



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**Päikesepaneele sisaldava automaatse
küttesüsteemi väljatöötamine**
**Development of an automatic heating system with
solar panels**
BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Konstantin Datov

Üliõpilaskood: 193445

Juhendaja: Madis Lehtla, vanemlektor

Tallinn 2022

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“20” detsember 2022.

Autor: Konstantin Datov

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“20” detsember 2022.

Juhendaja: Madis Lehtla

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Konstantin Datov

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Päikesepaneeli sisaldava automaatse küttesüsteemi väljatöötamine“, mille juhendaja on Madis Lehtla,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

18.05.2022

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

TalTech Instituudi nimetus

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Konstantin Datov 193445

Õppekava, peeriala: EAAB, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Juhendaja(d): Madis Lehtla, vanemlektor

Lõputöö teema:

(eesti keeles) päikesepaneeli sisaldava automaatse küttesüsteemi väljatöötamine

(inglise keeles) development of an automatic heating system with solar panels

Lõputöö põhieesmärgid:

1. PV-päikesepaneelide tööpõhimõtte küttesüsteemis
2. Uurida, kas saab oma maamajas päikesepaneelidega hoida temperatuuri +22°C

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Arvutada soojuskadu maamajas	15.03.22
2.	Küttesüsteemi kirjeldamine	21.03.22
3.	Valida päikesepaneelid	24.03.22
4.	Paneelide paigalduskoha valik	29.03.22
5.	Arvutada, kui palju energiat toodavad päikesepaneelid erinevatel aastaaegadel	3.04.22
6.	Plokkide valik küttesüsteemi jaoks	16.04.22
7.	Kokkuvõte	25.04.22

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "21" detsember 2022a

Üliõpilane: Konstantin Datov "20" detsember 2022a
/allkiri/

Juhendaja: Madis Lehtla "20" detsember 2022a
/allkiri/

Konsultant: "20" detsember 2022a
/allkiri/

Programmijuht: "20" detsember 2022a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

SISUKORD.....	5
SISSEJUHATUS	6
1 PÄIKESEPANEELID	8
1.1 Päikesepaneelide ajalugu	8
1.2 Päikesepaneelide rakendamine	9
1.3 Fotoelektrilised paneelid	12
2 KÜTTESÜSTEEMI VÄLJATÖÖTAMINE	14
2.1 Automaatika	15
2.2 Köetav objekt.....	18
3 PÄIKESEPANEELI PAIGALDUSNURGA VALIK	22
3.1 Tootlikkuse suurendamise meetod	24
3.2 Toodetava energia arvutamine	25
4 ENERGIA KOGUMINE.....	33
5 PANEELIDE PAIGALDAMINE.....	34
6 VAHELDI.....	35
7 KÜTTESÜSTEEM.....	37
8 ENERGIA TOOTMINE KEVADEST SÜGISENI	41
8.1 Paneelidega toodetava energia arvutus.....	41
8.2 Majanduslikud arvutused	44
KOKKUVÕTE	46
KASUTATUD ALLIKAD.....	47

SISSEJUHATUS

Töö pealkirjas märgitud teema valikul oli olulisel kohal huvi päikesepaneelide sisaldavate küttesüsteemide vastu. Teiseks põhjuseks oli praegu renoveeritav maamaja, mille puhul tekkisid päikesepaneelide valiku ja maksumuse küsimused. Eesmärgiks on kasutada toodetud elektrienergiat majapidamiseks või alternatiivsena küttesüsteemina puidu kütte kõrvale. Päikesepaneelide toodetud energiat sooviti kasutada kütteks eeskätt kui maamajas ei elata. Sest nagu elu näitab inimesed ei ela maamajades aastaringelt, kuid väga tahaks et ka talvel oleks maamaja sama soe nagu suvel.

Ühtlasi sooviti viia ellu unistused keskkonnasõbralikest küttesüsteemidest. Taastuvenergiaga põhinev energiavarustus on praegusel ajal üha enam populaarsust koguv teema. Kasvava elektrienergia vajaduse ja fossiilkütuste hinna tõusust tulenevalt leiti et, praegusel ajal on eriti aktuaalne kasutada maamaja renoveerimisel taastavenergiat. Veel üks põhjus miks soovin kasutada just fotoelektrilised paneelid, sest on võimalus müüa üleliigset energiat ja teenindada sellest raha.

Taastuvenergia kasutamine säästab ka meie loodust. Taastuvad energiaallikad on vesi, tuul, päike, laine, tõus ja mõõn, maasoojus, prügilagaas, heitvee puhastamisel eralduv gaas, biogaas ja biomass. Nendest allikatest toodetud energia on taastuvenergia.

Päikese, tuule ja vee energiat oskuslikult kasutades, saab teha tavalisest maamajast soodne ökomaja. Automaat küttesüsteem võib väga lihtsustada meie elu kuid ei saa täiesti vabaneda kütteprobleemidest. Eesmärgiks oli teha võimalikult efektiivse automaatne küttesüsteem kasutades päikesepaneelide.

Bakalaureusetöö eesmärgiks oli seega uurida usaldusväärseid allikaid, ning refereerimise ja analüüsimise põhjal tõestada või ümber lükata väide, et piiratud pinnal paigaldatud päikesepaneelid suudavad piisavalt energiat toota küttesüsteemi jaoks ka talvisel ajal ning hoida maamaja sisest temperatuuri. See võimaldaks talvel, siis kui pole võimalust maamajas pidevalt elada ja maja puudega kütta, saaks päikesepaneel kasutada alternatiivse küttesüsteemina. Bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida millised on päikesepaneelide peamised puudused, mis mõjutavad negatiivselt päikesepaneelide energia tootmist, et uurida, kui palju päikesepaneelide saab objektile paigaldada, kui palju maksab kogu päikesepaneelidel põhineva küttesüsteemi paigaldamine ja ka uurida päikesepaneelide parimat asukohta maamaja ümbritseval krundil, luues päikeseenergia tootmiseks kõige soodsamad tingimused. Bakalaureusetöö autor tutvus erinevate teemakohaste uuringutega, päikeseenergia süsteemidega ning päikeseenergia kasutuse võimalustega.

Bakalaureusetöö eesmärkide saavutamiseks on lahendatud järgmised ülesanded:

- 1) Arvutada soojuskadu maamajas
- 2) Küttesüsteemi kirjeldamine
- 3) Valida päikesepaneeli
- 4) Paneelide paigalduskoha valik
- 5) Arvutada, kui palju energiat toodavad päikesepaneelid erinevatel aastaegadel
- 6) Plokkide valik küttesüsteemi jaoks
- 7) Kokkuvõtete

Bakalaureusetöö koosneb viiest osast. Esimeses osas on kirjeldatud päikese paneelide ajalugu, kuidas nad töötavad ja mis variandid on olemas. Teine osa on kirjeldatud küttesüsteemi plaan maamajas, kasutades päikesepaneelide taastuenergia allikatest päikeseenergiat. Kolmas osa kirjeldab kuidas paneeli kaldenurk selle jõudlust mõjutab. Neljas osa kirjeldab kui palju on vaja päikese paneele et hoida maamaja temperatuuri 22 kraadi. Viies osa kirjeldab kui palju paneele on võimalik paigaldada territooriumis ja mis temperatuuri on võimalik majas hoida.

Töö on koostatud kirjanduse ning veebilehtedelt leiduva informatsiooni refereerimise ning analüüsimise põhjal. Palju abi oli varasemalt bakalaureuseõppes olnud ainetest „soojustehnika “. [1]

1 PÄIKESEPANEELID

1.1 Päikesepaneelide ajalugu

Fotoelektrilised päikeseelemendid on õhukesed räniplaadid, mis muudavad päikesevalguse elektriks. Päikesepaneelide kasutamine on tänapäeval aktuaalsem kui kunagi varem, sest need toimivad energiaallikatena paljudes valdkondades, sealhulgas telekommunikatsioonis, kosmosetööstuses, meditsiinis, sides, mikroelektronikas jne. Päikesepaneelide suurte massiividena kasutatakse erinevates satelliitides ja päikeseelektrijaamades.

Fotoelektriliste päikesepaneelide ajalugu algab 19. sajandil ja nende valmistamise tehnoloogia arenes üllatavalt kiiresti. Arengule aitasid kaasa erinevad teadusuuringud päikeseenergia elektrienergiaks muutmise valdkonnas. Juba aastal 1839 tutvustas Antoine-César Becquerel enda loodud keemiapatareid, mis tekitas päikese mõjul elektrit. Esimese päikesepatarei kasutegur oli vaid 1%. See tähendab, et ainult üks protsent päikesevalgusest muudeti elektriks. Aastal 1873 avastas Willoughby Smith seleeni valgustundlikkuse ning aastal 1877 märkisid Adams ja Day, et seleen tekitab valgusega kokkupuutel elektrivoolu. Charles Fritts kasutas 1880. aastal kullatud seleeni esimese päikesepatarei tootmiseks, mille kasutegur oli samuti vaid 1%. Hoolimata madalast kasutegurist pidas Fritts oma fotoelektrilist päikesepatareid revolutsiooniliseks. Ta nägi tasuta päikeseenergia kasutamist vahendina energiavarustuse mitmekesistamiseks, ennustades, et toodetavad päikesepaneelid asendavad peagi olemasolevad elektrijaamad.

Pärast Albert Einsteini poolt 1905. aastal avaldatud selgitusega valgusosakestest, mida hiljem nimetati fotoniteks, tekkisid lootus suurema efektiivsusega päikesepatareide loomiseks. Edasiminekuks oli siiski aeglane ja alles 20. sajandi keskel andis teadlastele vajalikke teadmisi pooljuhtide (diodide ja transistoride) alased uurimused. 1954. aastal valmistasid Gordon Pearson, Darryl Chapin ja Cal Fuller ränist päikesepatarei, mille efektiivsus oli juba 4%. Seejärel saavutati elemendi kasuteguriks 15%. Fotoelektrilisi päikesepaneelide kasutati esmakordselt maapiirkondades ja kaugemates linnades telefonisüsteemi toiteallikatena, kus neid on edukalt kasutatud juba aastaid.

Praegu ei suuda päikesepaneelid veel täielikult inimkonna energiavajadust rahuldada, kuid neist on saanud näiteks peamine energiaallikas tehiskaaslaste varustamisel elektriga. Muud alternatiivid, nagu kütuseelemendid ja akud olid kosmoses kasutamiseks liiga rasked. Päikesepaneelidel on suurem võimsuse ja kaalu suhe kui kõigil teistel tavapärasel energiaallikatel ning need on kulutõhusamad.

Siiani paigaldatud suuremahuliste fotogalvaaniliste elementidega elektrisüsteemide arv on väike. Enamik jõupingutusi on suunatud nende abiga kaugemate ja raskesti ligipääsetavate kohtade elektrivarustusele. Aastas paigaldatavate päikeseelektrijaamade võimsus on ligikaudu 50 megavatti. Päikesepaneelid annavad praegu siiski vaid umbes 1 protsendi kogu toodetud elektrist.

Päikeseenergia pooldajad väidavad, et igal aastal Maa pinnale jõudev päikesekiirguse hulk võib kergesti mitmekordselt katta maa energiavajaduse. Sellegipoolest on päikesepaneelide arendamisel veel pikk tee käia, enne kui Charles Frittsi unistus tasuta või taskukohasest päikeseenergiast teoks saab.

Kaasaegsed päikesepaneelid koosnevad fotogalvaaniliste elementide ahelast – pooljuhtseadistest, mis muudavad päikeseenergia otse elektrivooluks. Päikeseenergia elektrivooluks muundamise protsessi nimetatakse fotoelektriliseks efektiks. Selle nähtuse avastas prantsuse füüsik Alexander Edmond Becquerel 19. sajandi keskel. Esimese töötava fotosilma lõi pool sajandit hiljem vene teadlane Aleksandr Stoletov. [2], [3]

1.2 Päikesepaneelide rakendamine

Päikesepaneeli rakendatakse tänapäeval koos jõupooljuhtmuundurite (vaheldite ehk inverterite) ja vajadusel ka energiasalvestusseadmetega, nt. akudega.

Aku laetusse taset jälgitakse pidevalt. Kui see on madal, lülitab kontroller päikesepaneeli sisse. Kõrge laetusse korral lülitab sama seade paneeli välja. Inverter muundab voolu alalisvoolust vahelduvvooluks. Selle abil tekib elektrijaama väljundisse alalispinge 230V. See võimaldab elektrijaamast ühendada ja toita kodumasinaid. [4], [5]

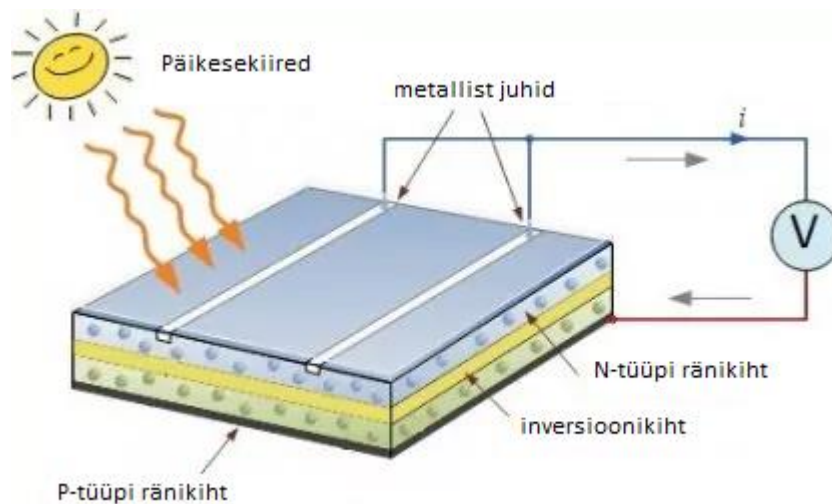
Paneelide paigaldamiseks on erinevaid võimalusi – hoonetele katustele, seintele või maapinnale.



Joonis 1.1. Fotoelektrilised päikesepaneelid katusel [6]

Fotoelektrilisi päikesepaneele on kolm levinumat tüüpi:

1. Monokristalliline. Need on õhukesed plaadid kõige puhtamast ränist, mis on lõigatud tehistingimustes kasvatatud kristallist. Kõige tõhusam liik, mille kasutegur on umbes 17-18%. Optimaalne töötemperatuur on 5 °C kuni 25 °C.
2. Polükristalliline. Valmistatud plaatidest, mis on saadud ränisulandi järkjärgulise jahutamise teel. Nende tootmise tehnoloogiad on vähem töömahukad, kuid polükristallidest valmistatud fotogalvaaniliste elementide kasutegur on oluliselt madalam - mitte rohkem kui 12%.
3. Amorfne. Need on kiled. Toodetud aurustusfaasi meetodil, mille tulemusena sadestub õhukese kilena räni elastsele polümeeralusele. See on odavaim tootmismeetod kuid madala kasuteguriga kuni 7%.



Joonis 1.2. Fotoelektrilise päikesepaneeli skeem [7]

Põhjapoolsetes piirkondades autonoomsete küttesüsteemide paigaldamiseks peetakse kõige sobivamaks võimaluseks ühekristallelementidest kokkupandud fotogalvaanilisi akusid. Amorfsete moodulitega akusid on aga lihtsam paigaldada, need on aluse suhtes praktiliselt vähenõudlikud ja palju odavamad.

Kuid isegi kõige hoolikamad arvutused ei aita teil määrata täpset energiahulka, mida paneel suudab toota, ega luua kiiresti tõhusat ja tõrgeteta süsteemi. Fakt on see, et praktikas on takistusi, mille ilmumist on üsna raske ennustada.

Siin on mõned tegurid:

1. Ilmastiku ebaühtlus. Selge päikesepaisteliste päevade arv pole teada isegi lõunapoolsetes piirkondades. Nende arvu põhjapoolsetes piirkondades on peaaegu võimatu usaldusväärset ennustada.
2. Ebaregulaarne elektrivarustus. Näiteks põhjapoolsetes piirkondades on talvel päevavalduse aeg lühike, mistõttu kulub palju taaskasutatud päikeseenergiat valgustusele. Lisaks väheneb oluliselt päikeseikiirguse intensiivsus talvel.
3. Perioodilised rikked. Nagu kõik tehnosüsteemid, võivad ka päikesepaneelid aeg-ajalt üles öelda üksikute elementide, lepinguliste ühenduste, kaitsepindade jms vigastuste tõttu.

Seetõttu saate tõhususe kohta teada alles teatud aja, vähemalt aasta pärast. Võimalik, et peate suurendama fotogalvaaniliste elementide või patareide arvu, kaaluma maja täiendavat soojusisolatsiooni ja vähendama köetavat pinda. Oletame, et Saksamaa põhjapoolsetes piirkondades ei köeta raha säästmiseks magamistube sageli üldse.

Süsteemi osad:

Kõik küttesüsteemi kokkupaneku osad müüakse spetsialiseeritud kauplustes.

Peate ostma järgmised esemed:

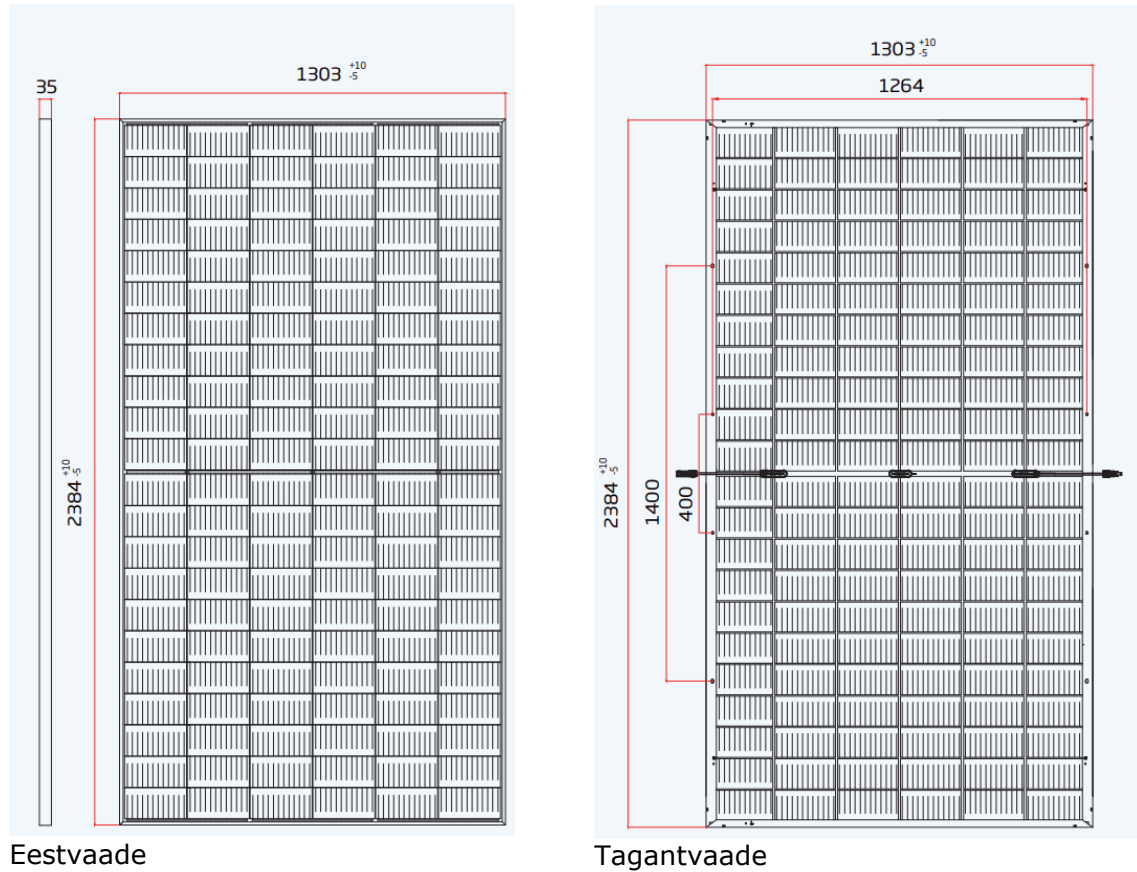
1. räni- või kilest päikesemoodulite komplekt;
2. aku, mis salvestab energiat;
3. laadimiskontroller, mis reguleerib aku laadimise ja tühjenemise protsessi;
4. inverter, mis muudab alalisvoolu vahelduvvooluks;
5. ühenduskaablite komplekt.

Soovitav on, et akud oleksid samad (võttes arvesse kaubamärki, mahutavust ja isegi partiid) ning neil oleks võimalus energiat salvestada 3-4 päeva. Nende töö kestus sõltub ruumi temperatuurist - külmades tingimustes tühjendatakse need kiiresti. Kui päevane tarbimine on 2400 Wh, on vaja akusid kogumahutavusega vähemalt 1000 Ah.

Pärast kõigi päikese-süsteemi elementide paigaldamist on vaja ühendada inverteriga elektripaak, mis soojendab vett, ja paagiga omakorda küttetorustik. [8]

1.3 Fotoelektrilised paneelid

Maja kütmise jaoks oli valitud paneeli firmast "Trinasolar" - 377 €. Paneeli karakteristikut on võimsus 635-660W ja maksimaalne tõhusus on 21,2%. [9]



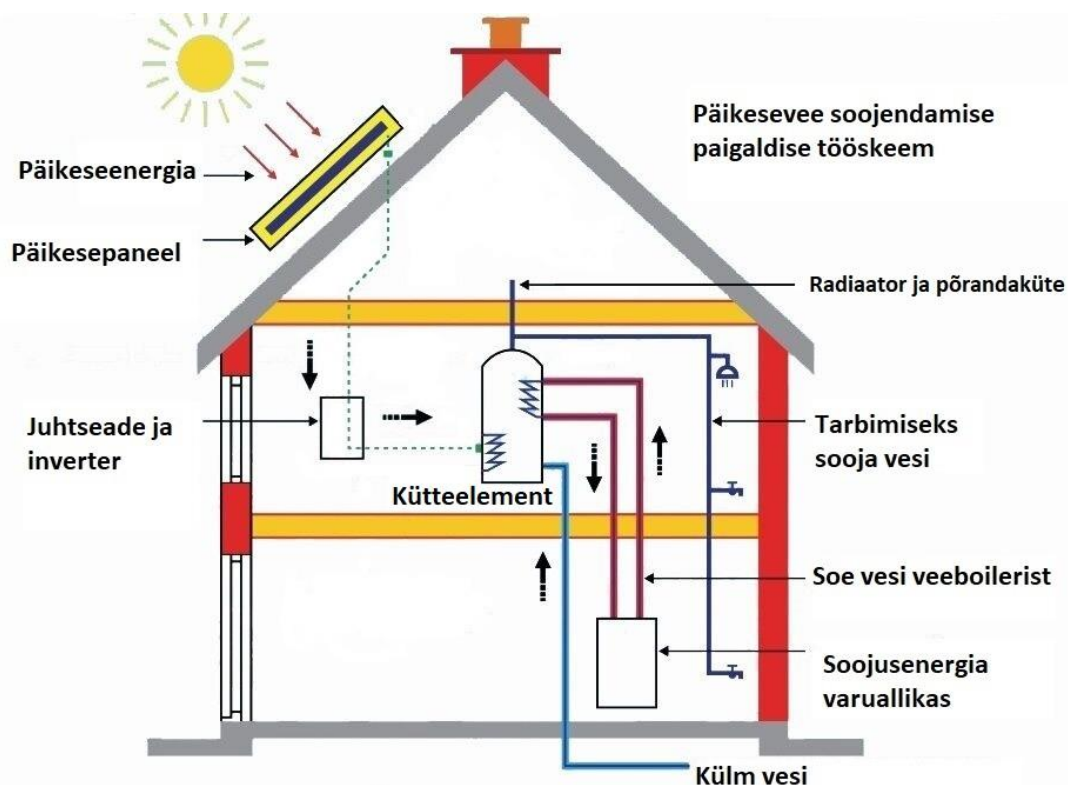
Joonis 1.3. Fotoelektrilise päikesepaneeli suurused

Tabel 1.1 Paneelide omadused

Tippvõimsus vattides-PMAX (Wp)	635	640	645	650	655	660
Võimsustolerants-PMAX (W)	0 ~+5	0 ~+5	0 ~+5	0 ~+5	0 ~+5	0 ~+5
Maksimaalne võimsuspinge-VMPP (V)	37,1	37,3	37,5	37,7	37,9	38,1
Maksimaalne võimsusvool-IMPP (A)	17,15	17,19	17,23	17,27	17,31	17,35
Lahtise vooluahela pingeline-VOC (V)	44,9	45,1	45,3	45,5	45,7	45,9
Lühisvool-ISC (A)	18,21	18,26	18,31	18,35	18,40	18,45
Mooduli tõhusus η_m (%)	20,4	20,6	20,8	20,9	21,1	21,2

2 KÜTTESÜSTEEMI VÄLJATÖÖTAMINE

Maja juures paigaldatakse mitu päikese paneele mis toodavad energiat. Paneelide paigaldamine maa peal võtab rohkem kohta aga hooldada on lihtsam. Suvel neid põhimõtteliselt kasutatakse selleks et soojendada tarbevett. Kevadel ja sügisel paneelide abil saab samuti kütta maja. Majas samuti peab olema alternatiivne soojusenergia allika juhuks, kui peamine ebaõnnestub või sellest mingil põhjusel ei piisa. Maja küte on järgmine: Päikesekiired langevad päikesepaneelile, päikesepaneel muudab päikesekiired energiaks. Seejärel läheb energia läbi kaabli juhtseadmesse/invertorisse. Peale seda läheb energia boilerisse vee soojendamiseks. Altpoolt siseneb boilerisse külm vesi, mis vajab soojendamist. Boileril on vee temperatuuriandur, mille kaudu saab juhtplokk aru, mis on vee temperatuur. Kui vee temperatuur saavutab soovitud temperatuuri, lõpetab juhtseade katla voolu andmise ja hakkab akusse energiat koguma. Akus salvestatud energiat saab kasutada halva ilma korral, kui päikesepaneelid ei tööta. Olemas on ka varusoojusallikas, näiteks puuküttega pliit. Seda saab kasutada vee soojendamiseks või soovitud temperatuurini soojendamiseks. Seejärel saab boilerist soojendatud vee torustikuga kodukütteks või koduseks kasutamiseks.



Joonis 2.1. Küttesüsteemi skeem

Selgub, et tegemist on hübriidküttesüsteemiga, mis võimaldab kütta maamaja puhtalt päikeseenergiaga, boileriga või kasutades mõlemat süsteemi korraga, mis säästab

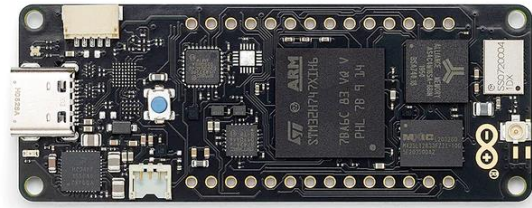
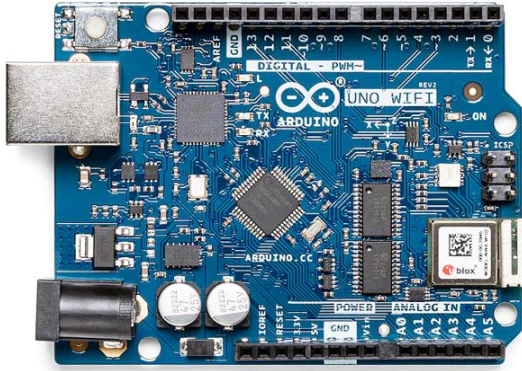
küttepuid. Arvestades, et vajaliku energiahulga arvestus tehakse aasta kõige külmemal kuu, detsember-veebruari kohta, tuleb suvel saadav energia üle. Ja selleks, et päikesepaneelide ost kiiresti tagasi maksta, saab suvel, kui boiler on maksimumini koetud ja aku täis laetud, üleliigse energia Eesti energiale müüa.

2.1 Automaatika

Automaat kütuse töötamiseks on vaja mikrokontroller mis hakkab juhtima kogu tööd ja kontrollima kõik protsessi. Tema ülesandeks on kontrollida kas päikese paneelid töötavad või mitte. Juhul kui päikese paneelid töötavad kontrollier peab valima kuhu läheb toodetud vool, kas boilerisse või peab müüma toodetava voolu. Kuna selles süsteemis on ainult kaks andmed mis on vaja kontrollida (paneeli töötamine, vee temperatuur) pole vaja väga võimast mikrokontrollerid, pigem eelistaksin lihtsam ja odavam mikrokontrolleri. Valin kahe mikrokontrolleri vahel Portenta H7 Lite Connected [10] mis maksab 89 € ja Arduino Uno WiFi REV2 [11] mis maksab 47 €.

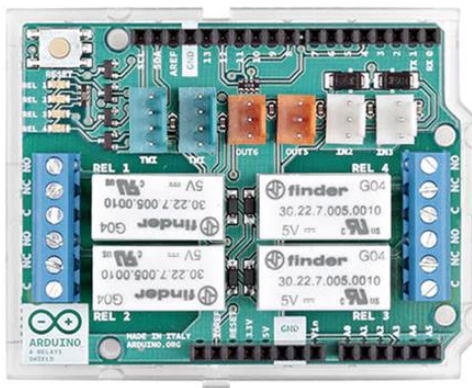
Tabel 2.1 Kontrollide võrdlustabel

Nimetus/ Parameetrid	Portenta H7 Lite Connected	ARDUINO UNO WiFi REV2
Ühendused	BLE, WiFi and Ethernet	Ethernet
Taktsagedus	480MHz	16MHz
Mõõtmed	66x25mm	68.6x56.4mm
Sisendite ja väljundite liigid ja arv	Digital: 84 PWM:10 Analog:8	Digital: 20 PWM:5 Analog:6
Mälumaht	Flash: 2 MB SRAM: 1 MB	Flash:48 KB SRAM: 6 KB



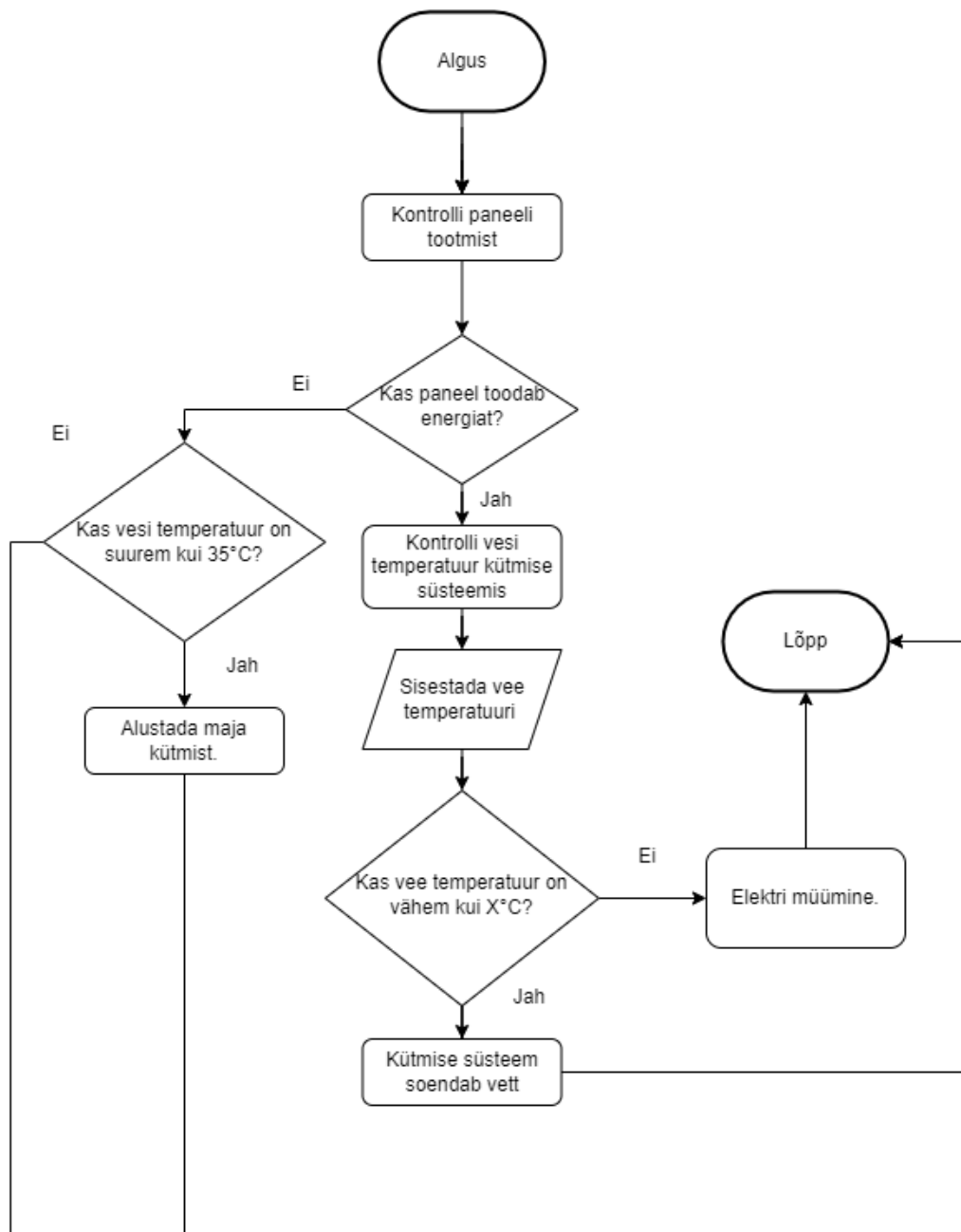
Joonis 2.1. ARDUINO UNO WiFi REV2 [11] Joonis 2.2. Portenta H7 Lite Connected [10]

Küttesüsteemi juhtimiseks valin kahest esitatud variandist mikrokontrolleri ARDUINO UNO WiFi REV2. See on vana aga töökindel kontrolleri ja internetis on palju infot kuidas teda seadistada. On olemas palju lisandmooduleid, mis on lihtne paigaldada. Süsteemi töötamiseks on vaja releed ja temperatuuriandurit. Temperatuurianduriga DS18B20 liidestamiseks peate installima Paul Stoffregeni One Wire teegi ja Dallase temperatuuri raamatukogu.



Joonis 2.3. Arduino 4 Relays Shield [12]

Joonis 2.4. Temperature Sensor [13]



Joonis 2.5. Automaatse küttesüsteemi juhtimisloogika

Automaat kütuse süsteemi loogika on järgmine, päikese paneel toodab energiat ja kui boileris temperatuur on vähem kui T_x , siis kõik toodetav energia läheb boilerisse ja boiler soendab vett. Kui vesi boileris saavutab T_x , toodetav energia müüakse. Lõpp temperatuur sõltub süsteemist. Siis kui paneel ei tooda elektrit maja edasi soojendab kogutud päeva jooksul sooja vesi.

2.2 Kõetav objekt

Valitud maamaja on kahekordne, põranda mõõtmed on 7,5x15 meetrit ja hoone kõrgus on 5 meetrit. Maja on ehitatud Fibo plokkidest ja soojustatud vahu ja klaasvillaga. Kõik aknad majas on topeltklaasidega. Edasi on arvutused, milline on soojakadu majas välistemperatuuril -15°C kraadi ja sisetemperatuuril +22°C. Temperatuuri vahe on sel juhul 37°C.

Seina soojuskadu arvutati seina pindala järgi. Selleks arvutati seinte pindalad.

$$S = a * b, \quad (2.1)$$

kus S - pindala, a - seina pikkus, b - seina kõrgus.

Vastavalt hoone joonistelt saadud mõõtmetele saame tubade seinte pindaladeks: $7,5*5= 37,5 \text{ m}^2$ ja $15*5=75 \text{ m}^2$

$$S_{sum} = 2 * (S_1 + S_2), \quad (2.2)$$

kus S_{sum} - pindala summa, S_1 ja S_2 - maja külgede pindalad.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $2*(75+37,5)=225 \text{ m}^2$

Tabel 2.2 Konstruktsioonide soojakaod [14]

Konstruktsioon	U-arv (W/m ² K)
Fibo 3 MPa 200 + EPS 60, 100 mm	0,271
Fibo 3 MPa 200 + EPS 60, 150 mm	0,202
Fibo 3 MPa 200 + EPS 60, 200 mm	0,162
Fibo 3 MPa 200 + EPS 60, 220 mm	0,149
Fibo 3 MPa 200 + EPS 60, 250 mm	0,134

Tabelis on info seina soojakadude kohta, olenevalt sellest, millisest plokist see on tehtud ja kuidas on soojustatud.

Seina konstruktsioon: Fibo 3, 200 mm + polüsterool 150 mm.

Erisoojuskadu on: $q = 0,202 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$Q = S_{sum} * q * \Delta T, \quad (2.3)$$

kus Q – soojuskadu, S_{sum} - pindalade summa, q – erisoojuskadu, ΔT - temperatuuri erinevus.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $225*0,202*37 = 1682 \text{ W}$

Põranda soojuskadu arvutati seina pindala järgi. Selleks arvutati põranda pindalad.

$$S = a * c, \quad (2.4)$$

kus S- pindala, a- põranda pikkus, c- põranda laius.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $7,5*15=112 \text{ m}^2$.

Põrandaaluse pinnase temperatuur on 4°C .

Põranda konstruktsioon: Betoon 100 mm + polüsterool 100 mm.

Betoon soojusjuhtivus $\lambda_b = 2\text{W/mK}$

Polüsterool $\lambda_p = 0,03 \text{ W/mK}$

$$q = 1/(L/\lambda_b + L/\lambda_p), \quad (2.5)$$

kus q – erisoojuskadu, λ_b - betooni soojusjuhtivus, λ_p - Polüsterooli soojusjuhtivus, L- paksus.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $1/(0,1/2+0,1/0,3)=1/(0,05+5)=0,296\text{W/m}^2\text{K}$.

$$Q = S_{sum} * q * \Delta T, \quad (2.6)$$

kus Q – soojuskadu, S_{sum} - pindala summa, q – erisoojuskadu, ΔT - temperatuuri erinevus.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $112*0,296*18=597 \text{ W}$

Tabel 2.3 Soojustusmaterjalide omadused [15], [16]

Nimetus	Sooja-erijuhtivus (λ_i)
Isover KL 32 klaasvill	0,032
Isover KL 33 klaasvill	0,033
Isover KL 35 klaasvill	0,035
Isover KL 37 klaasvill	0,037
Isover KT 40 klaasvill rullis	0,040

Lae soojuskadu arvutati lae pindala järgi. Selleks arvutati lae pindala.

$$S = a * c, \quad (2.7)$$

kus S- pindala, a- lae pikkus, c- lae laius.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $7,5*15=112 \text{ m}^2$.

Lae konstruktsioon: Kipsplaat 13 mm + Isover KL 37 300 mm.

Kipsplaat sooja juhtivus $\lambda_k = 0,2 \text{ W/mK}$

Isoveri KL 37 $\lambda_i = 0,037 \text{ W/mK}$

$$q = 1/(L/\lambda_k + L/\lambda_i), \quad (2.8)$$

kus q – erisoojuskadu, λ_k - kipsplaat soojusjuhtivus, λ_i - Isoveri soojusjuhtivus, L - paksus.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $1/(0,013/0,2+0,3/0,037)=1/(0,065+8,11)=0,122 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$Q = S_{sum} * q * \Delta T, \quad (2.9)$$

kus Q – soojuskadu, S_{sum} - pindala summa, q – erisoojuskadu, ΔT - temperatuuri erinevus.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $112*0,122*37 = 505 \text{ W}$

Akende ja uste soojuskadu. Pindala 22 m^2 (Võetud maja projektist).

Erisoojuskadu on: $q = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$$Q = S_{sum} * q * \Delta T, \quad (2.10)$$

kus Q – soojuskadu, S_{sum} - pindala summa, q – erisoojuskadu, ΔT - temperatuuri erinevus.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $22*1,2*37=977 \text{ W}$

Kulud sooja vee varustusele.

Neljaliikmeline pere vajab päevas 250 liitrit kuuma vett.

Soe vesi 45°C . Külma vesi süsteemis 5°C .

Vee soojendamiseks vajalik energia:

$$Q = C * V * \Delta T, \quad (2.11)$$

kus Q – soojuste hulk, C - erisoojus, V - vee maht, ΔT - temperatuuri erinevus.

$C=4200 \text{ J/kgK}$.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $Q=4200*250*40=42000 \text{ kJ}$

Teisendame võimsuse kilovattidesse $Q=42000/(60*60*24)=486 \text{ W}$

Tabel 2.4 Soojuskaod majas

Kulupiirkonna nimi	Soojuskadu
Soojuskadu läbi seinte:	1682 W
Soojuskadu läbi põranda:	597 W
Soojuskadu läbi lae:	505 W
Soojuskadu läbi akende:	977 W
Soe vesi:	486 W
Soojuskadu kokku:	4247 W

Kõik soojusjuhtivuse näitajad on link [17].

Kui soojuskadu on kokku 4247 W, siis on vaja toota 5% rohkem võimsust et oleks võimalus maja kütta.

$$4247 * 1,05 = 4460 \text{ W}$$

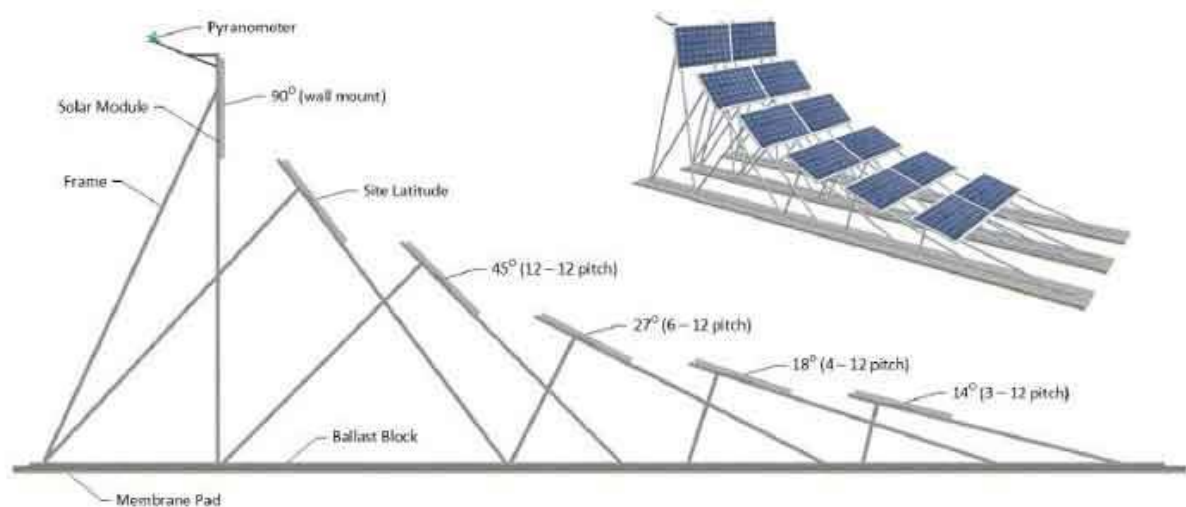
3 PÄIKESEPANEELI PAIGALDUSNURGA VALIK

Pärast päikesepaneeli valimist tekkis küsimus, mis nurga all päikesepaneel paigaldada. Leidsin et Kanadas Põhja-Albertas juba viidi läbi uuring päikesepaneelide energiatootmise sõltuvuse kohta sõltuvalt nende paigaldusnurgast. Katsestend oli paigaldatud NAIT katusele ja koosnes 6 paarist päikesepaneelidest. [18], [19]

Võrdlusaluse päikeseplatari omadused:

- Päikesepaneelil on 100% juurdepääs päikesevalgusele (puud ega hooned ei varja päikesepaneeli)
- Moodulid on suunatud täpselt lõunasse ja paigaldatakse laiuskraadile 53°
- Iga moodulipaar on paigaldatud erineva nurga all 14° kuni 90°
- Lund eemaldati läänepoolsest (vasakust) küljest iga kord pärast lumesaju lõppemist
- Fotod on tehtud vahetult enne ja vahetult pärast lumekoristust.
- Mikroinverterid registreerisid tööoleku iga 5 minuti järel. Salvestatud parameetrid olid: aeg, vahelduvpinge, alalispinge, alalisvool, inverteri temperatuur ja inverteri väljundvõimsus.

Valiti neli kaldenurka, kuna need on populaarsed katusekaldenurgad (14°, 18°, 27°, 45°). Lisaks valiti nurgad 53° (Edmontoni laiuskraad) ja 90° (vertikaalne paigaldus seinale).



Joonis 3.1. Paneelide paigaldamis skeem [20]

Kaldenurga suurenemisega suureneb võime loomulikult lund koristada. 90° nurga all ei ole paneelidel lund 99,5% talvest. Kuna kaldenurk väheneb 53°-lt 14°-le, suureneb lumekoristuse ja lumeta moodulite väljundvõimsuse erinevus. [20]

Test SB on näidanud, et paneelide puhastamine suurendab energiatootmist 0,85%-lt 5,31%-le olenevalt kaldenurgast.

Soovitav nurk suveajal 1. aprillist 30. septembrini on 27°.

Tabel 3.1 Soovitavad kallutusnurgad

KUU	SOVITAVAD KALLUTUSNURK (°)
Aprill	45
Mai	18
Juuni	18
Juuli	18
August	27
September	53

Soovitav talveajal 1. oktoobrist 31. märtsini, päikeseptarei paigaldusnurk on 53°.

Tabel 3.2 Soovitavad kallutusnurgad

KUU	SOVITAVAD KALLUTUSNURK (°)
Oktoober	53
November	90
Detsember	90
Jaanuar	90
Veebruar	53
Märts	53

Kõige soovitam nurk, kui paneel püsib aastaringelt ühes asendis, on 53°.

Tabel 3.3 Lume mõjuvus kasutegurile

KALLUTUSNURK (°)	SUURENDATUD VÄLJANDUS LUMELAIGAMISEL (%)
14	5,28
18	5,31
27	4,14
45	1,99
53	1,63

Selle uuringu põhjal soovitaksin paneele kasutada kahes asendis. Suvel 27° ja talvel 53°. Parem on pöörata paneeli 53° septembri alguses ja 27° aprillis. Uuring näitab, et lumi ei mõjuta oluliselt päikesepaneelide kasutegurit. Kui aga kasutada jahutusvedelikuga päikesepaneele, mõjutab lumi nende kasutegurile suuresti.

3.1 Tootlikkuse suurendamise meetod

Tavaliselt lähevad eramajade omanikud pärast väikese arvu päikesemoodulitega katsetamist kaugemale ja täiustavad süsteemi mitmel viisil.



Joonis 3.2. Päikest jälgitav moodul [21]

Mida teha, kui vaba ruumi napib? Siin on mõned soovitused päikesejaama (fotogalvaaniliste elementide või kollektoritega) tõhususe suurendamiseks:

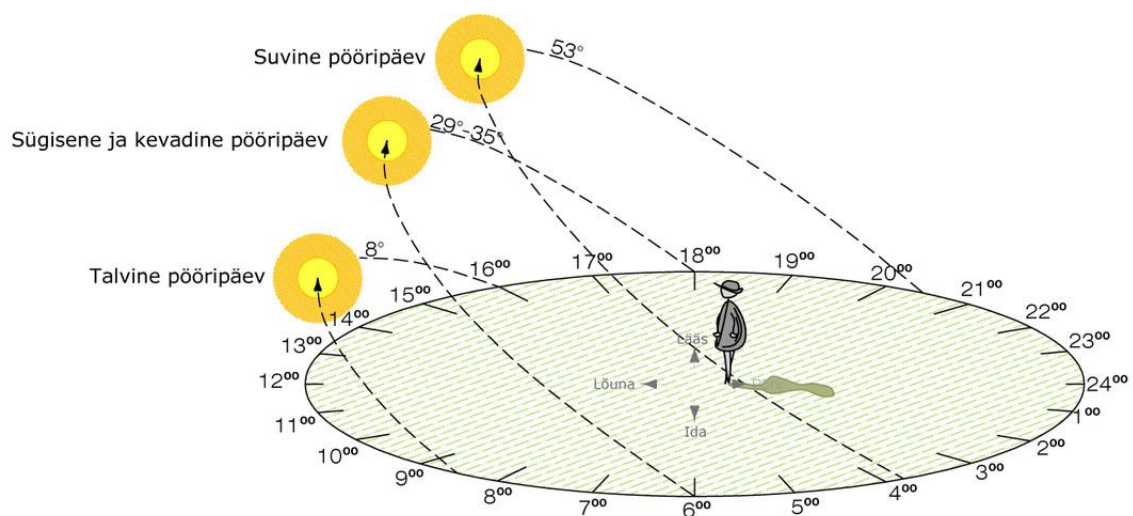
1. Moodulite orientatsiooni muutmine. Liikuvad elemendid päikese asukoha suhtes. Lihtsamalt öeldes paneelide põhiosa paigaldamine lõunaküljele. Pika päevavalguse ajal on optimaalne kasutada ka ida- ja läänesuunalisi pindu.
2. Kaldenurga reguleerimine. Tootja näitab tavaliselt, milline nurk on eelistatuim (näiteks 45°), kuid mõnikord peate installimise ajal geograafilise laiuskraadi alusel ise reguleerima.
3. Paigalduskoha õige valik. Katus sobib, kuna see on enamasti kõrgeim tasapind ja seda ei varja muud objektid (näiteks aiapuud). Kuid on veelgi sobivamaid kohti - pöörlevad seadmed päikese jälgimiseks.

Kui elemendid on päikesekiirtega risti, töötab süsteem tõhusamalt, kuid stabiilselt fikseeritud pinnal (näiteks katus) on see võimalik vaid lühikest aega. Selle suurendamiseks mõtlesid nad välja praktilised jälgimisseadmed.

Jälgimisseadmete suur puudus on nende kõrge hind. Mõnel juhul ei tasu see end ära, seega pole mõtet investeerida kasutusesse mehhanismidesse.

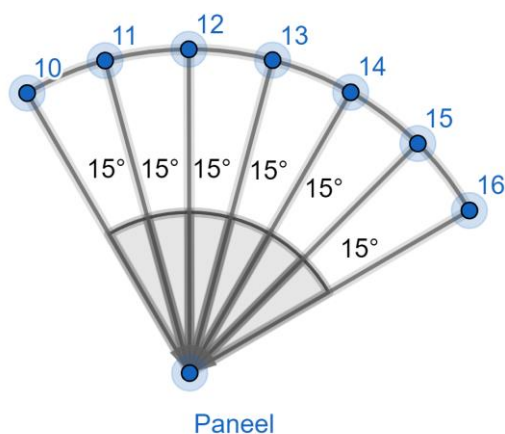
3.2 Toodetava energia arvutamine

Peame tootma 5000 W energiat. Arvestades, et päikesekiired ei lange pidevalt 90° päikesepaneelidele, on nende kasutegur väiksem. Päikesepaneeli kasutegurit saab arvutada, korrutades paneeli pindala tasapinna ja päikesekiirte suuna vahelise nurga siinusega. 30° kõrvalekalle on vastuvõetav, kuna kasutegur väheneb vaid 15%. [22], [23]



Joonis 3.3. Päikese liikumise trajektoor [24]

Eestis on talvel keskmiselt päikesetõus 9:40 ja loojang 16:30. Arvutustes võtame arvesse paneelide tööd vahemikus 10 kuni 16. Kell 12 päike paistab paneelidele 90° ja iga tund päike liigub 15° . Arvutustes kasutame paneeli minimaalset võimsust 635 W. [24], [25]



Joonis 3.4. Päikese liikumise trajektoorlikum iga tund

Kella 10 kuni 14 keskmine päikese hälve on 15° , leiame võimsuse sellel ajal.

$$\alpha = \beta - \gamma, \quad (3.1)$$

kus α - päikese keskmine langemisnurk, β - päikese langemisnurk kell 12, γ - keskmine päikese hälve.

Vastavalt eeltoodud valemile saame päikese keskmine langemisnurk paneelile päeva jooksul $90^\circ - 15^\circ = 75^\circ$

$$\eta_{puht} = \sin\alpha, \quad (3.2)$$

kus η_{puht} - kasutegur, α - päikese keskmine langemisnurk.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli keskmiseks kasuteguriks päeva jooksul $\sin 75^\circ = 0.96 = 96\%$.

$$P_{puht} = P_0 * \eta_{puht}, \quad (3.3)$$

kus P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, P_0 - tabelist saadud võimsus, η_{puht} - kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $635 * 0,96 = 610$ W

Kell 14 kuni 16 päikese keskmine hälve on 45° , leiame võimsuse sellel ajal.

$$\alpha = \beta - \gamma, \quad (3.4)$$

kus α - päikese keskmine langemisnurk, β - päikese langemisnurk kell 12,
 γ - keskmine päikese hälve.

Vastavalt eeltoodud valemile saame päikese keskmiseks langemisnurgaks paneelile päeva jooksul $90^\circ - 45^\circ = 45^\circ$.

$$\eta_{puht} = \sin \alpha, \quad (3.5)$$

kus η_{puht} - kasutegur, α - päikese keskmine langemisnurk.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli keskmiseks kasuteguriks päeva jooksul $\sin 45^\circ = 0,71 = 71\%$

$$P_{puht} = P_0 * \eta_{puht}, \quad (3.6)$$

kus P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, P_0 - tabelist saadud võimsus, η_{puht} - puhta paneeli kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $635 * 0,71 = 451$ W

Arvestades ka seda, et talvel sajab lund ja seda pole alati võimalik kiiresti eemaldada, siis paneeli kaldenurga 53° ja lume olemasolu korral paneelil väheneb paneeli kasutegur $1,63\%$.

$$\eta_{lume} = \eta_{puht} - \eta_{lumi}, \quad (3.7)$$

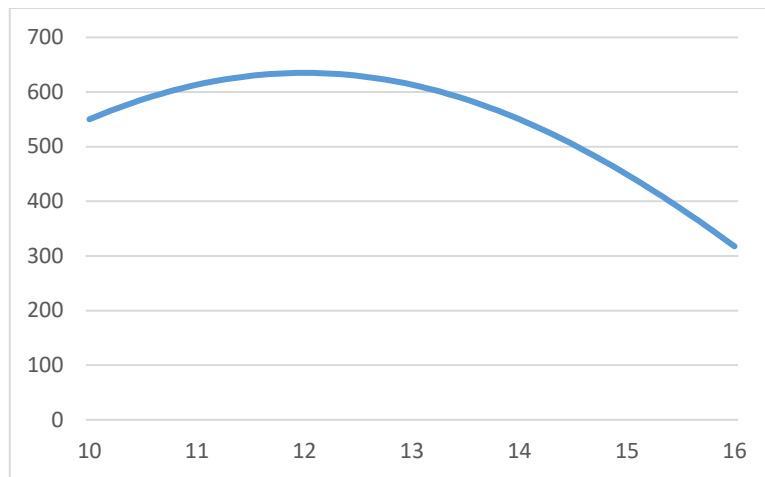
kus η_{lume} - tegelik kasutegur, η_{puht} - puhta paneeli kasutegur, η_{lumi} - kasuteguri vähendamine lume tõtu.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $100\% - 1,63\% = 98,37\%$

$$P = P_{puht} * \eta_{lume}, \quad (3.8)$$

kus P - tegelik võimsus, P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, η_{lume} - tegelik kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli võimsuseks lumega päikselistel päevadel ajavahemikus 10-14 $610 \cdot 0,9837 = 600$ W ja paneeli võimsuseks lumega päikselistel päevadel ajavahemikus 14-16 $451 \cdot 0,9837 = 444$ W.



Joonis 3.5. Paneeli võimsus päeva jooksul

Arvutame keskmise võimsuse päeva jooksul ja kui palju paneele on vaja nõutud võimsuse saavutamiks.

$$\Delta P = \frac{P_1 \cdot T_1 + P_2 \cdot T_2}{T_1 + T_2}, \quad (3.9)$$

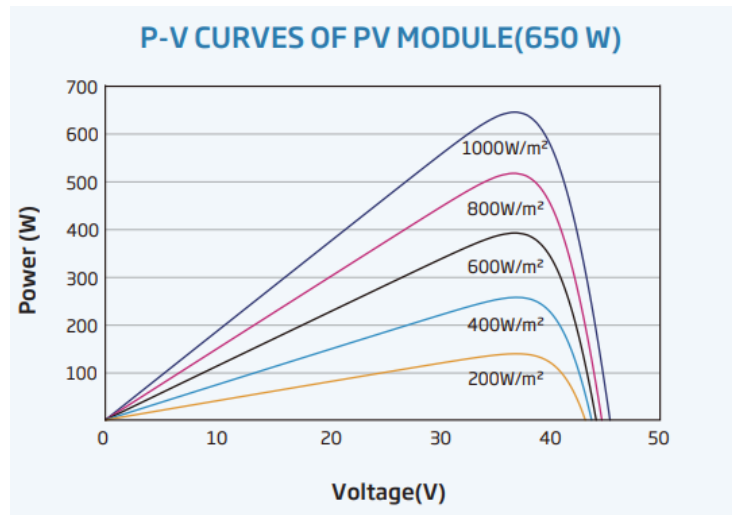
kus P_1 ja P_2 on võimused erinevate aegadel, T_1 ja T_2 on paistamise aeg, ΔP - keskmine võimsus päeva jooksul.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $(600 \cdot 4 + 444 \cdot 2) / 6 = 548$ W

Me ei saa alati päikeselt maksimaalset energiat vastu võtta, sest on ka pilves päevi. Sellistel päevadel jätkavad päikesepaneelid tööd, kuid väiksema võimsusega. Seetõttu on vaja välja arvutada päikese kiirguse keskmine võimsus, mida saame talvekuudel saada. [26]



Joonis 3.6. Päikeseenergia hulk pilvede tiheduse suhtes



Joonis 3.7. Paneelide võimsus päikese energia suhtes [9]

Tabel 3.4 Päikesepaisteliste ja pilviste päevade arv talvel. [27]

Kuu	Päikselised päevad	Kergelt pilves päevad/ Pilves päevad
Detsember	2	13/16
Jaanuar	4	11/16
Veebruar	6	11/11

Summeerime päikeseliste ja pilviste päevade hulga aastas meie asukohas.

- Päikeseliste päevade arvuks detsembrist veebruarini saame $2+4+6=12$
- Kergelt pilves päevade arvuks detsembrist veebruarini saame $13+11+11=35$
- Pilves päevade arvuks detsembrist veebruarini saame $16+16+11=43$

Oma arvutustes eeldan, et selge ilmaga on päikesekiirguse võimsus 1000 W/m^2 , vähese pilvisusega 400 W/m^2 ja pilvise ilmaga 150 W/m^2 . Kergelt pilvise ilmaga ilma lumeta ja ideaalse nurga all toodab päikesepaneel 400 W ja pilvise ilmaga 150 W . Arvutame paneelide võimsuse erinevatel päevadel kell 10-14 ja 14-16. [28]

$$P_{puht} = P_0 * \eta_{puht} \quad (3.10)$$

kus P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, P_0 - tabelist saadud võimsus, η_{puht} - puhta paneeli kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli võimsuseks kergelt pilves päevadel kell 10-14 vastavalt $400 * 0,96 = 384$ W.

$$P_{puht} = P_0 * \eta_{puht}, \quad (3.11)$$

kus P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, P_0 - tabelist saadud võimsus, η_{puht} - puhta paneeli kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli võimsuseks kergelt pilves päevadel kell ajavahemikus 14-16 vastavalt $400 * 0,71 = 284$ W

$$P = P_{puht} * \eta_{lumega}, \quad (3.12)$$

kus P - tegelik võimsus, P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, η_{lumega} - tegelik kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli võimsuseks lumega kergelt pilves päevadel ajavahemikus 10:00-14:00 vastavalt $384 * 0,9837 = 378$ W

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli võimsuseks lumega kergelt pilves päevadel ajavahemikus 14:00-16:00 vastavalt $284 * 0,9837 = 279$ W

$$\Delta P = \frac{P_1 * T_1 + P_2 * T_2}{T_1 + T_2}, \quad (3.13)$$

kus P_1 ja P_2 on võimused erinevate aegadel, T_1 ja T_2 on paistamise aeg, ΔP - keskmine võimsus päeva jooksul.

Vastavalt eeltoodud valemile saame keskmine paneeli võimsuseks lumega kergelt pilves päevadel $(378 * 4 + 279 * 2) / 6 = 345$ W

$$P_{puht} = P_0 * \eta_{puht}, \quad (3.14)$$

kus P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, P_0 - tabelist saadud võimsus, η_{puht} - puhta paneeli kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli võimsuseks pilvistel päevadel kell 10-14 vastavalt $150 * 0,96 = 144$ W

$$P_{puht} = P_0 * \eta_{puht}, \quad (3.15)$$

kus P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, P_0 - tabelist saadud võimsus, η_{puht} - puhta paneeli kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli võimsuseks pilviste päevadel kell 14-16 vastavalt $150 \cdot 0,71 = 107$ W

$$P = P_{puht} * \eta_{lumega} \quad (3.16)$$

kus P - tegelik võimsus, P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, η_{lumega} - tegelik kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli võimsuseks lumega pilvistel päevadel ajavahemikus 10:00 kuni 14:00 vastavalt $144 \cdot 0,9837 = 142$ W ja paneeli võimsuseks lumega pilvistel päevadel ajavahemikus 14:00 kuni 16:00 vastavalt $107 \cdot 0,9837 = 105$ W

$$\Delta P = \frac{P_1 * t_1 + P_2 * t_2}{t_1 + t_2}, \quad (3.17)$$

kus P_1 ja P_2 on võimused erinevate aegadel, t_1 ja t_2 on paistamise aeg, ΔP - keskmine võimsus päeva jooksul.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli keskmiseks võimsuseks lumega pilviste päevadel $(142 \cdot 4 + 105 \cdot 2) / 6 = 130$ W

$$\Delta P_{talv} = (\Delta P_1 * K_1 + \Delta P_2 * K_2 + \Delta P_3 * K_3) / 90, \quad (3.18)$$

kus ΔP_{talv} - keskmine võimsus talvel, ΔP_1 - võimsus päikeselisel päeval, ΔP_2 - võimsus väikese pilvise päeval, ΔP_3 - võimsus pilvise päeval, K_1 , K_2 ja K_3 - päevade arv.

Vastavalt eeltoodud valemile saame keskmiseks talvel ühe paneelilt toodetud võimsuseks $(12 \cdot 548 + 35 \cdot 345 + 43 \cdot 130) / 90 = 269$ W

$$N = \frac{P_{koormus}}{\Delta P_{talv}}, \quad (3.19)$$

kus N - paneelide arv, ΔP_{talv} - keskmine võimsus päeva jooksul talvel, $P_{koormus}$ - võimsus vajalik maja kütmiseks.

Vastavalt eeltoodud valemile saame kodu kütmiseks vajalike paneelide arvuks $4460 / 269 = 16,57$ st vähemalt 17 tk.

$$E = N * \Delta P_{talv}, \quad (3.20)$$

kus E- energia, N- paneelide arv, ΔP_{talv} - keskmine võimsus päeva jooksul talvel.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $17 \cdot 269 = 4573 \text{ W}$

Lähtudes 17 paneelist saame paneelide kogumaksumuseks

$17 \cdot 377 \text{ €} = 6409 \text{ €}$

4 ENERGIA KOGUMINE

Talvel päike paistab ainult 6 tundi, seetõttu kui panna 17 paneeli maja jääb 18 tundi ilma soendavat energiat. Et seda vältida on vaja panna rohkem paneele ja koguda energiat.

Maja kütmiseks on vaja 4460 Wh arvutame kui palju on vaja koguda energiat et saaks kütta maja 18 tundi kui päikest pole.

$$E_{kogud} = P_{koormus} * t, \quad (4.1)$$

kus E_{kogud} - kogutav energia, $P_{koormus}$ - võimsus vajalik maja kütmiseks, t - kogumise aeg.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $4460 * 18 = 80280 \text{ Wh} = 80 \text{ kWh}$

Mis võimsus on vaja et koguda seda energiat 6 tundi jooksul

$$\Delta P_{talv} = \frac{E_{kogud}}{t}, \quad (4.2)$$

kus E_{kogud} - kogutav energia, t - kogumise aeg, ΔP_{talv} - keskmine võimsus talvel.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $80/6 = 13 \text{ kWh}$

$$N = \frac{E_{kogud}}{\Delta P_{talv}}, \quad (4.3)$$

kus N - paneelide arv, ΔP_{talv} - keskmine võimsus päeva jooksul talvel, E_{kogud} - kogutav energia.

Vastavalt eeltoodud valemile selgub et vaja on $13000/269 = 48,3 = 49$ paneeli. See teeb paneelide maksumuseks vastavalt

$49 * 377 = 18473 \text{ €}$.

Selleks et maamaja kütta siis kui ei ole päikest on vaja koguda 80 kWh energiat ja et saada seda energiat on vaja veel lisaks 49 paneeli.

5 PANEELIDE PAIGALDAMINE

Selleks et kütta maamaja on kokku vaja 66 paneele. Paneelide jaoks on eraldatud 105 ruutmeetrit, laius 7m ja pikkus 15m. Paneeli pikkus on 2,384m ja laius 1,303. Valitud paigaldamis kohal on mitmeid eeliseid. Kui puud maha võtta, ei lange vari päikesepaneelidele ja päikesepaneelid saavad võimalikust energiast maksimumi. Samuti saab sealseid puid langetades päikesepaneelid tuulde, mis tuleb järvest. Seal nad seisavad ja ei sega ja samuti on lihtne neid hooldada.



Joonis 5.1. Territooriumi foto [29]

Joonisel 5.1 on meie territoorium, kuhu plaanitakse paneelid paigutada. Arvutame välja, mitu paneeli sellele territooriumile mahub.

$$S = a * b, \quad (5.1)$$

kus S - pindala, a - paneeli pikkus, c - paneeli laius.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneeli pindalaks $2,384 * 1,303 = 3,1 \text{ m}^2$.

$$N = \frac{a}{b}, \quad (5.2)$$

kus N - paneelide arv, a - territooriumi laius, b - paneeli laius.

Vastavalt eeltoodud valemile saame laiuseks $7/1,3 = 5,3 = 5$ (Paneeli).

$$N = \frac{c}{f}, \quad (5.3)$$

kus N - paneelide arv, c - territooriumi pikkus, f - paneeli pikkus.

Vastavalt eeltoodud valemile saame pikkuseks $15/2,38 = 6,3 = 6$ (Paneeli).

$6 * 5 = 30$ (Paneeli)

6 VAHELDI

Vaheldi ülesanne on muuta päikesepaneelide poolt toodetud alalisvoolu elekter kasutajale sobivaks vahelduvooluks. Võrguinverter töötab sünkroonis võrguga ja muundab alalisvoolu 230 V võrgupingega ja 50 Hz võrgusagedusega elektrienergiaks. Vaheldi valimiseks on vaja teada maksimaalset võimalikku võimsust. Kuna valitud territooriumil mahub ainult 30 paneele, arvutame maksimaalselt võimaliku võimaluse nendelt kui paistab päike ja pole pilve. [30]

$$E = N * P_{max}, \quad (6.1)$$

kus E- energia, N- paneelide arv, P_{max} - maksimaalne paneeli võimsus.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $30 * 660 = 19800W$

Sellise võimsuse töötlemiseks oli valitud kolm vaheldi firmast „Mpp Solar“



Joonis 6.1. Vaheldi [30]

220=240V Single Phase OFF-GRID SOLUTION			
PIP-MAX SERIES	3624MAX	7248MAX	8048MAX
Rated Inverter Power	3600VA/3600W	7200VA/7200W	8000VA/8000W
Parallel Capability	Optional*	Yes up to 6	Yes up to 6
ELECTRICAL SPECIFICATION			
Output Waveform	Pure sine wave		
Nominal Output Voltage	230 VAC		
Frequency Range	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)		
AC Voltage Regulation (Batt. Mode)	230VAC ± 5%		
Efficiency (Peak)	91%	93%	93%
Transfer Time	15 ms (For Personal Computers), 20 ms (For Home Appliances)		
No Load Power Consumption	<45W	<70W	<70W
Battery Nominal Voltage	24 VDC	48 VDC	48 VDC
Max Bulk/Float Charge	31 VDC	62 VDC	62 VDC
Overcharge Protection	33 VDC	66 VDC	66 VDC
SOLAR CHARGER & AC CHARGER			
Solar Charger type	MPPT		
Maximum PV Array Power	4000W	8000W	8000W
PV Input	1	2	2
Recommended Minimum PV input	150 VDC	100 VDC	100 VDC
Max PV Input Current	18A	18A (each)	18A (each)
Maximum PV Array Voc	500 VDC		
Maximum Solar Charge Current	80A		120A
Maximum AC Charge Current	80A		120A
Maximum Total Charge Current	80A		120A
ENVIRONMENTAL / MECHANICAL SPECIFICATION			
Communication Interface	USB/RS232/RS485/WIFI/Dry-contact		
Humidity	5% to 95% Relative Humidity (Non-condensing)		
Operating / Storage Temp	-10°C to 50°C / -15°C to 60°C		
Compliance Safety	CE		
Dimension, D X W X H (mm)	554 x 433 x 148		
Net Weight (kgs)	14	18.5	18.5
*Requires special order (cannot be upgraded post-production)			
**Product specifications are subject to change without further notice			

Joonis 6.2. Vaheldi parameetrid [30]

Arvutame kui palju energiat on võimalik toota talvel arvestades paneeli kasutegurit.

$$E = N * \Delta P_{talv} \quad (6.2)$$

kus E- energia, N- paneelide arv, ΔP_{talv} - keskmine võimsus päeva jooksul talvel.

Vastavalt eeltoodud valemile saame leida keskmine toodetava võimsuse talvel
 $30 * 269 = 8070 \text{ W}$

$$E_{tõeline} = E * \eta_{inverter} \quad (6.3)$$

kus $E_{tõeline}$ - toodetav energia, E- energia, $\eta_{inverter}$ - vaheldi kasutegur.

Vastavalt eeltoodud kasutegurile saame võimsuseks $8070 * 0,93 = 7505 \text{ Wh}$

7 KÜTTESÜSTEEM

Selleks et soendada maja on vaja muuta elektrienergia soojusenergiaks. Esimene variant on soendada vett kiirsoojendiga ja pärast selle soe veega kütta maja. Teine variant on kasutada soojus pump. Sellega saab talvel soojendada maja ja suvel jahutada. Mõlemate süsteemide jaoks on vaja säilituspaaki kus saab hoida kuuma vett.

Kiirsoojendi segistile Tesy 7kW IL- 177,90 €



Joonis 7.1. Kiirsoojendi segistile Tesy 7kW IL [31]

Läbi kiirsoojendi läheb vesi ja soendab temperatuurini 80 °C, kõik soe vesi koguneb säilituspaageis.

$$Q = t * E, \text{ kus } Q - \text{soojuse hulk, } t - \text{aeg sekundites, } E - \text{energia} \quad (7.1)$$

Vastavalt eeltoodud valemile saame $7 \text{ kW} * 1 = 7 \text{ kJ}$

$$\Delta T = T_2 - T_1, \quad (7.2)$$

kus ΔT -temperatuuri erinevus, T_2 ja T_1 - vee temperatuur pärast ja enne maamaja kütmist

Vastavalt eeltoodud valemile saame temperatuuride erinevuseks $80 - 35 = 45^\circ\text{C}$

$$Q = C * V * \Delta T, \quad (7.3)$$

kus Q – soojuse hulk, C - erisoojus, V - vee maht, ΔT - temperatuuri erinevus.

$C=4200 \text{ J/kgK}$.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $7000/(4200*30)= 0,037 \text{ L}$

Me saame iga sekund $0,037 \text{ L}$ vett mille temperatuur on 80°C

6 tundi = 21600 sekundit

$21600*0,037=800 \text{ L}$

$$t = 0,00117 * V * T/P, \quad (7.4)$$

kus t - kütmise aeg, ΔT - temperatuuri erinevus, V - vee maht, P - kütteelemendi võimsus.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $(0,00117*800*45)/24= 1,7 \text{ kW}$

Toodetud soojus energia kogus on väiksem kui vaja ja seetõttu ei tule temperatuur majas plaanipäraseks. Uute andmetega on vaja välja arvutada maamaja võimalik temperatuur.

$$\frac{Q_{sein}}{Q_{kogu}} \quad (7.5)$$

kus Q_{sein} - soojuskadu läbi seinte, Q_{kogu} - kogu soojuskadu.

Vastavalt eeltoodud valemile saame leida soojuskao protsendi läbi seinu $1682/4247=0,4=40\%$. Sellest lähtuvalt on kaovõimsus vastavalt

$1700*0,4=680 \text{ W}$

$$Q = S_{sum} * q * X, \quad (7.6)$$

kus Q - soojuskadu, S_{sum} - pindala summa, q - erisoojuskadu, X - temperatuuri erinevus.

Vastavalt ülaltoodud valemile koostame võrrandi, milles võtame muutujaks x temperatuuri, mille võrra kodus temperatuur erineb välistemperatuurist $225*0,202*X=680$

$X=15^\circ\text{C}$

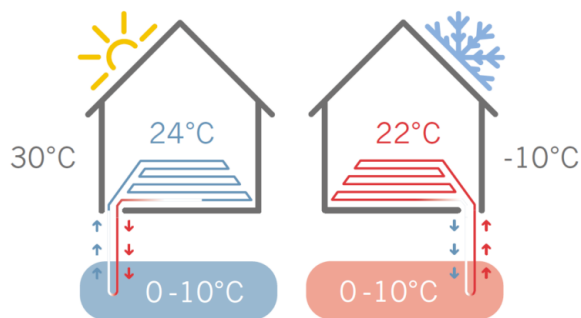
Kui eeldame, et väljas on temperatuur -15°C ja soovime maja temperatuuri välistemperatuuri suhtes tõsta 15 kraadi võrra, siis saame temperatuuriks maja see $-15+21=0^\circ\text{C}$

Thermia Atlas 18 – 9600 €

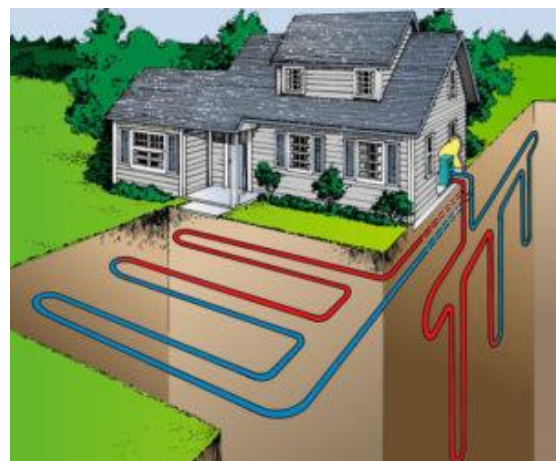


Joonis 7.2. Thermia Atlas 18 [32]

Temperatuur maa all on alati pluss temperatuur ja seda võib kasutada kütmiseks. Soojuspumpa põhi töö mõtte on selline et ta võtab soojust maa alt ja toob seda majja. Tema töötamiseks on vaja kaevata maa all torud. Neid võib paigaldada kas vertikaalselt või horisontaalselt. Sama põhimõttega on võimalik jahutada maja temperatuuri suvel. Selles süsteemis on kõrvalmõju, torude asukohas ei saa peale muru midagi kasvada.



Joonis 7.3 Soojusliikumine [33]



Joonis 7.4 Torude paigutus [34]

Soojuspumpaga on võimalik soendada vett kuni 65°C. Selles režiimis soojuspumpa soojuspumba soojustegur on 3. Sooja vett kasutame kuni jahtub temperatuurini 35°C. [35]

$$Q = t * E , \text{ kus } Q - \text{soojuse hulk, } t - \text{aeg sekundites, } E - \text{energia} \quad (7.7)$$

Vastavalt eeltoodud valemile saame $18 \text{ kW} * 1 = 18 \text{ kJ}$

$$\Delta T = T_2 - T_1, \quad (7.8)$$

kus ΔT -temperatuuri erinevus, T_2 ja T_1 - vee temperatuur pärast ja enne maamaja kütmist

Vastavalt eeltoodud valemile saame temperatuuride erinevuseks $65-35=30^\circ\text{C}$

$$Q = C * V * \Delta T, \quad (7.9)$$

kus Q – soojuse hulk, C - erisoojus, V - vee maht, ΔT - temperatuuri erinevus.

$C=4200 \text{ J/kgK}$.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $18000/(4200*30)= 0,142 \text{ L}$

Me saame iga sekund $0,142 \text{ L}$ vett mille temperatuur on 65°C

6 tundi = 21600 sekundit

$21600*0,142=3067 \text{ L}$

$$t = 0,00117 * V * T/P, \quad (7.10)$$

kus t - kütmise aeg, ΔT - temperatuuri erinevus, V – vee maht, P - kütteelemendi võimsus.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $(0,00117*3067*30)/24= 4,4 \text{ kW}$

$$COP = E_s * E_e \quad (7.11)$$

kus, COP on soojuspumba soojustegur, E_s - soojus energia, E_e - elektri energia.

Vastavalt eeltoodud valemile saame et soojus pump töötaks on vaja $18/3=6 \text{ kW}$

Tabel 7.1 Küttesüsteemide võrdlustabel

Nimetus/ Parameetrid	Kiirsoojendi	Soojuspump
Süsteemi algmaksumus	177,90 €	9600 €
temperatuuri, mida ta suudab talvel hoida	0°C	$+22^\circ\text{C}$
Paigalduse raskused	pole	Torude paigaldus
Piirangud	pole	Pole laiendatav kui torud on juba paigaldatud

8 ENERGIA TOOTMINE KEVADEST SÜGISENI

8.1 Paneelidega toodetava energia arvutus

Kevadest sügiseni on päeva kestvus pikem kui talvel ja seetõttu on võimalik toota rohkem energiat. Energia ülejääk saab maha müüa elektrivõrku ja teenida sellega küttesüsteemi paigaldamiseks kulunud raha tagastada. Selleks on vaja arvutada paneelide kasuteguri päeva perioodil 6-8 ja 16-18. [36]

6-8 ja 16-18 paistab päike 30°-60° nurga all. Keskmine väärtus on 45°.

$$\alpha = \beta - \gamma, \quad (8.1)$$

kus α - päikese keskmine langemisnurk, β - päikese langemisnurk kell 12, γ - keskmine päikese hälve.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $90^\circ - 75^\circ = 15^\circ$

$$\eta_{puht} = \sin\alpha, \quad (8.2)$$

kus η_{puht} - kasutegur, α - päikese keskmine langemisnurk.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $\sin 15^\circ = 0,26 = 26\%$

Tabel 8.1 Päikesepaisteliste ja pilviste päevade arv kevadest sügiseni. [27], [36]

Kuu	päikselised päevad	Kergelt pilves päevad/ Pilves päevad
Märts	11	11/9
Aprill	11	13/5
Mai	16	13/2
Juuni	13	14/2
Juuli	11	17/2
August	9	19/3
September	6	19/5
Oktoober	5	16/10
November	2	12/17
Kokku	84	134/55

Oma arvutustes eeldan, et selge ilmaga on päikese kiirguse võimsus 635 W. Kergelt pilvise ilmaga ilma lumeta ja ideaalse nurga all toodab päikesepaneel 400W ja pilvise

ilmaga 150 W. Arvutame keskmise võimaliku toodetava energiat talvel erinevatel päevadel ja erinevate aja hetkedel.

Päikeseliste päevade korral:

$$P_{puht} = P_0 * \eta_{puht}, \quad (8.3)$$

kus P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, P_0 - tabelist saadud võimsus, η_{puht} - puhta paneeli kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneelide poolt toodetavad võimsused:

$$635 * 0,96 = 610 \text{ W (aeg 10-14)}$$

$$635 * 0,71 = 451 \text{ W (aeg 8-10 ja 14-16)}$$

$$635 * 0,26 = 165 \text{ W (aeg 6-8 ja 16-18)}$$

$$\Delta P = \frac{P_1 * t_1 + P_2 * t_2 + P_3 * t_3}{t_1 + t_2 + t_3}, \quad (8.4)$$

kus P_1 , P_2 ja P_3 on võimused erinevate aegadel, t_1 , t_2 ja t_3 on paistamise aeg, ΔP - keskmine võimsus päeva jooksul.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $(610 * 4 + 451 * 4 + 165 * 4) / 12 = 408 \text{ W}$

Kergelt pilvelased päevadel

$$P_{puht} = P_0 * \eta_{puht}, \quad (8.5)$$

kus P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, P_0 - tabelist saadud võimsus, η_{puht} - puhta paneeli kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneelide poolt toodetavad võimsused:

$$400 * 0,96 = 384 \text{ W (aeg 10-14)}$$

$$400 * 0,71 = 284 \text{ W (aeg 8-10 ja 14-16)}$$

$$400 * 0,26 = 104 \text{ W (aeg 6-8 ja 16-18)}$$

$$\Delta P = \frac{P_1 * t_1 + P_2 * t_2 + P_3 * t_3}{t_1 + t_2 + t_3}, \quad (8.6)$$

kus P_1 , P_2 ja P_3 on võimused erinevate aegadel, t_1 , t_2 ja t_3 on paistamise aeg, ΔP - keskmine võimsus päeva jooksul.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $4 * (384 + 284 + 104) / 12 = 257 \text{ W}$

Pilvealused päevad

$$P_{puht} = P_0 * \eta_{puht}, \quad (8.7)$$

kus P_{puht} - puhta paneeli tegelik võimsus, P_0 - tabelist saadud võimsus, η_{puht} - puhta paneeli kasutegur.

Vastavalt eeltoodud valemile saame paneelide poolt toodetavad võimsused:

$$150 \cdot 0,96 = 144 \text{ W (aeg 10-14)}$$

$$150 \cdot 0,71 = 106 \text{ W (aeg 8-10 ja 14-16)}$$

$$150 \cdot 0,26 = 39 \text{ W (aeg 6-8 ja 16-18)}$$

$$\Delta P = \frac{P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2 + P_3 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}, \quad (8.8)$$

kus P_1 , P_2 ja P_3 on võimused erinevate aegadel, t_1 , t_2 ja t_3 on paistamise aeg, ΔP - keskmine võimsus päeva jooksul.

Vastavalt eeltoodud valemile saame võimsuseks $4 \cdot (144 + 106 + 39) / 12 = 96 \text{ W}$

Arvutame kui palju on keskmiselt võimaik toota kevadest – sügiseni.

$$\Delta P_{ks} = (\Delta P_1 \cdot K_1 + \Delta P_2 \cdot K_2 + \Delta P_3 \cdot K_3) / (K_1 + K_2 + K_3), \quad (8.9)$$

kus ΔP_{ks} - keskmine võimsus kevad-sügis, ΔP_1 - võimsus päikselisel päeval, ΔP_2 - võimsus kergelt pilvise päeval, ΔP_3 - võimsus pilvise päeval, K_1 , K_2 ja K_3 - päevade arv.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $(408.5 \cdot 84 + 257.3 \cdot 134 + 96.5 \cdot 55) / (84 + 134 + 55) = 271 \text{ W}$

$$E = N \cdot \Delta P_{ks}, \quad (8.10)$$

kus E - energia, N - paneelide arv, ΔP_{ks} - keskmine võimsus kevad-sügis.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $30 \cdot 271 = 8130 \text{ W}$ (Paneelide võimusu)

$$E_{tõeline} = E \cdot \eta_{inverter}, \quad (8.11)$$

kus $E_{tõeline}$ - toodetav energia, E - energia, $\eta_{inverter}$ - inverteri kasutegur.

Vastavalt eeltoodud kasutegurile saame võimsuseks $8130 \cdot 0,93 = 7561 \text{ W}$

$$E_{res} = E_{tõeline} \cdot t, \quad (8.12)$$

kus $E_{tõeline}$ - toodetav energia, t - aeg, E_{res} - kogutud energia.

Vastavalt eeltoodud valemile saame $7572 \cdot 12 = 90864 \text{ Wh}$ (Toodetav energia päeva jooksul)

$$E = P_{koormus2} \cdot t, \quad (8.13)$$

kus E - energia maja kütmiseks terve päev, $P_{koormus2}$ - kütmiseks vajav võimsus, t - aeg.

Vastavalt eeltoodud valemile saame maja kütmiseks vajaliku energiahulga $2000 \cdot 24 = 48000$ Wh ehk 48 kWh.

8.2 Majanduslikud arvutused

Kuna kevadest sügiseni päike paistab kauem selle pärast energiat on võimalik koguda rohkem. Toodetud energiat võib kasutada majas et kasutada elektri seadmeid ja mitte maksta elektri eest. Samuti on võimalus müüja vaba energiat.

Arvutame välja, kui palju raha saab vaba energia müügist teenida ja kui kiiresti saab küttesüsteemi ostmiseks ja paigaldamiseks kulutatud raha tagasi saada.

$$E_{vaba} = E_{res} - E, \quad (8.14)$$

kus E - energia maja kütmiseks terve päev, E_{res} - kogutud energia, E_{vaba} - vaba energia.

Vastavalt eeltoodud valemile saame ülejäävaks energiaks $90864 - 48000 = 42,8$ kWh.

Energia võrku müümise hind on 0,29 €/kWh [37], [38]

$$42,8 \cdot 0,29 = 12,4 \text{ €}$$

$$12,4 \cdot 273 = 3385,2 \text{ € (Raha energia müümise eest aasta jooksul)}$$

Tabel 8.1. Süsteemi komponentide maksumused

Komponent	Maksumus
Küttesüsteem	9600/180€
Inverter	1317 €
Paneelid	$377 \cdot 30 = 11310$ €
Paigaldamise tööd	1000 €
Mikrokontroller	47 €
Releed	24 €
Temperatuuriandur	11 €
Kokku	23309/13889 €

Eeltoodud süsteemi maksumuse puhul saame tasuvusajaks $23309 / 3385,2 = 7$ aastat kui paigaldada soojuspumpa ja $13889 / 3385,2 = 4,1$ aastat kui paigaldada kiirsoojendi.

KOKKUVÕTE

Kütta maamaja päikese paneelide abil on võimalik, kuid päris raske, sest on vaja palju ruumi päikesepaneelide paigaldamiseks. Samuti temperatuur maamajas sõltub mille abil hakatakse maja kütma. Tehtud arvutused näitavad, et kui paigaldada territooriumil maksimaalselt võimalikult hulk paneele, 30 tükki, saab maamajas hoida temperatuuri 0°C kui kasutada kiirsoojendi ja kui kasutada soojuspumpa saab majas hoida temperatuuri +22°C. Soojus pump on väga hea kuid raske paigalduses ja kallid süsteem võrreldes kiirsoojendiga. Kasutades kiirsoojendi temperatuur on küll soovitud madalam kuid see pole ka päris halb. Küte maamajas on sellegipoolest positiivne sest väldib niiskuse teket ruumides. Samuti on kõrgema temperatuuri puhul vajadusel lihtsam maja vajaliku temperatuurini kütta kasutades puuküttega pliiti.

KASUTATUD ALLIKAD

- [1] "Energia partner," [Online]. Available: https://energiapartner.ee/paikeseenergia/?gclid=CjwKCAiAkfucBhBBEiwAFjbkr66QgRcPw1Vcu9eKrhxRhGjiUwdPv_DXVJVdEA-xDqKcB8Mrx2WkAhoCDO0QAvD_BwE. [Accessed 18 10 2022].
- [2] "Päikesepaneelide ajalugu," 3 August 2017. [Online]. Available: <https://www.tera.ee/paikeseepaneelide-ajalugu/>. [Accessed 12 Märts 2022].
- [3] "Päikesepaneel - Solar panel," [Online]. Available: https://upwikiet.top/wiki/Solar_panel. [Accessed 14 Märts 2022].
- [4] V. Borutsky, "Päikesepaneelide kirjeldus," July 2019. [Online]. Available: <https://sovet-ingenera.com/eco-energy/sun/otoplenie-na-solnechnyx-batareyax.html>. [Accessed 17 Märts 2022].
- [5] "Päikesenergia Eestis: sissejuhatus," [Online]. Available: <http://www.xn--pikesekte-v2a4y.ee/artiklid/paikeseenergia-eestis/>. [Accessed 16 Märts 2022].
- [6] [Online]. Available: <https://vyborok.com/rejting-luchshih-solnechnyh-panelej/>. [Accessed 15 Aprill 2022].
- [7] [Online]. Available: <http://tokidet.ru/alternativnye-istochniki-energii/kak-sdelat-solnecnuu-batareu-svoimi-rukami-iz-podrucnyh-materialov.html>. [Accessed 15 Aprill 2022].
- [8] "Päikesepaneelid," [Online]. Available: <https://sunergia.ee/paikeseepaneelid/>. [Accessed 14 Märts 2022].
- [9] "Trinasolar," [Online]. Available: https://sunergia.ee/wp-content/uploads/2021/05/DEG21C.20-660W-Datasheet_Vertex_DEG21C.20_EN_2020_PA2_web.pdf. [Accessed 28 Märts 2022].
- [10] "Portenta H7 Lite Connected," [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/collections/home-industrial-automation/products/portenta-h7-lite-connected>. [Accessed Oktober 2022].
- [11] "ARDUINO UNO WiFi REV2," [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/collections/home-industrial-automation/products/arduino-uno-wifi-rev2>. [Accessed Oktoober 2022].
- [12] "Arduino 4 Relays Shield," [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-4-relays-shield?queryID=undefined>. [Accessed Oktoober 2022].
- [13] "Temperature Sensor," [Online]. Available: <https://makeradvisor.com/tools/ds18b20-digital-temperature-sensor/>. [Accessed November 2022].
- [14] "Energiasääst välisseinte valikul," [Online]. Available: <https://www.ee.weber/energiasaast-valisseinte-valikul>. [Accessed 15 Märts 2022].
- [15] "ISOVER MULTIPAKK," [Online]. Available: www.isover.ee/tooted/isover-multipakk-0. [Accessed 15 Märts 2022].
- [16] "Plasto," [Online]. Available: <https://www.plasto.ee/tooted/>. [Accessed 19 Märts 2022].
- [17] "Soojusjuhtivuse näitajad," [Online]. Available: www.vuuk.ee/soojusjuhtivus.php. [Accessed 19 Märts 2022].
- [18] "Päikesepaneeli nurga test," 03 Mai 2022. [Online]. Available: www.solarhome.ru/basics/solar/pv/optimalnyj-ugol-ustanovki-sb.htm. [Accessed 21 Märts 2022].

- [19] "Kuidas päikesepaneelid talvel töötavad," 29 Oktoober 2021. [Online]. Available: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/solar-winter.htm>. [Accessed 24 Märts 2022].
- [20] "Solar Photovoltaic Reference Array Report," 7 Märts 2015. [Online]. Available: <https://drive.google.com/file/d/0B8iovcGawVd-Ri02Q090Y29Xbzg/view?resourcekey=0-OyILloW8E2eTnxc0g2kNpw>. [Accessed 18 Märts 2022].
- [21] [Online]. Available: <https://eltctricon.ru/alternative-energy-sources/experiment-solar-battery-with-your-handsssss/>. [Accessed 15 Aprill 2022].
- [22] "Päikesepaneelide paigutuse omadused," [Online]. Available: <https://arsolar.ru/osobennosti-razmesheniya-solnechnyh-panelej>. [Accessed 6 Aprill 2022].
- [23] "Päikesetõus ja loojang aeg," [Online]. Available: <https://voshod-solnca.ru/sun/таллин>. [Accessed 7 Aprill 2022].
- [24] "Päikese trajektoor," Štšepetkov, 2011. [Online]. Available: <https://studfile.net/preview/4295326/page:3/>. [Accessed 2 Aprill 2022].
- [25] "Päikesepaiste kestus," [Online]. Available: <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimanormid/paikesepaiste-kestus/?lang=ru>. [Accessed 21 Märts 2022].
- [26] "Päikeseelektrijaama energiatõhususe arvutamine," [Online]. Available: <http://solarempire.ru/raschet-energootdachi.html>. [Accessed 4 Aprill 2022].
- [27] "Päikeselised, pilvised ja pimbes päevad aastas," [Online]. Available: <https://anyroad.ru/city/weather/sunnydays/таллин,ее#:~:text=На%20основании%20данных%20о%20погоде,92%2C%20>. [Accessed 19 Märts 2022].
- [28] "Ilmastikuolude mõju päikesepaneelide parameetritele," Yumaev, N. R., Yusufbekov N. Sh., Märts 2018. [Online]. Available: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/287/13663/>. [Accessed 5 Aprill 2022].
- [29] [Online]. Available: <https://www.google.ru/maps/>. [Accessed 15 Aprill 2022].
- [30] "Inverter," [Online]. Available: <http://www.mppsolar.com/manual/PIP-MAX/PIP-MAX%208KW-manual-20200923.pdf>. [Accessed 20 Aprill 2022].
- [31] "Kiiirsoojendi," [Online]. Available: <https://kaup24.ee/et/koduremont/kutte-ja-jahutusseadmed/boilerid/vodonagrevateli-kiirsoojendi-segistile-tesy-7kw-il?id=12851076>. [Accessed 15 12 2022].
- [32] "Thermia Atlas 18," [Online]. Available: <https://www.soojuspumbad.ee/maasoojuspump-thermia-atlas/>. [Accessed 14 12 2022].
- [33] "Soojuspumbad," [Online]. Available: <https://www.soojuspumbad.ee/maasoojuspump-thermia-calibra-eco/>. [Accessed 15 12 2022].
- [34] "Torud," [Online]. Available: <https://beregbud.com.ua/teplovij-nasos-zemlya-voda/>. [Accessed 15 12 2022].
- [35] "SCOP," [Online]. Available: <https://www.kliimaseade.ee/abiks-alla/espl/soojuspumba-soojustegur/>. [Accessed 15 12 2022].
- [36] "Päikesetõus ja loojang aeg 2," [Online]. Available: <https://dateandtime.info/ru/citysunrisesunset.php?id=588409&month=7&year=2021>. [Accessed 7 Aprill 2022].
- [37] "Mikrotootja," [Online]. Available: <http://www.xn--pikeselekter-bfb.ee/Liitumine.xhtml>. [Accessed 10 Mai 2022].
- [38] "Elering Live," [Online]. Available: <https://dashboard.elering.ee/et>. [Accessed 20 12 2022].

[39] "Mikro- ja hajatootmine," [Online]. Available: https://energiatalgud.ee/Mikro-ja_hajatootmine. [Accessed 10 Mai 2022].