa akudesse salvestatud liigset energiat tagasi võrguettevõttele. Lisaks võrguühenduse katkemise korral on võimalik päikesepargist toodetud energiat edasi tarbida. Seega on selliseid invertereid võimalik kasutada ka *off-grid* lahenduse puhul [4].

Inverteri suuruse määrab päikesepargi võimsus. Ühe mooduli võimsus (Wp) on 660 W, seega 18 moodulit teeb päikesepargi koguvõimsuseks 11,88 kW. Inverteritega kaasnevatel tootelehtedel on välja toodud iga inverteri kohta selle maksimaalne PEJ süsteemi suurus ehk Recommended Max. PV Input. PV ehk *photovoltaic*, mis on eestikeelses fotogalvaaniline, viitab päikesepaneelidele.

Autor valis välja kümme inverterit, mis vastaksid projekti kriteeriumitele, ning sisestas need programmi. PV*SOL omakorda võrdleb neid ja pakub välja kõige sobilikuma konfiguratsiooni. Programmi välja pakutud konfiguratsioonid valiku seast on järgmised (Joonis 8):



Joonis 8. PV*SOL *premium* võrdleb invertereid ning soovitab parimat varianti

Selle projekti jaoks sai valitud hübriid tüüpi inverter SOFAR HYD10KTL-3PH (Lisa 3) (Tabel 2), kuna PV*SOL ennustab sellele konfiguratsioonile kõige kõrgemat kvaliteeti. Lisaks jätab see veel lisaruumi, kui tekib vajadus tulevikus mõnda paneeli juurde paigaldada.

Tabel 2. Valitud inverteri tehnilised andmed

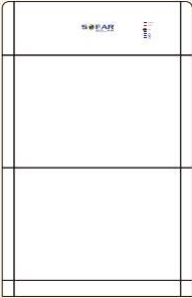
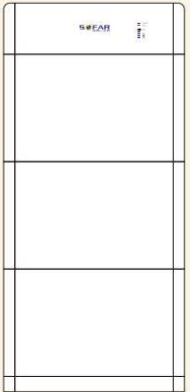
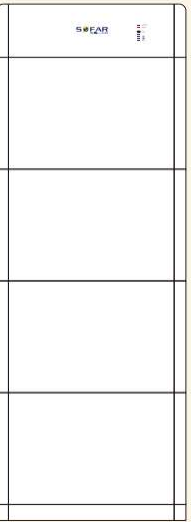
Aku sisendi andmed	
Aku tüüp	Li-ion
Aku sisendid	2
Aku pinge ulatus	180-800 V
Aku pinge ulatus täiskoormusel	200-800 V
Maksimaalne laadimis-/tühjendusvõimsus	10 000 W
Maksimaalne laadimis-/tühjendusvool	50 A (25 A/25 A)
Tipp laadimis-/tühjendusvool, Kestus	70 A (35 A/ 35 A), 60 s
Aku laadimisstrateegia	Iseseisev kohandamine BMS
Aku mahtuvus	25 Ah~100 Ah
PV sisendi andmed	
Soovituslik maksimaalne PV sisendvõimsus	15 000 Wp (7500 Wp/7500 Wp)
Nominaalne DC pinge	600 V
AC väljundi andmed	
Nominaalne väljundvõimsus	10 000 W
Tipp väljundvool	16 A
Nominaalne väljundpinge	230/400 V
Nominaalne väljundsagedus	50 Hz

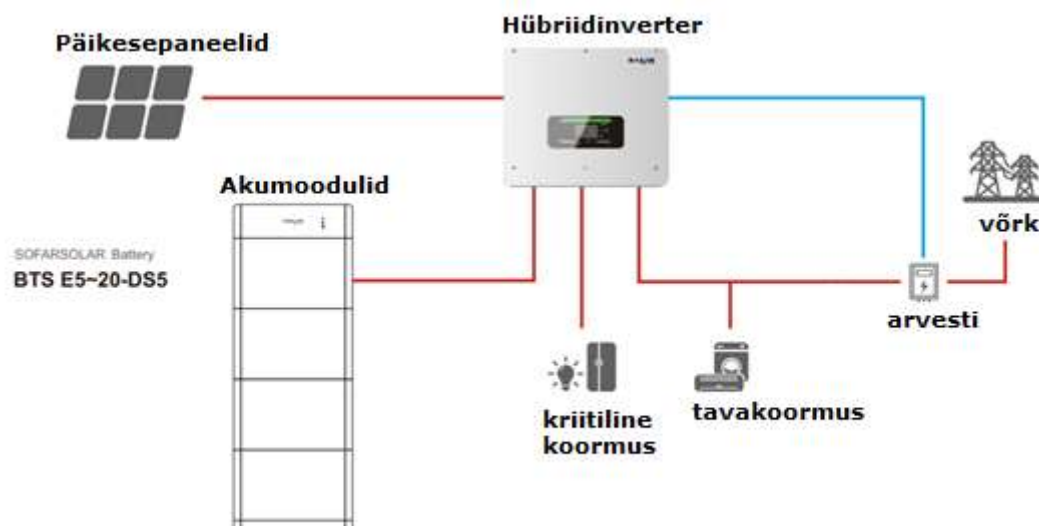
2.1.4 Energia salvestamine

Energia salvestamise ülesanne päikeseenergia süsteemis selleks, et kompenseerida päikesevalguse loomulikku kõikumist päeva jooksul ja tagada elektri kättesaadavus ka siis, kui päikesekiirgus puudub või on piiratud. Päikeseenergia salvestamise peamised eesmärgid on päevase ja öise tarbimise tasakaalustamine ning võrgust sõltumatuse suurendamine. Energia salvestamiseks kasutatakse akusid, mille ühilduvuse tihtipeale määrab inverter ehk akumoodul peab olema sama tootja poolt.

Selle projekti jaoks valitud akusüsteem on SOFAR BTS E5~20-DS5. Kõrgepinge akupakett koosneb akukontrollerist ja 1-4 BTS akumoodulist, mis on ühendatud järjestikku, et saavutada kasutatav energia vahemikus 5-20 kWh (Tabel 3).

Tabel 3. Valitud akupaketi tehnilised andmed

Mudel	BTS E5-DS5	BTS E10-DS5	BTS E15-DS5	BTS E20-DS5
Süsteemi skeem				
Moodulite arv	1	2	3	4
Aku koguenergia	5 kWh	10 kWh	15 kWh	20 kWh
Nimivõimsus	2,5 kW	5 kW	7,5 kW	10 kW
Nimipinge	400 V			
Laadimis-tühjendus nimivool	7 A	14 A	21 A	28 A
Garantii	10 aastat			

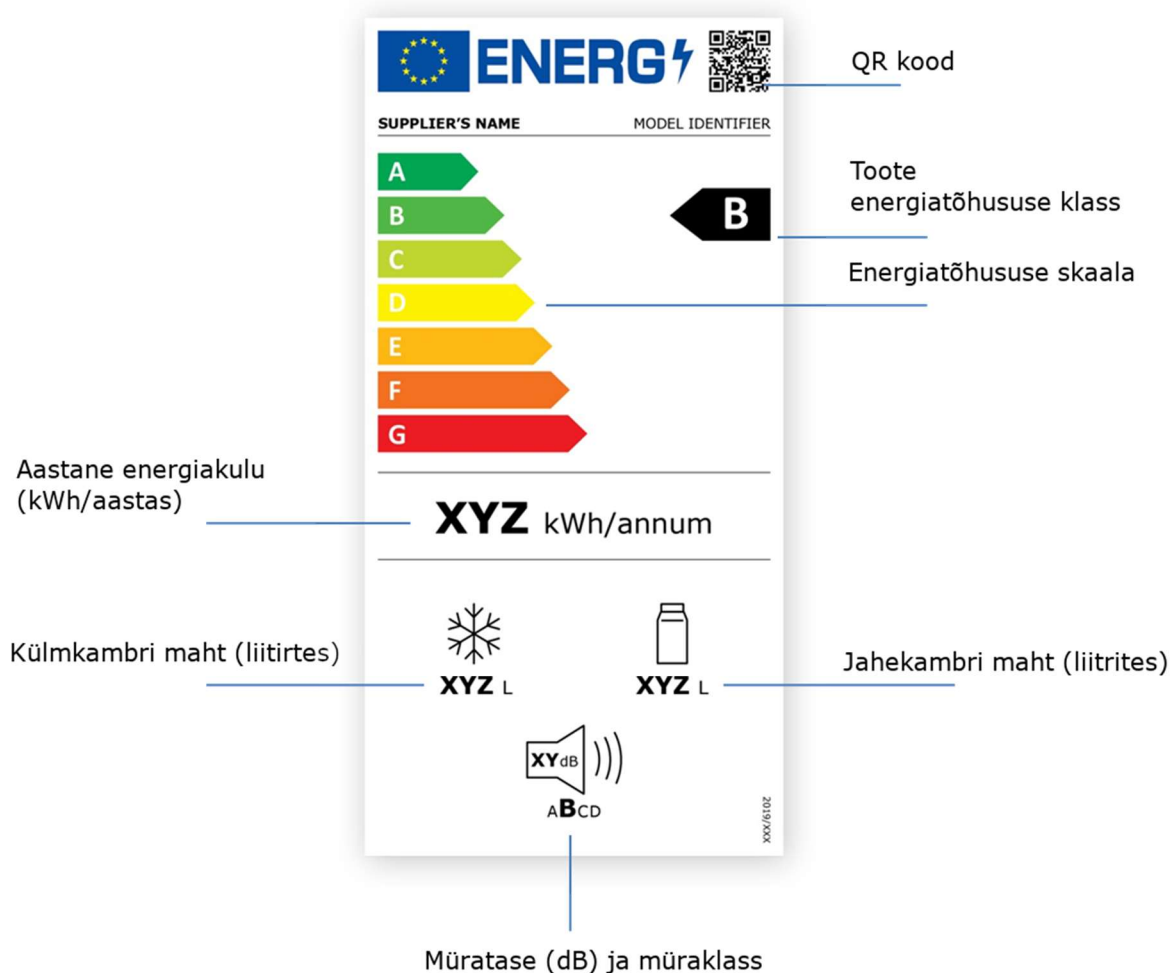


Joonis 9. Inverteri sisendite ja väljundite üldskeem tootelehel

Kui päikesepaneelid mingite tegurite tõttu ei suuda enam tavakoormust varustada, siis lülitab inverter toite ümber akutoitele, mis varustab vaid hädavajalikke seadmeid. Ideaalis võiks süsteem olla suuteline toitma hädavajalikke seadmeid vähemalt kaks päeva.

Kriitiline koormus ehk *Critical load* on kogum seadmeid, millele toite tagamine on hädavajalik (Tabel 4). Küll aga tuleb nende seadmete valikul põhjalikumalt ette mõelda. Energiatõhususe saavutamiseks ning akudelt tarbimise vähendamiseks tuleb silmas pidada spetsiifiliste seadmete iseärasusi ja energiaklassi. Õige seadme valik mõjutab märkimisväärselt kogu elamu energiavajadusi, järelkult on see punkt eriti oluline. Seega on autor välja käinud antud hädavajalike seadmete puhul soovitusel.

Esimene soovitus on külmkapi valiku tegemisel. Kuna tegemist on suvilaga ning külmkapi mahu ja võimsuse vajadused pole kõrged, tuleb valida paraja energiaklassiga toode (Joonis 10). Energiaklass annab tarbijale vajalikku teavet seadmete energiatõhususe kohta. E-poodides on tooteinfo all esile toodud energiatähis ning aastane tarbimine. Selle töö jaoks sai arvutuste teostamiseks näiteks võetud odav E klassi külmik Hisense 82L, mille aastane tarbimine on 125 kWh. Seega päevane tarbimine on ca 0,34 kWh.



Joonis 10. Energiamärgiste selgitus [5]

Veepumba valimisel on kõige mõistlikum valida hüdrofooriga veepump. Hüdrofooriga veepump on varustatud hüdrofoori või suruva õhukambri süsteemiga, mis pakub mitmeid eeliseid võrreldes tavalise veepumbaga. Selline veepump suudab tagada paremat ja stabiilsemat veesurvet majapidamises. Lisaks on nende juhtimissüsteemid sageli automatiseeritud, mis vähendab nende energiatarbimist. Hüdrofooriga veepumpade õhukamber vähendab ka seadme käivitamissagedust. Selle töö jaoks sai valitud arvutuste teostamiseks 500 W seade, mille päevane tarbimine on ca 1 kWh.

Valgustite puhul tuleb jälgida valgusviljakust luumen vati kohta. Valgusviljakus näitab, kui tõhusalt muundab valgusallikas energiat silmaga nähtavaks valguseks. Ehk mida kõrgem on valgusti maksimaalne valgusvoog lm ja väiksem võimsus W , seda efektiivsem on valgusti. Valgusallika valgusvoo Φ ja selle tekitamiseks tarbitava võimsuse P jagatis (2):

$$\eta_v = \frac{\Phi}{P}, \quad (2)$$

kus η_v - valgusviljakus, lm/W ;
 Φ - valgusvoog, lm ;
 P - võimsus, W .

Kõige levinumad valgustid tarbijate seas on LED valgustid. Nende valgusviljakus ulatub kuni $180 \text{ lm}/W$ [6]. Autori soovitus on valida oma kodu jaoks võimalikult kõrge valgusviljakusega valgustid, kõik vajalikud andmed on infolehtedel välja toodud e-poodides ning ka poes kohapeal. Selle töö raames on suvila kogu valgustuse arvutuslik tarbimine ca $1,6 \text{ kWh}$ päevas.

Tabel 4. Kriitiline koormus kokku

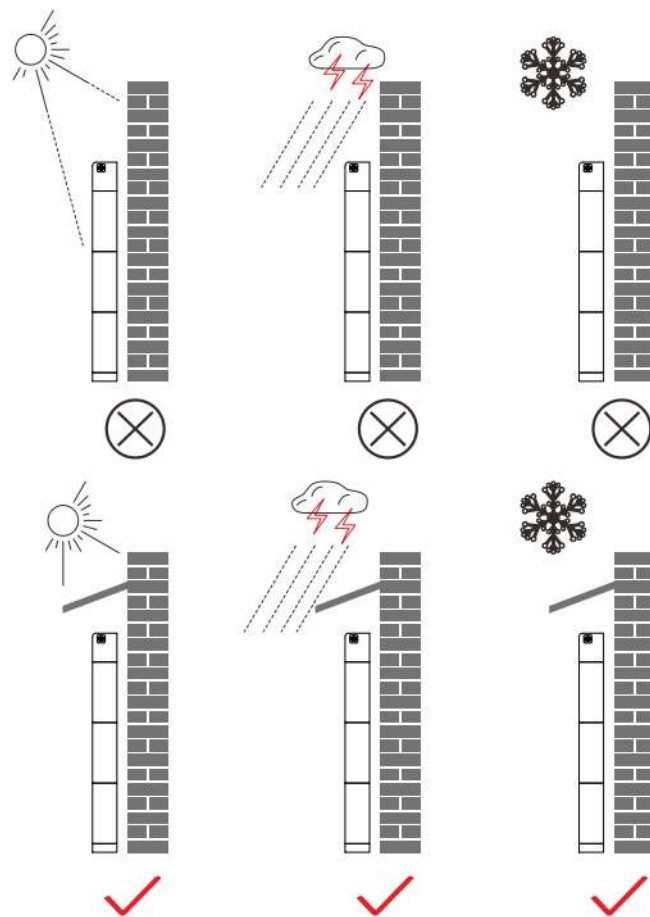
Seade	Tarbimine päevas (kWh)
Valgustus	1,60
Külmkapp	0,34
Veepump	1,00
Valve	0,24
Ruuter	0,12

Hädavajalike seadmete tarbimine päevas kokku: $3,2 \text{ kWh}$

Akusüsteemi tooteinfo ja arvutuste põhjal vaja vähemalt kahte akumoodulit, et hädavajalikke seadmeid toita vähemalt kaks päeva.

Akupaketi ostmisel, tuleb lugeda toote manuaali, mis sisaldab väärtuslikku infot süsteemi korrektsuse jälgimisest ja ülal pidamisest (Joonis 11). Aku installeerimisel tuleb juhinduda järgevatest tingimustest:

- Valida tuleb kuiv, puhas ja soodne asukoht;
- Moodulit ümbritseva keskkonna temperatuur peab olema vahemikus -10 C° kuni 40 C°;
- Suhteline õhuniiskus: 5-95 % (ei kondenseeru);
- Toode tuleb paigaldada hästi ventileeritavasse kohta;
- Installatsiooni ümbruses ei ole süttivaid ega plahvatusohtlikke esemeid;
- Paigalduskeskkonna maksimaalne kõrgus merepinnast on 4000m.



Joonis 11. Õiged ja valed akupaketi installeerimise tingimused

2.1.5 Tagavaratoide

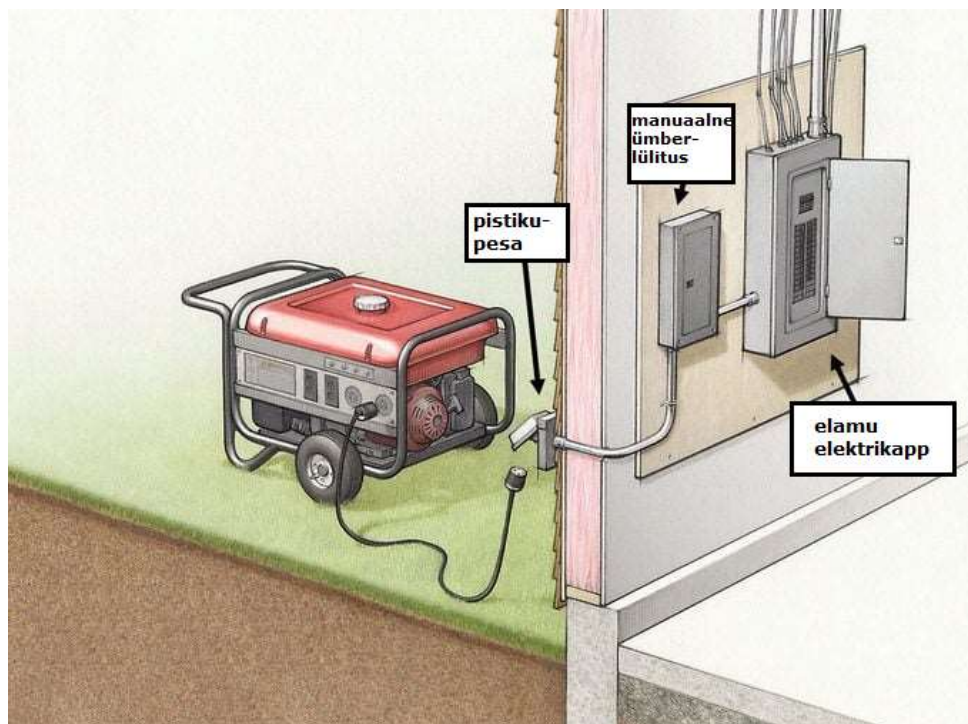
Kui ka akudest ei piisa energiavajaduste katmiseks tuleb mõelda ka tagavaratoite võimalustele. *Off-grid* süsteemides kannavad seda rolli üldiselt generaatorid. Generaatoreid kasutatakse ka võrguga ühendatud elamutes, mis asuvad piirkondades, kus ilmastikutegurite tõttu esineb tihti rikkeid ja volukatkestusi.

Generaatori valimisel tuleb arvestada järgmisi kriteeriumeid [7]:

1. Seadmete koguvõimsus: see määrab generaatori väljundvõimuse.
2. Generaatori tüüp: teiseldatavat tüüpi või *stand-by* ehk ooterežiimi funktsionaalsust omav generaator
3. Hind: toote hind peab olema kliendi jaoks aktsepteeritavas ulatuses

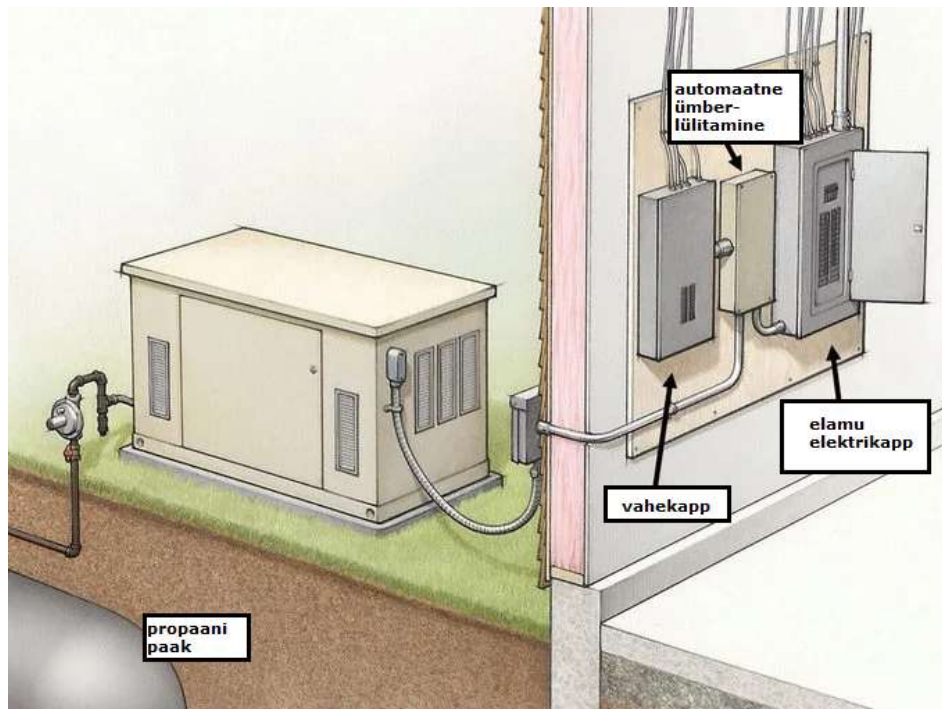
Seadmete koguvõimsus on välja toodud seadmete loetelus 5,1 kW. Juurde tuleb arvutada ka ülekate, et generaator tuleks toime käivitusvooludega. Selleks on seadmete koguvõimsusele liidetud juurde 20 %, mis teeb kogusummaks 6,1 kW.

Generaatori tüübi valikul tuleb võtta arvesse nende funktsioone, praktilisust ja hinnaklassi. Teiseldatavad generaatorid on kõige levinumad ja hinnaklassi poolest kõige kättesaadavamad. Need ei vaja kohtkindlat paigaldust, neid on lihtsam ning soodsam remontida ja hooldada (Joonis 12).



Joonis 12. Teiseldatavat tüüpi generaatori ühendusskeem [7]

Stand-by generaatorid lülituvad elektrikatkestuse puhul automaatselt ega vaja manuaalset lülitamist (Joonis 13). Nende eelis on see, et nad ei tekita nii suurt müra kui teisaldatavad ning ei pea muretsema kütuse ladustamise pärast, kuna *stand-by* generaatorid töötavad propaani või naturaalse gaasiga. Suurema töökindluse ja lisamugavusega kaasneb ka märkimisväärselt suurem hind.



Joonis 13. *Stand-by* tüüpi generaatori ühendusskeem [7]

Selle projekti jaoks on valitud teisaldatavat tüüpi diisलगeneraator KONNER & SONNER KS 520HD-V, mille maksimaalne väljundvõimsus on 6,5/7,5 kW (Joonis 14) (Tabel 5).



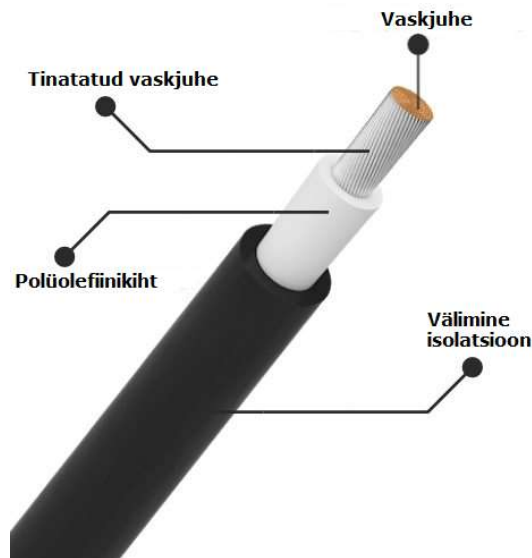
Joonis 14. Välja valitud generaator

Tabel 5. Valitud teisaldatava generaatori tehnilised andmed

Kütus	Diisel
Kütusepaagi maht, l	11
Pinge, V	230/400
Aku maht, Ah	30
Kaitseklass	IP23M
Ülekoormuskaitse	Jah
Maksimaalne väljundvõimsus, W	6500/7500
Nimivool, A	16; 32
Nimivõimsus, W	6000/7000

2.1.6 Kaabeldus

Solar kaabli valik on oluline aspekt fotogalvaanilise süsteemi projekteerimisel. Neid kaableid, mis koosnevad mitmest isoleeritud juhtmest, mis on ümbritsetud kaitsva välismantliga, kasutatakse päikeseelektrisüsteemi erinevate komponentide ühendamiseks (Joonis 15). *Solar* kaablid on disainitud nii, et need peavad vastu UV-kiirgusele, karmidele temperatuuridele ja ebasoodsale kliimale ning neid paigaldatakse tavaliselt välitingimustesse.



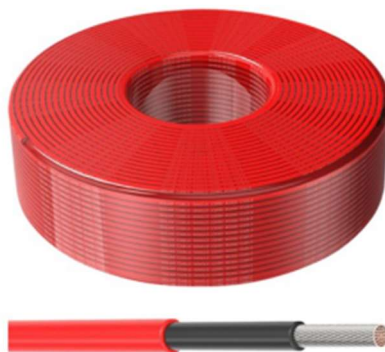
Joonis 15. *Solar* kaabli kihid [8]

PV*SOL *premium* arvutab ise välja gruppide suurused ja annab kasutajale ka gruppide ühendusskeemi. Mugavuse ja täpsuse mõttes tegi autor need skeemid endale ümber nende täiendamiseks. Antud juhul tuleb luua kaks gruppi, mis mõlemad sisaldavad 9 päikesepaneeli. Paneelide küljes on olemas ühendusjuhtmed, seega saab paneelid ühendamisel üksteisega kasutada neid. Grupid omakorda tuleb ühendada inverteriga, selleks tuleb grupi pluss (+) otsast ja grupi miinus (-) otsast paigaldada kaablid inverterini. ZWCAD-is on detailselt välja joonistatud gruppide kaablid ning kasutades *CADtools*-i on võimalik mõõta skeemilt nende pikkused ja liita vajaliku varu. Saadud tulemuse saab sisestada PV*SOL-i, mis arvutab välja vajaliku kaabli ristlõike. Sama metoodika kehtib ka vahelduvvoolu kaabli puhul, mis lähevad inverterist tavakoormuse ja kriitilise koormuse väljundina hoone elektrikappi.

Valitud kaabli ristlõige on 4 mm². Punast kaablit koos varuga läheb vaja 60 meetrit ja musta kaablit koos varuga läheb vaja 70 meetrit. Lisaks kaablikaitsekõri, mis juhul piisab ühest 25 meetrisest rullist. Vahelduvvoolu kaabli ristlõige on valitud 2,5 mm² ning kokku on seda vaja 16 m koos varuga kahe väljundi jaoks (Joonis 16).



H1Z2Z2-K 4 mm² 1500 V must



H1Z2Z2-K 4 mm² 1500 V punane



Vaskkaabel 5G2,5



Kaablikaitsekõri traadiga 25 mm.

Joonis 16. Välja valitud materjalid

2.2 Tasud ja kulud

Tellija soovis teada komponentide kogumaksumust. Selleks liitis autor kokku kõik mainitud komponentide hinnad ning sisestas tabelisse (Tabel 6). Tööjõu kulusid ei pidanud tellija vajalikuks arvestada, sest tööjõu organiseerimisega ja korraldamisega tegeleb tellija ise. Autori kogemuste põhjal kestab sellises mahus projekti füüsiliselt ehitamine kokku keskmiselt kolm päeva ehk töötundides kuni 18 tundi kahe mehe peale.

Tabel 6. Komponentide kogumaksumus

Nimetus	Hind, €	Kogus	Summa, €
Maaraam	1764	1 komplekt	1764
Päikesepaneelid	186	18 moodulit	3348
Hübriidinverter	2230	1 tk	2230
Akukontroller	670	1 tk	670
Akumoodul	2431	2 moodulit	4862
Generaator	980	1 tk	980
Solar kaabel must	1,5	70 meetrit	105
Solar kaabel punane	1,5	60 meetrit	90
AC kaabel	1,7	16 meetrit	28
Kaablikaitsekõri	24	1 pk (25 meetrit)	24

Kõikide komponentide maksumus kokku (sisaldab käibemaksu 22%): 14 101 €

3 ALTERNATIIVSED LAHENDUSED

Lisaks põhiprojektile on võrdluseks toodud alternatiivsed lahendused eramule elektrivarustuse tagamiseks. Käsitletud on nii võrguliitumise varianti kui ka PEJ ühendamist elektrivõrguga.

3.1 Võrguliitumine

Võrguliitumine on protsess, mille käigus tarbija ühendatakse elektrivõrguga. Selle tulemusena saab tarbija elektrivarustuse otse elektrivõrgu kaudu. Võrguga liitumise eesmärk on tagada pidev elektrienergia kättesaadavus tarbijale.

Kliendi esimene soov oli tutvuda võrguliitumisega. Esmalt on antud kerge ülevaade võrguliitumise protsessist. Teisalt on uuritud võrku ühendatud süsteemi eeliseid ja puuduseid. Kolmandaks on välja arvatud ja kajastatud sellega kaasnevad tasud ja kulud.

Protsess ise koosneb neljast põhipunktist [9]. Esmalt liitumistaotluse esitamine ja lepingu sõlmimine. Liitumistaotluse alusel saab Elektrilevi koostada hinnapakkumise. Sellega kaasneb võrguühenduse valmimise tähtaeg ja maksumus.

Teine punkt on ehitamine. Ehitamise ajal on soovitatud paralleelselt alustada ka majasisese elektrisüsteemi paigaldamisega (Tabel 7).

Tabel 7. Elektrilevi ja tellija tööd ehitamise punktis

Elektrilevi tööd	Tellijat tööd
Taotleda vajalikud kooskõlastused maaomanikelt ja koostame liinide rajamiseks vajaliku projekti.	Tellida majasisene elektrisüsteemi projekt vastavat litsentsi omavalt elektritööde ettevõttelt. (Uue maja puhul)
Ehitada välja elektrivõrk koos liitumiskilbi, liitumispunkti, peakaitsme ja arvestiga.	Pärast elektritööde teostamist tellida elektripaigaldise audit.
Ühendada liitumiskilp elektrivõrguga. Teavitada tellijat tööde lõppemisest ja edastada tasumiseks viimase osamakse arve.	Esitada auditi koopia.

Kolmas punkt on audit. Veendumaks elektrisüsteemide ohutuses, tuleb tellida elektripaigaldise audit. Auditi käigus hindab auditi tegija visuaalselt elektripaigaldise olukorda, tutvub paigaldise kohta oleva dokumentatsiooniga ning katse- ja mõõtmistulemustega, teeb vajadusel paigaldises täiendavaid kontrollmõõtmisi. Selle kõige alusel teeb auditi tegija otsuse, kas paigaldis on korras või ei ole. Kasutuselevõtule eelnev audit tehakse pärast uue elektripaigaldise valmimist või vana ümberehitamist. Enne auditi teostamist ei tohi elektripaigaldist kasutusele võtta.

Neljas ja viimane punkt on võrguleping ja pingestamine. Selleks, et saaks tarbimiskohta elektriga varustada, on vajalik sõlmida võrguleping. Võrguleping on vaja sõlmida eluaseme või äripinna ostmisel või vahetamisel. Võrgulepingus fikseerib Elektrilevi tarbimiskoha elektriga varustamise tingimused ja võrgupaketi. Pärast võrgulepingu sõlmimist toimub pingestamine. [10]

3.1.1 Eelised ja puudused

Üks peamisi eeliseid on ööpäevaringne elektrienergia kättesaadavus. Elektri tootmine ei sõltu kliimast, seega on elektrivarustus stabiilne ja pidev. Teisalt on võimalik võrku ühendatud süsteemi integreerida ka taastuenergia allikaid, nagu päikese- ja tuuleenergia. Sõltuvalt tarbija tootmise suurusest on võimalik ka üleliigne energia müüa võrku ning võimalusel teenida kasumit. Kokkuvõttes on eelised lihtsad ja iseenesest mõistetavad. Nende osakaal puudustega on suhteliselt võrdne.

Esimene puudus on sõltuvust võrgust. Maapiirkondades liitumine võib kujuneda kulukaks sõltuvalt lähimast fiidrist ja alajaamast. Sõltuvus võrgust hõlmab ka seda, et süsteemi toimimine sõltub täielikult võrgust. Elektrienergia tootmine ja tarbimine on suuresti operaatori kontrolli all, seega ei saa tarbija ise reguleerida oma tootmist ja tarbimist nii vabalt kui iseseisva süsteemi puhul. Mainimata ei saa ka jätta seda, et rikke või katkestuse korral on majapidamine ilma elektrita. Teine puudus, mis kaasneb elektrivõrguga liitumisel on igakuised püsitasud, mis muutuvad pidevalt ning on olnud viimaste aastate jooksul tõusvas trendis.

3.1.2 Kulud ja tasud

Enne PEJ projekteerimisega alustamist esitas autor Elektrilevile võrguliitumise taotluse, et saada teada, mis oleks liitumise maksumus Kumpsu kinnistu jaoks. Hinnapakkumine saabub taotlejale kuni 30 päeva jooksul, kuid üldiselt väikeliitumistel võtab see aega vaid paar päeva (Tabel 8). Autori eesmärk on see, et PEJ maksumus tuleks väiksem kui võrguliitumise.

Tabel 8. Elektrilevi hinnapakkumine liitumiseks

Kirjeldus	Kogus	Ühiku maksumus (€)
Projekt	1	2900
Madalpingekaabli ehitamine, 330 meetrit	1	9940
1-kohalise liitumiskilbi ehitamine soklile	1	1520
Jaotuskilbi ehitamine	1	2300
Projektijuhtimise tasu 3,35%	1	558

Kalkulatsioon kokku koos KM(22%): 17 218 €

Lisaks liitumisele kaasnevad sellele veel igakuised tasud. Elektrilevi võrguteenuse hinnakirjast on võetud igakuise võrguteenuste tasu ning sellele liidetud ka igakuine taastuenergia tasu. Võrguteenuse hind Kumpsul on 4,7 eurot ja taastuenergia tasu on 1,24 senti kilovatt-tunni kohta 2023 aasta seisuga [11] [12]. Kasutades eelmainitud andmeid, Enefiti elektrituru andmeid ja Kumpsu tarbimismustrit on loodud tabel, mis näitab elektri kuu- ja aastatasu [13]. Elektriarve summa tabelis sisaldab elektrienergia tasu, võrguteenuse tasu ja taastuenergia tasu (Tabel 9).

Tabel 9. Arvutuslik elektrihinna maksumus 2023 aastal

Kuu	Tarbimine (kWh/kuus)	Elektriarve summa (€/kuus)
Jaauar	11	7,19
Veebruar	10	6,90
Märts	31	11,44
Aprill	49	15,48
Mai	68	19,53
Juuni	96	26,03
Juuli	100	27,05
August	96	26,39
September	40	13,61
Oktoober	31	11,78
November	11	7,26
Detsember	11	7,14

2023 aasta kulu kokku (koos KM): 179,79 €

3.2 On-grid ehk võrku integreeritud lahendus

On-grid lahendus on kõige levinum viis päikesepaneelidest elektri tootmisel ja tarbimisel. Selle süsteemi puhul on päikese elektrijaam ühendatud üldelektrivõrguga. Üldiselt võetakse selline lahendus kasutusele objektidel, kus on juba võrguga liitumine olemas.

3.2.1 Eelised ja puudused

Peamine eelis, mis selle süsteemiga kaasneb, on mugavus. Kui tarbimisel jääb päikesepaneelide toodetud energiast väheks või tootmine üldse puudub, siis on võimalik puudu jääv energia võtta võrgust. Lisaks juhul kui päikesepaneelid toodavad rohkem elektrit kui majapidamine vajab, on võimalik see võrku tagasi müüa. Elektrivõrku müümise hind sõltub tarbija elektritootja müügilepingust ja energiaturu müügihindadest. Teine eelis on see, et osasid komponente, mida kasutatakse *off-grid* süsteemis, ei ole antud lahenduse juures vaja. Näiteks akud ja tagavaratoiteks mõeldud generaator.

Suurim ja määrav puudus antud lahenduse juures on see, et maapiirkonnas, kus puudub üldelektrivõrgu ulatus, kujuneb selle süsteemi hind märkimisväärselt kõrgeks. Vajalik on silmas pidada ka seda, kui valitud on võrgupõhine inverter, siis elektrikatkestuse korral katkeb ka päikese elektrijaama töötamine. Seega on vajalik stabiilne võrguühendus.

3.2.2 Integreerimine elektrivõrku

Selleks, et integreerida oma päikese elektrijaam võrku, pakub Elektrilevi võimalust liituda mikrotootjana ehk võrku andmisel võib läbilaskevõime olla kuni 15 kW. Seda on võimalik taotleda nii olemasolevale liitumisele kui ka uuele liitumiskohale. Viimasel juhul võivad ehitustööd kesta kuni aasta.

Teisalt peab valitud inverter kuuluma Elektrilevi võrguinverterite nimekirja ning olema vastavuses nõuetega:

- Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiividele 2014/35/EU ja 2014/30/EU;
- Vastavusmärgise olemasolu vastavalt määrusele (EC) nr 765/2008;
- Vabariigi Valitsuse määrusele „Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskiri“.

Seisuga 08.03.2024 on põhiprojektis valitud hübriidinverter SOFAR HYD 10KTL-3PH vastavuses eelnimetatud nõuetega. [14]

Liitumistele ei kättesaadaval kindlat hinnakirja, kuna piirkonnast ja objektist sõltuvalt võivad hinnad oluliselt erineda. Kumpsu puhul esitas autor mikrotootja taotluse Elektrilevile (ELV) mille peale ELV poolne insener uuris liitumisvõimalusi. Vastuseks andis Elektrilevi teada, et liitumise võimaldamiseks, on vaja võrgus teostada suuri lisatöid. Seda vabade võimsuste puudumise tõttu, mida kinnitab ka Elektrilevi vabade võimsuste kaart, mis annab ülevaate keskpinge elektriliinide kasutamata ressursist [15]. Tööd hõlmavad Mustla piirkonna alajaama 35/15 kV üleviimist 110 kV-le. Sellest tulenevalt on esialgsetel andmetel nende tööde maksumus ligikaudu 2 500 000 eurot käibemaksuta, mida peab maksma tellija, ning rekonstrueerimistööde valmimise tähtaeg on 10 aastat. Seega on selle variandi teostamine Kumpsul praeguse seisuga äärmiselt ebasoodne.

Autor võttis Elektrilevilt hinnapakkumise mikrotootjale võrku antava võimsusega 0 kW (Tabel 10). *On-grid*-i puhul tuleb lisaks liitumisele veel juurde liita PEJ komponentide tasud. Antud juhul võib ära kalkulatsioonist välja arvestada akusüsteemi ja generaatori, kuna puudujääv energia võetakse võrgust (Tabel 11). Antud lahenduse puhul pole küll võimalik mingisugust kasumit teenida PEJ poolt toodetud energia võrku müümisel, vähemalt mitte seni kuni vajalikud rekonstrueerimise tööd võrgu tugevdamiseks pole tehtud.

Tabel 10. Elektrilevi hinnapakkumine mikrotootja liitumiseks

Kirjeldus	Kogus	Ühiku maksumus (€)
Madalpingekaabli ehitamine, 370 meetrit	1	16 380
1-kohalise liitumiskilbi ehitamine soklile	1	1500
Jaotuskilbis tarvikute paigaldamine	1	190
Projekt	1	2540
Projektijuhtimise tasu 3,35%	1	690

Kalkulatsioon kokku: 21 300 €

Elektrilevi arenduskohustus: -20%

Käibemaks: 22%

Kalkulatsioon koos (Elektrilevi arenduskohustuse ja käibemaksuga): 20 789 €

Tabel 11. *On-grid* PEJ komponentide tasu

Nimetus	Hind, €	Kogus	Summa, €
Maaraam	1764	1 komplekt	1764
Päikesepaneelid	186	18 moodulit	3348
Hübriidinverter	2230	1 tk	2230
Solar kaabel must	1,5	70 meetrit	105
Solar kaabel punane	1,5	60 meetrit	90
AC kaabel	1,7	16 meetrit	28
Kaablikaitsekõri	24	1 pk (25 meetrit)	24

PEJ komponentide tasu *on-grid* puhul kokku: 7589 €

Seega oleks kogu *on-grid* lahenduse maksumus kokku 28 378 €.

4 ANALÜÜS JA KLIENDI TAGASISIDE

Kuigi võrguga liitumine on üsna lihtne protsess ja lisaks ka küllaltki mugav, tagades tarbijale pideva elektrivarustuse, on sellel siiski omad puudused. Viimased aastad on olnud elektrituru kohta palju halba pressit. Pidevad hinnatõusud, uued maksud ja rikkalikud katkestused tekitavad tarbijates pidevalt kahtlusi ning lahkumisi.

2022. aastal jõudis elektrienergia hind Euroopa Liidus rekordtasemele. Hinnatõus on seotud energia hulgimüügihindade tõusuga kogu maailmas, mis algas 2021. aastal peale COVID-19 pandeemia ja rahvusvahelise nõudluse kasvu. Raskendavat mõju avaldas ka Venemaa sissetung Ukrainasse [16] (Joonis 17).



Joonis 17. Energia tootja- ja tarbijahinnad Euroopa Liidus [17]

Lisaks ähvardab elektri tarbijaid veel üks hinnatõus lähiaastatel. Eesti Energial on plaan maksta elektritootjatele, mis on tõenäoliselt Narva tootmisjaamad, et nad hoiaks hulga tootmisvõimsusi tagavaraks, mida kasutusele võtta siis, kui tekib katkestus välisühendustes ja kohapeal toodetavast elektrist jääb väheks. Nende reservvõimsuste ülalpidamise eest hakkavad maksma tarbijad [18].

Võrguliitumisest ei ole tellija Kumpsu otstarbe tõttu eriti huvitatud. Lõputöö kirjutamise käigus on selgunud, et suvila otstarbel kasutatav Kumpsu elumaja on võimalik elektriga varustada odavamalt, kui seda oleks elektriliitumine. Lisaks kaasneb sellega täielik sõltumatus elektrivõrgust, mis tagab kliendile kontrolli oma süsteemi üle.

Päikeseelektrijaama integreerimine elektrivõrku on kliendile majanduslikult ebasoodne lahendus, kuna see hõlmab nii PEJ ehitamise tasusid kui ka võrguga liitumise tasusid. Küll aga kaasneb selle lahendusega võimalus teenida aastate möödudes ka kasumit. Lisaks on päikesevalguse puudumisel on võrgu tõttu elektrivarustus siiski tagatud. Siiski ei ole seda projekti võimalik hetke seisuga tellija kulul ega ka tehniliselt teostada.

Võrguühenduseta süsteem sai projekteeritud põhimõttega, et sellel oleks piisav varu lisa seadmete jaoks. Projekti maksumus on küll soodsam liitumisest, kuid mitte oluliselt. Siiski ei kaasne selle projekti teostamisel igakuiseid arveid, mida klient oleks kohustatud maksma. Ainukene sõltuv faktor on päikesepaiste, kuid perioodidel mil tellija kavatseb Kumpsul viibida, on PV*SOL simulatsioonide kohaselt päikeseenergia enamasti tagatud. PV*SOL arvutas välja ka süsinikdioksiidheite koguse, mis aastas jääb tekitamata ning see on 243 kilogrammi aasta kohta (Lisa 7). Kliendi tagasiside oli positiivne, töö pakkus piisavalt põhjendust ning vastab tellija soovidele. Tehes erinevaid ohverdusi mugavuste arvelt, on võimalik süsteemi suurust ning sellega ka maksumust vähendada, kuid see on tellija enda otsustada.

Tabel 12. Vaadeldud lahenduste võrdlus

Võrguta PEJ	Võrguliitumine	Võrku integreeritud PEJ
Sõltub päikesest.	Sõltub võrgust.	Sõltub mõlemast.
Kaasnevad ainult hoolduskulud.	Kaasnevad igakuised elektriteenuse tasud, mida tarbija on kohustatud maksma.	Samuti kaasnevad elektriteenusega kaasnevat elektriteenuste tasud, kuid peale rekonstrueerimistöid on tootmisega võimalus kasumit teenida.
Ehitamine võtab aega keskmiselt 3 päeva.	Ehitamine võtab aega kuni aasta.	Kumpsi puhul võtab ehitamine aega kuni 10 aastat.
14 101 €	17 218 €	28 378 €

KOKKUVÕTE

Kumpsu kinnistul puudub elekter, mistõttu puuduvad seal tänapäevased mugavused nagu elektrienergiat nõudva tehnika kasutamine, seega on selle lõputöö eesmärk luua võrguühendust mitte vajav ehk *off-grid* PEJ projekt. Kumpsu talu eluhoone otstarve on suvekodu, kus veedetakse aega enamasti nädalavahetustel ning suvepuhkustel. Esmalt on tutvutud objektiga, kliendi soovidega ning tehtud kindlaks põhiseadmed, mis vajavad elektrivarustust.

Lõputöö käigus on loodud võrguühenduseta PEJ projekt, mis ei nõua elektriliitumise olemasolu ning vastab kliendi soovidele. Lõputöös on kirjeldatud kogu projekti loomise protsessi, komponentide valimise ning analüüsimise metoodika ja majanduslik analüüs. Koostatud projekti teostamine tagab kliendile elektrivarustuse vastavalt kliendi esitatud tarbimismustrile. Lisaks sellele tekitab klient aastas 243 kilogrammi aastas vähem süsinikdioksiidi, mis aitab kaasa kliendi vajadusele vähendada oma süsinikjalajälge. Projektis menetletud komponentide arvutuslik kogumaksumus on 14 101 eurot ja on 3116 eurot odavam kui võrguliitumine. Lisaks säästab tellija umbes 180 eurot iga aasta, mida võrguga liitumise puhul peaks ta võrgutasudes maksma.

Elektrilevile esitatud võrguliitumise ja mikrotootja taotluste käigus on ELV esitanud hinnapakkumused ja infot nende teostamise võimaluste kohta. Lisaks lõi autor nende variantide kohta arvutused, mis annavad kliendile ülevaate nende majanduslikkust tasuvusest.

Lõputöö eesmärk on täidetud ja kliendile projekt ning ülevaade alternatiividest edastatud. Tellija tagasiside oli positiivne, sest töö vastas tema soovidele ning oli selgelt lahti mõtestatud.

SUMMARY

The following thesis *Solar Plant Project for Kumpsu Farm* is written to solve the energy needs of Kumpsu farmstead.

Electricity is an essential modern day commodity and the core of our economy. It is one of the most crucial parts of a home living space. Most of modern day comforts depend on it – light, internet access, heating, etc. When acquiring property for living that has no electricity, a person's first reaction is to request connection to the grid. However, there are other alternatives for supplying electricity to a property nowadays, such as a stand-alone solar power station, which can be much more sustainable for both the wallet and the environment.

The object of observation for this thesis is the house of the Kumpsu farm complex, which is located in Viljandi county, Metsla Village. The objective of the thesis is to design a stand-alone solar power plant to meet the electricity needs of the Kumpsu farmstead.

In the first chapter, the necessary basic information about the object of observation for which the aforementioned project is to be prepared is presented. First of all, the site and the client's requirements have been studied, and the main devices that need to be supplied with electricity have been identified.

The second chapter describes the designing process of the Kumpsu stand-alone solar plant. The purpose of the system is to provide the basic needs of electricity to the client's summer home. The client's personal desires are to reduce their personal carbon footprint and to have as inexpensive yet effective system as possible. During the thesis, a stand-alone solar plant project has been created, which does not require an electrical connection to the grid. The thesis describes the entire process of creating the project, the methodology for component selection and analysis, and an economic analysis. The implementation of the completed project will ensure the supply of electricity to the house according to the customer's consumption pattern. In addition, the customer generates 243 kilograms less carbon dioxide per year, which contributes to the customer's need to reduce their carbon footprint. The total calculated cost of the project is 14 101 euros, which is 3116 euros less than grid connection. In addition, the client saves around €180 every year that he would have to pay in network charges if he were to connect to the grid.

The third chapter takes a look at the grid connection solution. Its advantages, disadvantages and costs are analysed. The chapter gives an overview of the feasibility of the solution in the light of the customer's wishes and needs. In addition, it analyses the potential of integrating the solar plant reflected in the main project with the grid. The aim

of the analysis is to provide the client with an insight into its feasibility. At the end of the thesis, all three solutions are compared and analysed against each other. Their perspectives and feasibility with respect to the needs of Kumpsu farmstead will be taken into account and conclusions are drawn. In addition, the author created calculations for these options, which give the customer an overview of their economic viability.

The objective of the thesis has been fulfilled and the project and the overview of the alternatives have been communicated to the client. The feedback from the client was positive, as the work met their requirements and was clearly explained.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] „Kiirpäring maakatastrist,” Maa-amet, [Vörgumaterjal]. Available: <https://xgis.maaamet.ee/ky/79701:004:0024>. [Kasutatud 19. märts 2024].
- [2] „foto, Viljandimaa, Metsla küla, Kumpsu talu, elumaja, 1926,” Ajapaik, [Vörgumaterjal]. Available: <https://ajapaik.ee/photo/274139/foto-viljandimaa-metsla-kula-kumpsu-talu/>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [3] „PV*SOL premium,” Valentin Software, [Vörgumaterjal]. Available: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>. [Kasutatud 18. märts 2024].
- [4] „Easun,” 19. detsember 2023. [Vörgumaterjal]. Available: <https://us.easunpower.com/blogs/news/understanding-off-grid-and-hybrid-inverters-unveiling-the-power-behind-sustainable-energy-solutions>. [Kasutatud 25. Märts 2024].
- [5] „Energiasääst kodus,” Energiatalgud, 19. detsember 2022. [Vörgumaterjal]. Available: <https://energiatalgud.ee/hoiamekokku?category=1695>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [6] „Luminous Efficacy of Lamps,” TRILUX, [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.trilux.com/en/lighting-practice/lighting-equipment/light-sources/characteristics-of-light-sources/luminous-efficacy/>. [Kasutatud 27. aprill 2024].
- [7] „Generators,” Family Handyman, 29. veebruar 2024. [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.familyhandyman.com/article/choosing-the-best-power-generator/>. [Kasutatud 27. märts 2024].
- [8] „Solar Cable,” CopTech, [Vörgumaterjal]. Available: <https://www.coptechwire.com/solar-cable/>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [9] „Ühenduse loomine,” 27. veebruar 2024. [Vörgumaterjal]. Available: <https://elektrilevi.ee/et/liitumised/elektritootja-liitumine>.
- [10] „Vörgulepingu sõlmimine,” Elektrilevi, [Vörgumaterjal]. Available: <https://elektrilevi.ee/et/vorguleping/vorgulepingu-solmimine>. [Kasutatud 22. aprill 2024].
- [11] „Elektrilevi vörguteenuse hinnakiri,” Elektrilevi, 01. jaanuar 2023. [Vörgumaterjal]. Available: https://www.elektrilevi.ee/documents/8644141/8658446/Elektrilevi_hinnakiri_vorguteenuse_hinnad_alates_1_jaanuar_2023_EST.pdf. [Kasutatud 04. märts 2024].

- [12] „Uudised,” Elering, 27. november 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.elering.ee/tarbijatelt-kogutav-taastuenergia-tasu-langeb-2024-aastal-viie-aasta-madalaimale-tasemele>. [Kasutatud 17. märts 2024].
- [13] „Energia,” Enefit, 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.energia.ee/era/elekter/elektriturg>. [Kasutatud 28. veebruar 2024].
- [14] „Mikrotootja (kuni 15 kW),” Elektrilevi, 08. märts 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://elektrilevi.ee/et/liitumised/mikrotootja>. [Kasutatud 14. aprill 2024].
- [15] „Vabade võimsused,” Elektrilevi, [Võrgumaterjal]. Available: <https://elektrilevi.ee/et/liitumised/vabad-voimsused>. [Kasutatud 22. aprill 2024].
- [16] „Energiahinna tõus alates 2021. aastast,” Euroopa Ülemkogu, 27. jaanuar 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/et/infographics/energy-prices-2021/>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [17] „Energy prices on the rise in the euro area in 2021,” Eurostat, 10. veebruar 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/edn-20220210-2>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [18] „VEEL ÜKS HINNATÕUS! Elektriarvele tuleb üks rida juurde,” Õhtuleht, 25. aprill 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.oh tuleht.ee/rahatarkus/1105593/veel-uks-hinnatous-elektriarvele-tuleb-uks-rida-juurde>. [Kasutatud 28. aprill 2024].
- [19] M. Hankins, Stand-Alone Solar Electric Systems - The Earthscan Expert Handbook for Planning, Design and Installation, London: Earthscan, 2010.
- [20] „Elektrihind,” 2024. [Võrgumaterjal]. Available: <https://elektrihind.ee/paketid>. [Kasutatud 27. veebruar 2024].

LISAD

Lisa 1. Global Solar Atlas raport

Lisa 2. Valitud päikesepaneeli infoleht

Lisa 3. Valitud inverteri tooteleht

Lisa 4. Valitud akupaketi tooteleht

Lisa 5. Asendiplaan

Lisa 6. Lihtsustatud ühendusskeem

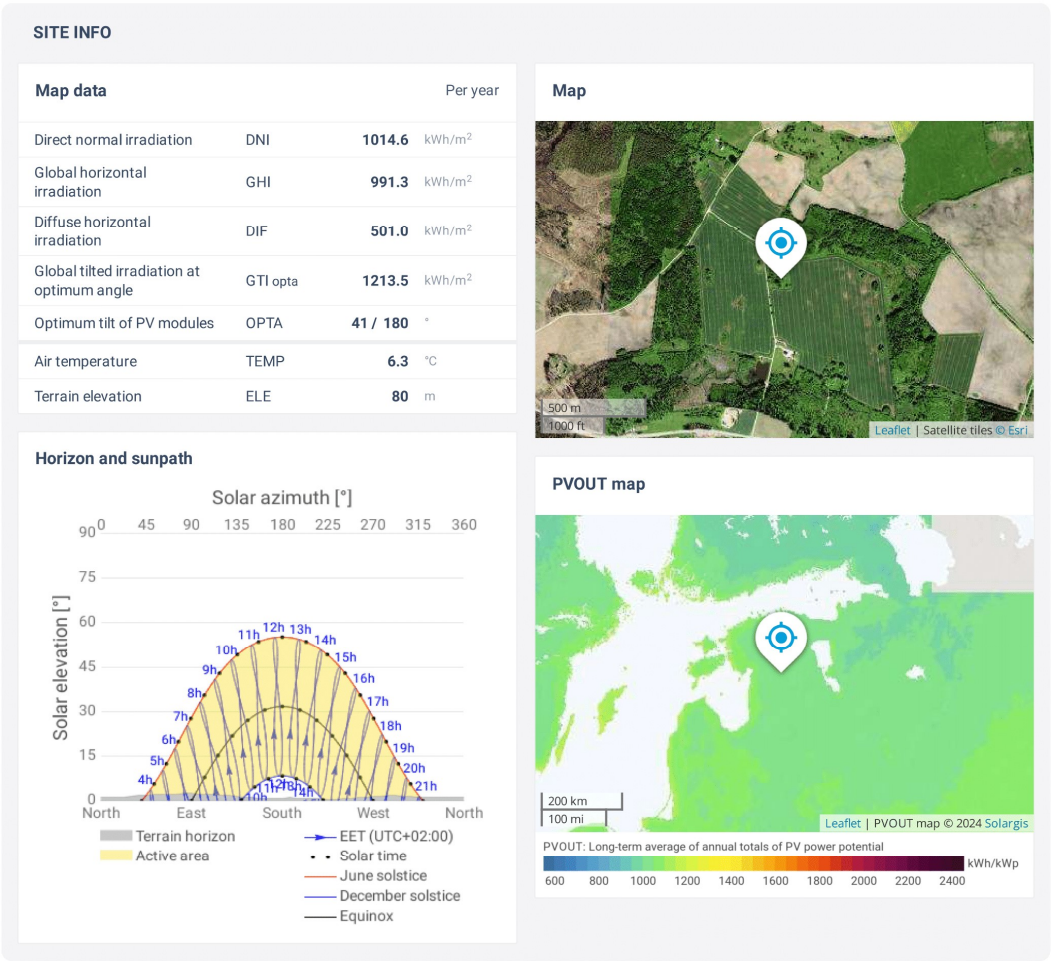
Lisa 7. PV*SOL Raport

Lisa 1. Global Solar Atlas raport

GLOBAL SOLAR ATLAS
BY WORLD BANK GROUP

Metsla küla
58.257373°, 025.757374°
Viljandi – Rõngu, Metsla küla, Estonia
Time zone: UTC+02, Europe/Tallinn [EET]

Report generated: 26 Feb 2024



Lisa 2. Valitud päikesepaneeli infoleht

2022 V4



LEAPTON
SOLAR

Monofacial

Bifacial

LP210*210-M-66-MH

Rated Power 650-670W



MBB Cell

New circuit design, lower internal current, lower internal resistance loss.



Low Light Features

Higher performance under low light environment.



Higher Output Power

Module adopts 132 pcs of 210*210mm half cells, the maximum power can reach 670W.



PID Protection

Ensure the attenuation probability caused by PID phenomenon is minimized.



Harsh Environmental Adaptability

Strict salt spray and ammonia corrosion test by TUV Nord.

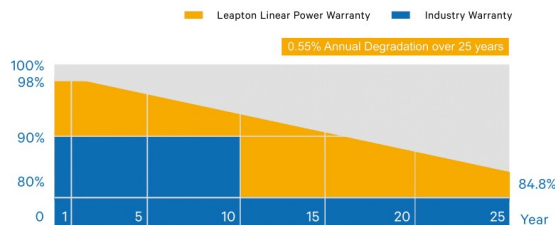


Load Capacity

Mechanical load tests including wind load 2400 Pa and snow load 5400 Pa done by TUV Nord.



Leapton Energy Co., Ltd.



*J-PEC Product



IEC 61215-2: 2016
IEC 61730-2: 2016

Headquarter : Leapton Energy Co., Ltd.

📍 Tosei Bldg. 6F, 1-2-1 Aioi-cho, Chuo-ku Kobe-shi, Hyogo, 650-0025, Japan

Manufacturer : Leapton Solar (Changshu) Co., Ltd.

📍 No.9, Sunshine Avenue, Changshu City, Jiangsu, China

☎ +81-78-382-3182

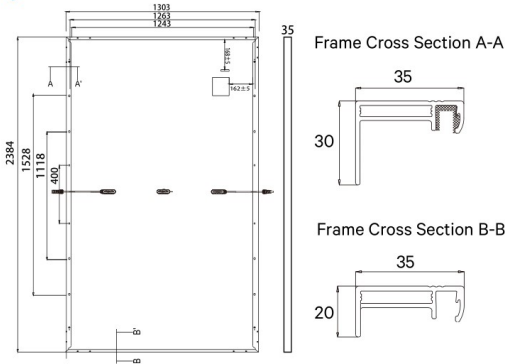
🌐 www.leaptonenergy.jp

☎ +86-512-88800068

✉ info@leaptonenergy.com

🌐 www.leaptonpv.com

MECHANICAL DIAGRAMS



SPECIFICATIONS

Weight	34kg
Dimensions	2384mm*1303mm*35mm
Cell Dimensions	210*210mm
Cell Amount	66*2 pcs
Maximum System Voltage	1500V
Junction Box	IP68
Frame	Aluminum Alloy
Cable	4mm ² , N 320mm/P 320mm or customized length
Connector	MC4 compatible
Application Level	Class A

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

Power	650W	655W	660W	665W	670W
Open Circuit Voltage	45.58V	45.78V	45.98V	46.18V	46.38V
Short Circuit Current	18.16A	18.21A	18.26A	18.31A	18.36A
Maximum Power Voltage	37.61V	37.81V	38.01V	38.21V	38.41V
Maximum Power Current	17.28A	17.32A	17.36A	17.40A	17.44A
Module Efficiency	20.92%	21.09%	21.25%	21.41%	21.57%

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NMOT

Power	491W	495W	499W	503W	507W
Open Circuit Voltage	42.30V	42.48V	42.67V	42.86V	43.04V
Short Circuit Current	14.89A	14.93A	14.97A	15.01A	15.06A
Maximum Power Voltage	34.86V	35.05V	35.24V	35.42V	35.61V
Maximum Power Current	14.09A	14.13A	14.16A	14.19A	14.23A
Module Efficiency	15.82%	15.94%	16.06%	16.18%	16.32%

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

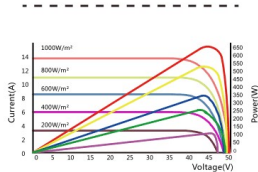
NMOT	41±3°C	Temp Coefficient of ISC	+0.04%/°C
Temp Coefficient of VOC	-0.25%/°C	Temp Coefficient of Pmax	-0.34%/°C

PACKING CONFIGURATION

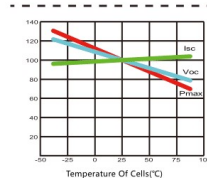
Modules/Pallet	32 Pieces	Modules/40'Container	576 Pieces
Packing Description	18 Pallets, Total=32x18=576 Pieces		

CHARACTERISTICS

LP210*210-M-66-MH-660W



LP210*210-M-66-MH-660W



MAXIMUM RATING

Output Tolerance	0~+5W
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Wind Load/Snow Load	2400pa/5400pa
Fuse Current	30A

15 YEARS Quality Warranty

25 YEARS Power Warranty

Headquarter : Leapton Energy Co., Ltd.

📍 Tosei Bldg. 6F, 1-2-1 Aioi-cho, Chuo-ku Kobe-shi, Hyogo, 650-0025, Japan

Manufacturer : Leapton Solar (Changshu) Co., Ltd.

📍 No.9, Sunshine Avenue, Changshu City, Jiangsu, China

☎ +81-78-382-3182

🌐 www.leaptonenergy.jp

☎ +86-512-88800068

✉ info@leaptonenergy.com

🌐 www.leaptonpv.com

Lisa 3. Valitud inverteri tooteleht



HYD
10K~20KTL-3PH
10000 / 15000 / 20000

Three-Phase
Energy storage integrated inverter

- 4 MPPT** 2 MPPT input, more flexible configuration
- APF** APF mode, improved grid power quality
- Diversified work patterns and rapid gains**
- 0123 4567 89** Full digital control, higher control accuracy
- Multiple parallel systems, more flexible system solutions**
- Off-grid output can be connected to unbalanced load, three-phase separate output is supported**

✉ info@sofarsolar.com **f** SOFAR SOLAR Global  www.sofarsolar.com

Datasheet	HYD 10KTL-3PH	HYD 15KTL-3PH	HYD 20KTL-3PH
Battery Input Data			
Battery type		Li-Ion	
No. of battery input		2	
Battery voltage range		180V-800V	
Battery voltage range for full load	200V-800V	300V-800V	400V-800V
Max. charging/discharging power	10000W	15000W	20000W
Max. charging/discharging current		50A(25A/25A)	
Peak charging/discharging current, Duration		70A(35A/35A), 60s	
Charging strategy for battery		Self-adaption to BMS	
Battery capacity		25Ah—100Ah	
Communication interfaces		CAN(RS485)	
PV String Input Data			
Recommended Max. PV input power	15000Wp(7500Wp/7500Wp)	22500Wp(11250Wp/11250Wp)	30000Wp(15000Wp/15000Wp)
Max. DC voltage		1000V	
Start-up operating voltage		200V	
MPPT voltage range		180V-960V	
Nominal DC voltage		600V	
Full power MPPT voltage range	220V-850V	350V-850V	450V-850V
Max. input current		25A/25A	
Max. short current		30A/30A	
No. of MPP trackers		2	
No. of strings per MPP tracker		2	
AC Output Data (On-grid)			
Nominal AC power	10000W	15000W	20000W
Max. AC power output to utility grid	11000VA	16500VA	22000VA
Max. AC power from utility grid	20000VA	30000VA	40000VA
Max. AC current output to utility grid	16A	24A	32A
Max. AC current from utility grid	29A	44A	58A
Nominal grid voltage		3/N/PE, 220/380Vac, 230/400Vac	
Grid voltage range		184Vac—276Vac	
Nominal grid frequency		50/60Hz	
Grid frequency range		45Hz—55Hz/55Hz—65Hz	
Output power factor		~1(0.8 leading to 0.8 lagging)	
Output THDi (@Nominal output)		<3%	
AC Output Data (Back-up)			
Nominal output power	10000W	15000W	20000W
Max. output power	11000VA	16500VA	22000VA
Peak output power, Duration	15000VA, 60s	22000VA, 60s	22000VA, 60s
Max. output current	16A	24A	32A
Peak output current, Duration	22A, 60s	32A, 60s	32A, 60s
Nominal output voltage		3/N/PE, 220/380Vac, 230/400Vac	
Nominal output frequency		50/60Hz	
Output THDv (@Liner load)		<3%	
Switch time		<20ms	
Efficiency			
MPPT efficiency		99.9%	
Euro efficiency	97.0%	97.5%	97.8%
Max. efficiency	97.5%	97.8%	98.0%
Max. battery charge/discharge efficiency	97.2%	97.5%	97.7%
Protection			
DC switch		Yes	
PV reverse polarity protection		Yes	
Output over current protection		Yes	
Output over voltage protection		Yes	
Anti-islanding protection		Yes	
Residual current detection		Yes	
Insulation resistor detection		Yes	
Surge protection level		II	
Battery reverse protection		Yes	
General Data			
Dimension		565*508*244mm	
Weight		37kg	
Inverter topology		Transformerless	
Standby self-consumption		<10W	
Operating temperature range		-30℃—+60℃	
Relative humidity		0—100%	
Noise		<45dB	
Operating altitude		<4000m	
Cooling		Forced airflow	
Protection degree		IP65	
Feature			
DC terminal		MC4	
Grid AC terminal		5P Connector	
Back-up AC terminal		5P Connector	
Display		LCD Display	
Monitoring interfaces		Bluetooth / RS485 / WIFI / GPRS (optional)	
Parallel operation		Yes	
Standard warranty		Standard 5 years	
Certifications & Standards			
EMC		EN61000-6-1, EN61000-6-3	
Safety		IEC62109-1, IEC62109-2, NB-T32004/IEC62040-1	
Grid		AS/NZS 4777, VDE V 0124-100, V0126-1-1, VDE-AR-N 4105, CEI 0-21, EN50549, G98/G99, UTE C15-712-1	

Lisa 4. Valitud akupaketi tooteleht



Intelligent Batteries System



Battery Distribution Unit

Battery Module



Battery Distribution Unit

Battery Modules

BTS E5~20-DS5

E5 / E10 / E15 / E20

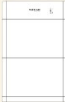
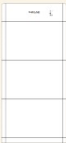
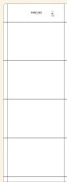
-  Modular and integrated design for easy transportation and installation
-  More available battery energy with pack optimization
-  Batteries flexible expansion in stages
-  Extremely low battery self-consumption in sleep mode
-  Batteries one-button shutdown

 info@sofarsolar.com

 www.sofarsolar.com

Model	BTS E5-DS5		BTS E10-DS5		BTS E15-DS5		BTS E20-DS5	
System Parameters								
System Schematic								
Battery type	LFP							
Battery distribution unit	BTS 5K-BDU							
Qty.of battery distribution unit	1							
Battery module	BTS 5K							
Qty.of battery modules	1		2		3		4	
Battery total energy [1]	5kWh		10kWh		15kWh		20kWh	
Rated power	2.5kW		5kW		7.5kW		10kW	
Rated voltage	400V							
Voltage range	350V~435V							
Rated charge/ discharge current	7A		14A		21A		28A	
Degree of protection	IP65							
Ambient temperature range	-10℃~+45℃							
Allowable relative humidity range	5%~95%							
Max. operating altitude [2]	4000m							
Weight	59kg		110kg		161kg		212kg	
Dimension (W*D*H)	708*170*680mm		708*170*1100mm		708*170*1520mm		708*170*1940mm	
Installation	Floor stand							
Cooling	Natural							
Display	LED indicator							
Communication	CAN							
Warranty [3]	10 Years							
Compatible inverters	Refer to BTS E5~20-DS5 configuration list							
Battery Module								
Model	BTS 5K							
Battery module energy [1]	5kWh							
Depth of discharge (DOD)	90.0%							
Rated power	2500W							
Dimension (W*D*H)	708*170*420mm							
Weight	50kg							
Battery Distribution Unit								
Model	BTS 5K-BDU							
Max. charge/ discharge current	35A							
Dimension (W*D*H)	708*170*200mm							
Weight	7.5kg							
Standard								
Certificates	UN38.3, IEC62619, IEC62040-1, SAA etc.							

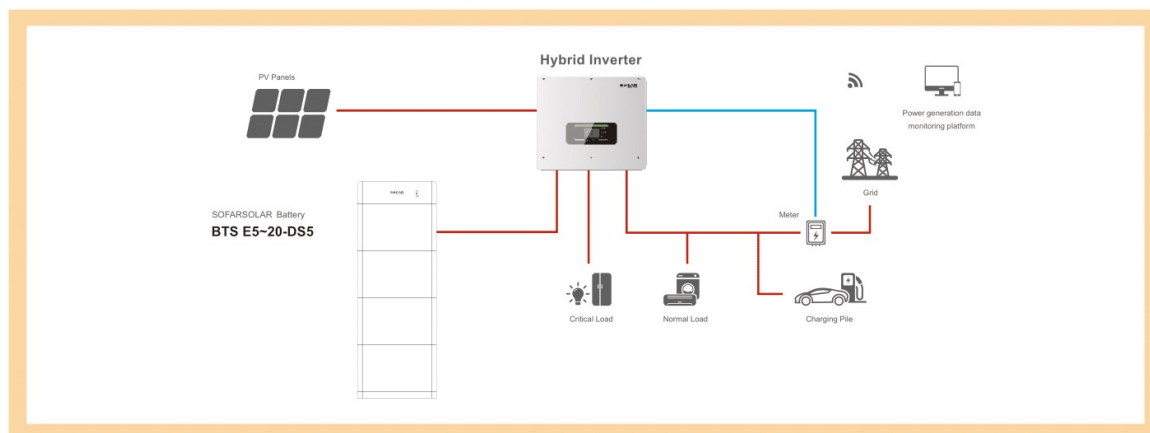
[1] Test conditions:0.2C charge/discharge at 25℃,100%DOD.

[2] If the altitude is > 2000m, derating operation is required, refer to the derating curve.

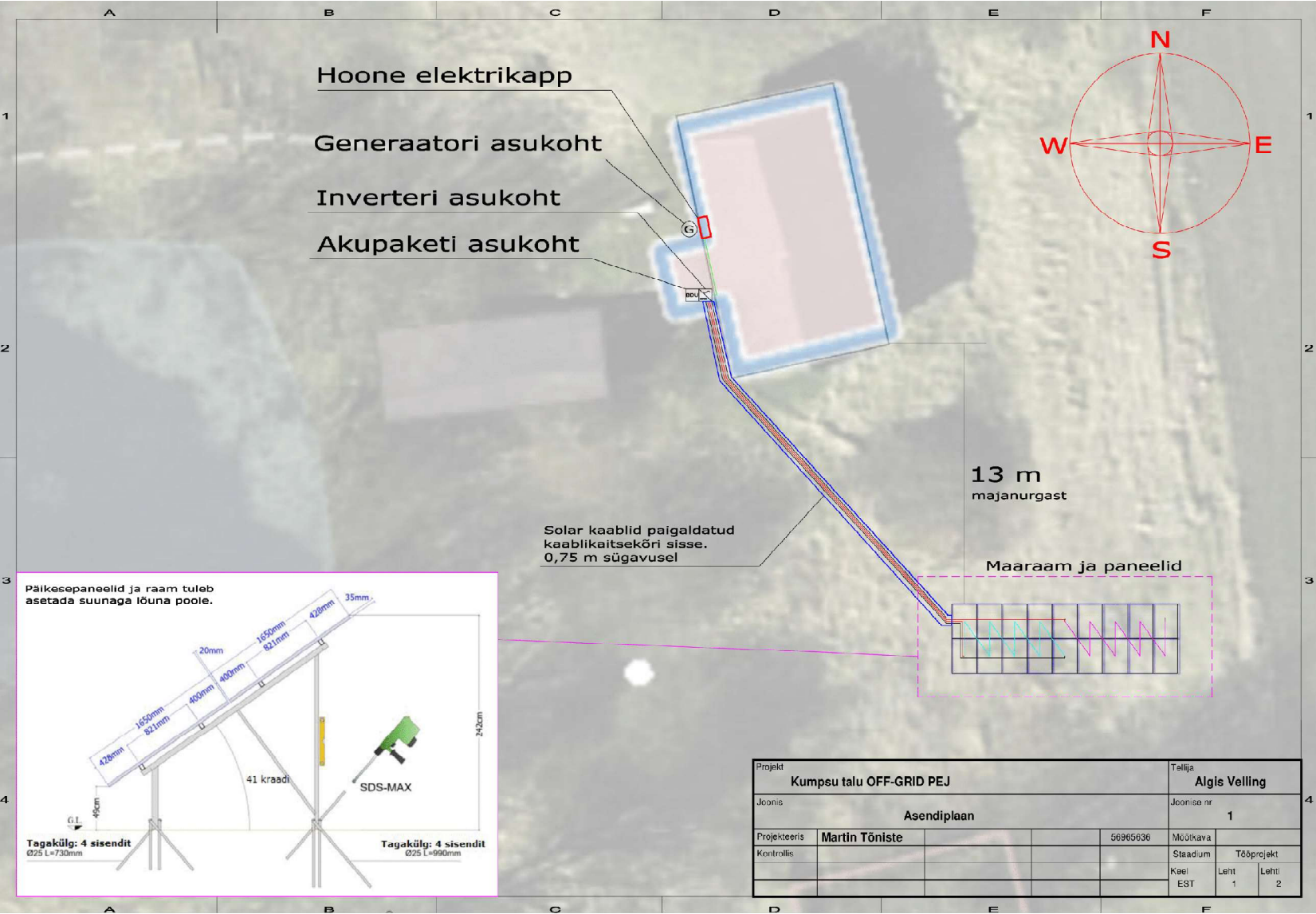
[3] Conditions apply. Refer to Sofar battery warranty letter.

BTS E5 / E10 / E15 / E20-DS5_EN_202203_V1

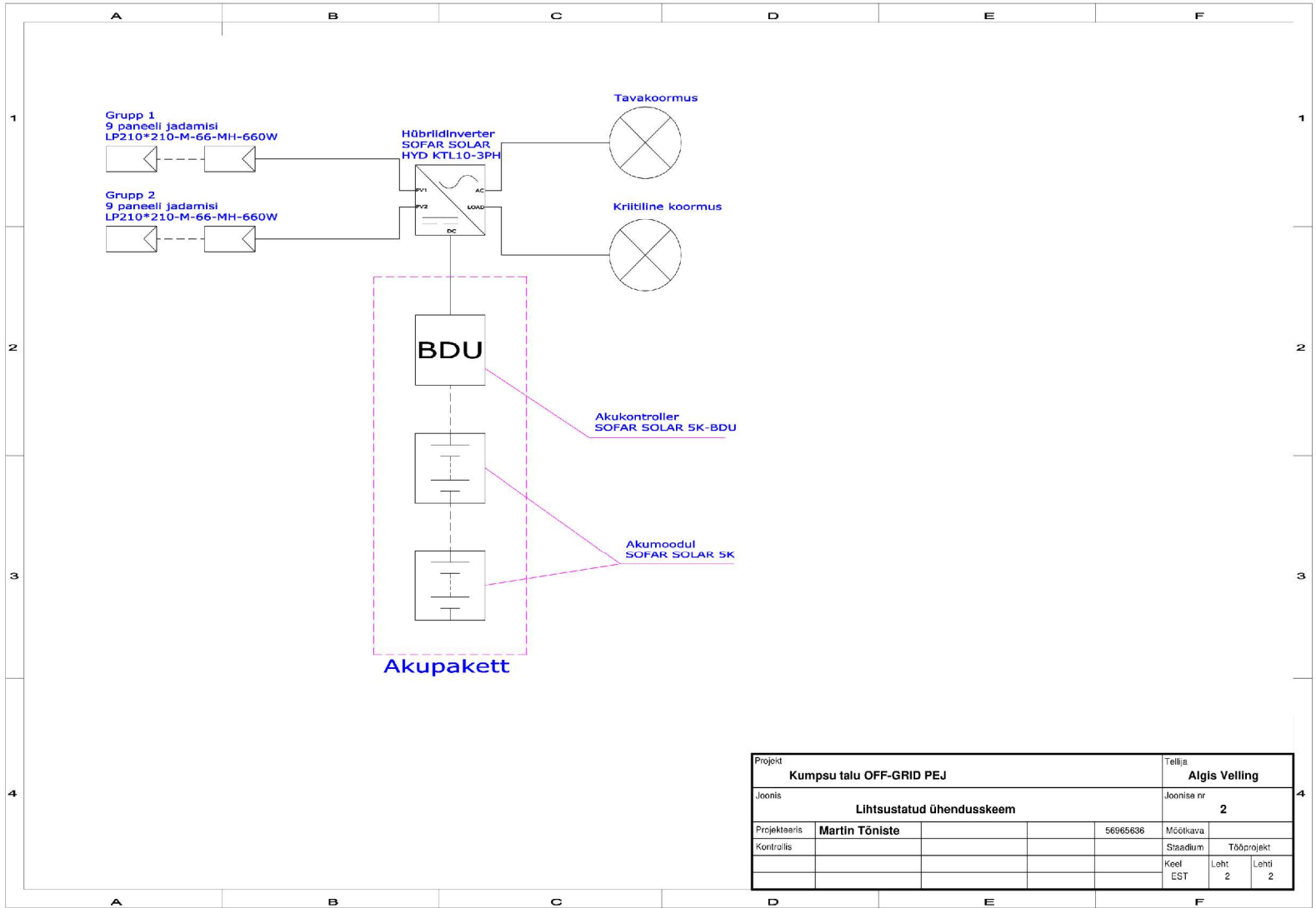
Hybrid Solar System



Lisa 5. Asendiplaan



Lisa 6. Lihtsustatud ühendusskeem



Lisa 7. PV*SOL Raport

Kumpsu_PEJ_PVSOL_Raport.pdf