

**TAL
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**RAJATAVA SPORDIHOONE ENERGIATARBIMISE
JA TOOTMISE ANALÜÜS
MODELLING ENERGY CONSUMPTION AND PRODUCTION
OF A SPORTS FACILITY IN DEVELOPMENT
BAKALAUREUSETÖÖ**

Üliõpilane: Marcus Pertelson

Üliõpilaskood 185651EAAB

Juhendaja: Reeli-Kuhi Thalfeldt, vanemlektor

Tallinn 2021

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.

“18” mai 2021

Autor: Marcus Pertelson

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

“18” mai 2021

Juhendaja: Reeli-Kuhi Thalfeldt

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“.....”2021 .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Marcus Pertelson

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Rajatava spordihoone energiatarbimise ja tootmise analüüs, mille juhendaja on Reeli-Kuhi Thalfeldt,

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.mai 2021 (*kuupäev*)

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 loomingulise 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.*

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Marcus Pertelson

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: Rajatava spordihoone energiatarbimise ja tootmise analüüs

Kuupäev:
18.05.2021

42 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja: Reeli-Kuhi Thalfeldt

Sisu kirjeldus:

Töö eesmärgiks on koostada arendatava spordihoone elektritarbimise mudel ning leida tarbimise katmiseks parim päikeseelektrijaama lahendus. Peamine praktiline osa tööst teostati programmiga energyPRO.

Antud töö on oluline samm hoone arendamise järgmises etapis. Koostatud mudelit tulevikus reaalse elektritarbimisega võrreldes on võimalik hinnata mudeli täpsust ning optimeerida mudelit võimalikult täpse analüüsi koostamiseks.

Töö käigus kirjeldati ja hinnati hoone kasutust, mille alusel loodi tüüpkoormusgraafik ning selle alusel modelleeriti energyPRO programmis elektri tarbimise mudel. Tarbimise mudelit võrreldi eri võimsusega päikeseelektrijaama toodanguga, hindamaks erinevate lahenduste majanduslikku tasuvust.

Töö tulemusena leiti sobivaim päikeseelektrijaama võimsus, milleks osutus kõige suurem uuritud variant võimsusega 70 kW. Antud lahendus kataks ära hoone aastase elektritarbimise ning tasuvusajaks oleks 6,4 aastat. Lisaks loodi töö käigus mudel, mida saab edasise arenduse käigus kasutada hoone rajamisel tingimuste muutumise korral uute tootmise ja salvestamise alternatiivide analüüsimiseks.

Märksõnad: tarbimise mudel, elektritarbimine, päikesepaneelid, elektrifitseerimine, energiatarbimise analüüs, ligi nullenergiahoone, energyPRO

ABSTRACT

<i>Author:</i> Marcus Pertelson	<i>Type of the work:</i> Bachelor Thesis
<i>Title:</i> Modelling energy consumption and production of a sports facility in development	
<i>Date:</i> 18.05.2021	42 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology	
<i>School:</i> School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Supervisor(s) of the thesis:</i> Reeli-Kuhi Thalfeldt	
<i>Abstract:</i> <p>The objective of this thesis is to create a model of electricity consumption for a sports facility in development. The goal is to find the optimal power for a rooftop solar installation that covers the consumption of the building and is financially reasonable. The modelling of data was done using energyPRO program.</p> <p>The paper is an important step in the development of this building as the results will be the base for designing the electrical project. In the future, the model will be compared to real consumption and this will allow to assess the reliability of the model and allow for advancements in the model itself.</p> <p>The research itself consisted of describing the usage of the building to make standard consumption graph, which was compared to different solar solutions. The results were compared based on production and financial performance.</p> <p>The product of this thesis is a working model for this kind of building, that can be used to make educated decisions when planning the next step of the development. The chosen solution was 70,4 kW and the payback period was 6,4 years.</p>	
<i>Keywords:</i> electricity consumption, modelling of electricity consumption, PV-panels, solar, electrification, energy efficiency, energyPRO	

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: **Rajatava spordihoone energiatarbimise ja tootmise analüüs**

Lõputöö teema inglise keeles: **Modeling energy consumption and production of a new sports facility**

Üliõpilane: **Marcus Pertelson, 185651EAAB**

Eriala: **Elektroenergeetika**

Lõputöö liik: **bakalaureusetöö**

Lõputöö juhendaja: **Reeli Kuhi-Thalfeldt**

Lõputöö ülesande **01.07.2021**

kehtivusaeg:

Lõputöö esitamise tähtaeg: **18.05.2021**

Marcus Pertelson

Reeli Kuhi-Thalfeldt

Lauri Kütt

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

1. Teema põhjendus

Euroopa Liidu üheks oluliseks eesmärgiks energiamajanduses on energiasääst ning selle eesmärkide täitmiseks on seatud nõuded hoonete energiatõhususele. Sellest tulenevalt peavad kõik ehitatavad või olulisel määral rekonstrueeritavad hooned vastama energiatõhususe miinimumnõuetele. Energiatõhususarvu arvutamisel on üheks komponendiks ka lokaalse energiatootmise süsteemid, sh elektri tootmisseedmed. Seetõttu on uute hoonete arendamisel oluline arvestada, et hoone tarbimist ja tootmist arvesse võetaks täidetaks energiatõhususe nõudeid.

Lõputöö autori huvi taastuenergeetika ja uute energialahenduste osas on väljendunud siiani päikeseelektrijaamade projekteerijana. Lõputöö teema tuleneb autori rollist uue spordihoone arenduse juures, mille raames on ülesandeks välja töötada energialahenduste kontseptsioon. Antud projekti puhul on väga oluline roll tarkadel lahendustel, millega on võimalik optimaalselt katta ära hoone tarbimine kohapealse energia tootmisega.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on koostada rajatava spordihoone energia tarbimise ja tootmise mudel, mis arvestab hoone eeldatava elektritarbimisega. Arendatavale hoonele planeeritakse rajada ka päikeseelektrijaam, mille projekteerimise lähteülesandeks on eelnevalt koostatud tarbimisprofiil. Lisaks on töö eesmärk välja pakkuda innovaatilisi lahendusi hoone energiatarbimise vähendamiseks või kohapealseks energia tootmiseks. Antud lahenduste all peetakse silmas tehnoloogiaid, mis on hetkel majanduslikult ebamõistlikud ning mille tehnoloogia pole laialt levinud.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- 1)Kuidas võiks välja näha hoone tunnipõhine energia tarbimise profiil ühe aasta vältel?
- 2)Kuidas optimeerida päikeseelektrijaama nimivõimsust, et saavutada parim kompromiss hoone tarbimise katmise ja majandusliku tasuvuse vahel?
- 3)Milliseid innovaatilisi lahendusi võiks tulevikus lisada vähendamaks hoone negatiivset mõju keskkonnale?

4. Lähteandmed

Lähteandmeteks on hoone esmane eskiis ning prognoositav kasutajate hulk ja seadmete koosseis. Ruumide funktsiooni kirjelduse ja hoone esmase tunniplaan on sisendiks tunnipõhise tarbimisgraafiku loomisel, mis on aluseks päikeseelektrijaama parameetrite valimiseks.

energyPRO mudeli lähteandmeteks on tunnipõhised mõõteandmed välistemperatuuri ja päikese kiirguse kohta, Nord Pool Spoti ajaloolised börsihinnad, võrgutasud ja muud elektri hinna komponendid.

5. Uurimismeetodid

Töö teoreetiline osa koostatakse kirjanduse analüüsina. Peamiseks uurimismeetodiks on energyPRO tarkvara, millega modelleeritakse hoone elektrienergia tarbimist ning erinevate tootmislahenduste elektritoodangut.

6. Graafiline osa

Töö põhiosas on peamiselt järgnevad graafilised osad:

Lähteandmete tabel

Elektritarbimise nädala graafik

Aastane elektritarbimise ja tootmise graafik

Aastane energiatarbimise rahavoogude aruanne

Päikeseelektrijaama võimsuse valiku tabel

Valitud seadmete andmelehed

Alginvesteeringu eelarve

7. Töö struktuur

TIITELLEHT

AUTORIDEKLARATSIOON

LIHTLITSENTS

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

ABSTRACT

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

SISUKORD

SISSEJUHATUS

1. LÄHTEÜLESANNE

2. ENERGYPRO MUDEL

2.1 EnergyPro tarkvara põhimõte

2.2 Lähteandmed

3. HOONE TARBIMISE MUDEL

3.1 Tarbimise kirjeldus

3.2 Temperatuuri mõju tarbimisele

4. TOOTMISSEADMETE MUDEL

4.1 Päikesepaneelide valik

4.2 Päikeseelektrijaama võimsus

5. VALITUD LAHENDUSE ANALÜÜS

5.1 Toodangu ja tarbimise analüüs

5.2 Majanduslik analüüs

6. TULEVIKU LAHENDUSED

KOKKUVÕTE

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

LISAD

8. Kasutatud kirjanduse allikad

Peamisteks kasutatud kirjanduse allikateks on seadusandlikud aktid, uuringud, aruanded, teadusartiklid, eelnevalt koostatud lõputööd ja energyPRO kasutusjuhend.

Euroopa Komisjon. Euroopa roheline kokkulepe. [võrgumaterjal]

https://ec.europa.eu/estonia/news/kliima_et

EMD. energyPro User's guide. [võrgumaterjal]

<https://www.emd.dk/energyPRO/Tutorials%20and%20How%20To%20Guides/energyPROHlpEng-4.5%20Nov.%202017.pdf>

Riigi teataja. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. [võrgumaterjal]

<https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015015>

S.Qazi, Standalone Photovoltaic (PV) Systems for Disaster Relief and Remote Areas, Amsterdam: Elsevier, 2017.

9. Lõputöö konsultandid

Argo Rosin – tarbimise mudel

10. Töö etapid ja ajakava

Lähteülesande püstitamine ja kirjanduse uurimine

-17.03.2021

Teooria kirjutamine

-17.03.2021

Mudeli loomine ja praktilise osa kirjutamine

-16.04.2021

Paranduste sisseviimine

-02.05.2021

Eelkaitsmine

05.05.2021

Viimaste täienduste ja muudatuste tegemine

-14.05.2021

Töö lõplik versioon valmis

17.05.2021

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
SISSEJUHATUS	11
1. LÄHTEÜLESANNE	12
2. ENERGYPRO MUDEL	13
2.1 energyPRO põhimõte	13
2.2 Lähteandmed	14
2.2.1 Tarbimine	14
2.2.2 Tootmine	15
2.2.3 Elektrivõrk	16
3. HOONE TARBIMISE MUDEL	18
3.1 Tarbimise kirjeldus	18
3.2 Temperatuuri mõju tarbimisele	20
4. TOOTMISSEADMETE MUDEL	24
4.1 Päikesepaneelide valik	24
4.2 Päikeseelektrijaama võimsus	27
5. VALITUD LAHENDUSE ANALÜÜS	30
5.1 Toodangu ja tarbimise analüüs	30
5.2 Majanduslik analüüs	33
6. TULEVIKU LAHENDUSED	36
KOKKUVÕTE	37
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	38
LISAD	40

SISSEJUHATUS

Maailm on jõudnud punkti, kus nn. roheline lähenemine transpordile, tarbimisele, toitumisele, ärile ja ka kõikidele teistele elu valdkondadele on saanud enamuse jaoks oluliseks ning see mõjutab igapäevaselt keskkonda meie ümber. Selle liikumise juhtiv roll on Euroopa Komisjonil, mille algatusena tuldi 2019. aasta detsembris välja Euroopa roheline kokkulepe, mis on järg 2015. aastal sõlmitud Pariisi kliimaleppele. [1]

Poliitilistele lepetele on järgnenud ka reaalne areng, koos inimeste teadlikkuse tõusuga, mis omakorda väljendub nende tarbimisharjumustes. Klientide hoidmise ja uute võitmise nimel on pidevalt näha suuri ettevõtteid tutvustamas oma uut rohelist lähenemist materjalidele, tootmisele, toorainele jne. Idufirmade seas on jätkusuutlik ja loodussõbralik lähenemine saanud esimeseks kriteeriumiks tegevusele.

2020. aasta oli Eestis väga aktiivne päikeseelektrijaamade ehitus, mis oli tingitud Eleringi taastuvenergia toetuse skeemi lõppemisest peale 31. detsembrist 2020. aastal ehitatud tootmiseseadmetele. Sellele reageerisid ka pangad ja pakkusid päikeseelektrijaamade püstitamiseks spetsiaalseid laenukohti. Lisaks päikeseenergia kasutusele võtuks mõeldud laenukohtidele pakkusid pangad ka uue tootena majade energiatõhususe parandamiseks mõeldud kohti. [2]

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on luua arenduses oleva spordihoone elektritarbimise mudel ja sellele vastavalt kujundada hoonele sobivaim päikeseelektrijaam. Antud spordihoone on varajases arendusfaasis olev projekt, mille oluline fookus on kasutada energiasäästlikke lahendusi, mis hoiavad hoone käidukulud madalad ning kuhu on võimalik hiljem uusi lahendusi juurde integreerida. Hoone asukoht pole määratud, kuna tegemist on formaadiga, kus antud projekti alusel saaks ehitada hooneid üle Eesti. Mudeli koostamiseks kasutatakse ettevõtte EMD International AS poolt välja töötatud tarkvara energyPRO. [3]

Antud töö raames valmiv mudel võtab arvesse standardkohti ja ei keskendu hoone lõpliku seadmete koosseisu täpsele valikule. Eesmärk on saada hoone põhiprojekti koostamiseks eeldatav elektrienergia aastane tarbimine ja oluline aspekt on koormusgraafiku ajaline paiknemine võrdluses päikeseelektrijaama tootmisgraafikuga. Hiljem on võimalik töö käigus valminud mudelit kasutades optimeerida seadmete valikul hoone ehitus- või käidukulud ja hinnata uudsete tehnoloogiate kasutuselevõtuga kaasnevat energiasäästu.

1. LÄHTEÜLESANNE

Antud bakalaureusetöö on teine samm kavandatava spordihoone arendamise protsessis. Praeguseks hetkeks on välja töötatud hoone visioon ja esialgsed eskiisid. Käesoleva töö aluseks on arhitektibüroo poolt kavandatud hoone eskiis. Hoone peamine kavandatud funktsioon praegusel kujul on lasteaedade ning algkoolide kõrvale ehitatava judosaalina.

Sellisel kujul ehitatava hoone projekt on prototüübiks kogu visioonile taolise arhitektuurse ning funktsionaalsusega hoonete valmislahenduse pakkumiseks. Spordihoonete mõistliku majandamise puhul on oluline faktor käidukulu. Selle saavutamiseks kasutatakse päikesepaneele ning energiasäästlike tehnoseadmeid. Prototüübi edukaks osutumisel on järgmine samm antud lahendust suuremaks skaleerida ning hoonele funktsioone lisada ning hoone kontseptsiooni edasi arendada.

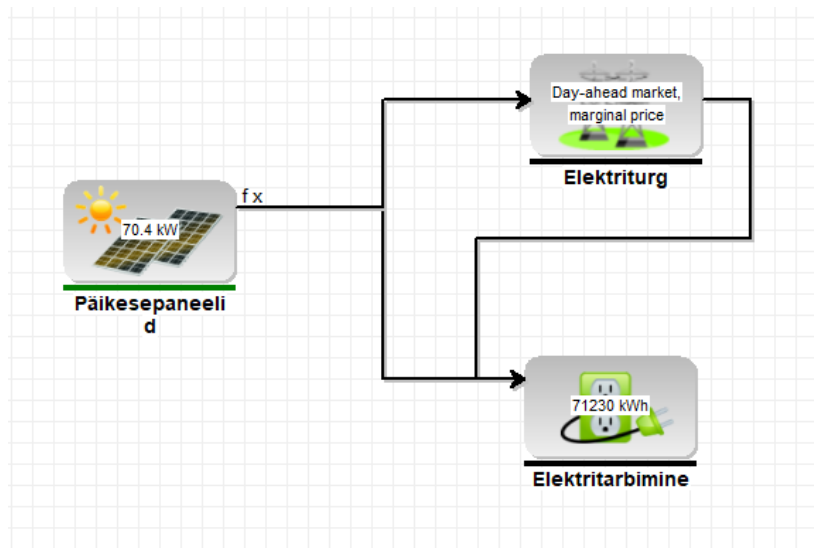
Autori ülesanne on pakkuda välja hoone prototüübile kogu energeetikalahendus, mis hoiab käidukulud minimaalsed ning mis kasutab võimalikult palju tarkasid tehnosüsteemi juhtimise lahendusi. Antud ülesande lahendamise esimene samm on praeguse uurimistöö koostamine. Sellega pannakse paika standardmudel hoone elektritarbimise kohta, mis vastab hoone prognoositavale kasutusele inimeste arvu ja kasutustundide kohta.

Lähtuvalt asjaolust, et tegemist on prototüübiga, millele puudub kindel kinnistu, eesmärgiga püstitada sama projekti alusel rohkem kui üks hoone, siis on kõige kindlam elektritootmise viis päikesepaneelidega, mis on paigaldatud hoone katusele. Päikesepaneelid ei nõua täiendavat ruumi, ning on lihtsasti paigaldatavad ja hooldatavad.

Käesoleva töö käigus loodavad mudelid on aluseks hoone projekteerimise ja ehituse käigus seadmete valikul ning projekti järgmises faasis on hoone suurendamisel aluseks tehnosüsteemide ja päikeseelektrijaama valikul. Uurimistöö eesmärgiks ei ole hoone tehnosüsteemi seadmete täpne valimine ning hoone energiaklassi määramine, vaid on aluseks hoone arendamisel teadlike ning täpsete otsuste ja plaanide tegemisel.

2. ENERGYPRO MUDEL

Antud töö praktilisest poolest enamuse moodustab programmis energyPRO koostatud hoone elektrienergia tarbimise ja päikeseelektrijaama tootmise mudel. Töö esimene samm on koostada MS Excel programmis tarbimise mudel, mis arvestab iga olulise tarbijaklassi summeeritud tunnipõhist tarbimist ühe ööpäeva ja ühe nädala lõikes.



Joonis 2.1 energyPRO mudeli põhimõtteskeem

2.1 energyPRO põhimõte

Windowsi operatsioonisüsteemil põhinev modelleerimistarkvara energyPRO võimaldab koostada kombineeritud tehnomajanduslikke analüüse ja keerukate energeetikaprojektide elektri- ja soojaenergia süsteemide optimeerimist. Programm võimaldab optimeerida soojus-, kütuse-, jahutus- ja elektrijaamade tööd nii tehniliste kui finantsparameetrite alusel ning koostab kasutajale detailse aruande energiabilansi kohta. Lisaks eelmainitule koostab programm detailse finantsplaani standardformaadis, mis on aktsepteeritud nii pankade kui ka teiste finantsinstitutsioonide poolt. [4]

Selle töö raames on fookus vaid elektrienergia tarbimise- ja toodangu mudelil. Tarbimise mudeli loomiseks koostatakse tüüpkoormusgraafik ning seda kasutatakse energyPRO programmis tarbimise modelleerimiseks.

Tootmise poolelt valitakse välja sobivaimaid päikesepaneelid ja sisestatakse tehnilised parameetrid programmi. Programm arvutab kokku paneelide toodangu projekti sätestatud eluea jooksul ning kasutaja saab kuvada toodangu graafikud nädala, kuu, aasta ja projekti eluea lõikes.

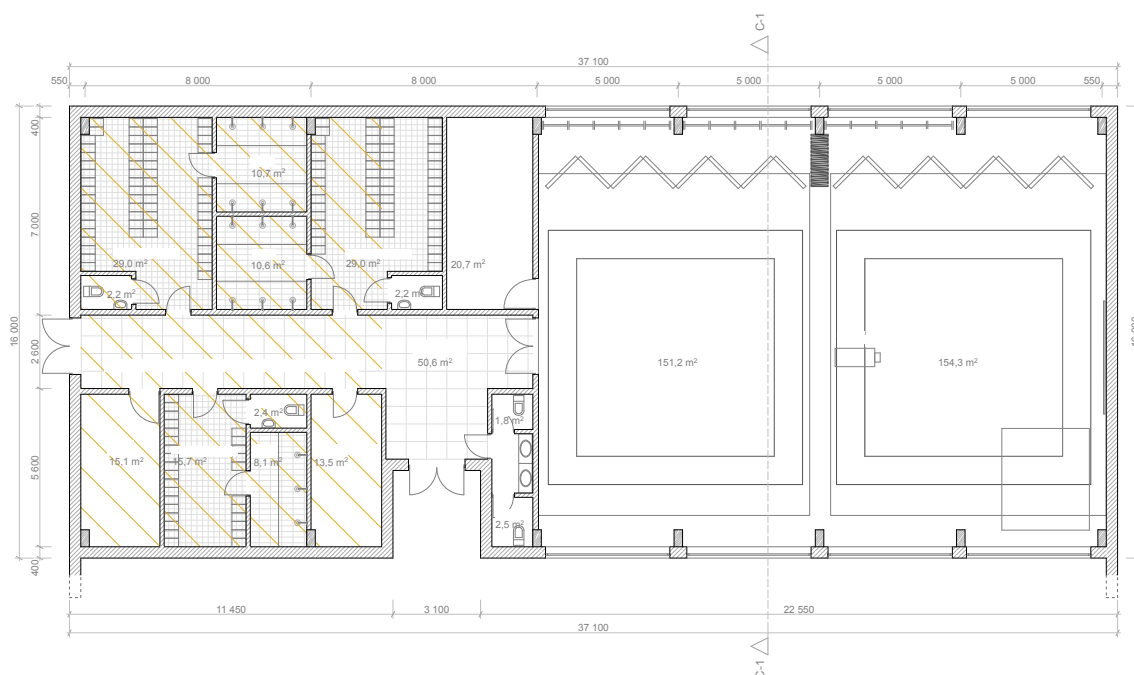
Väljastatud graafikutelt saab teha järeldusi päikesepaneelide toodangu sobivuse kohta tarbimist arvestades.

2.2 Lähteandmed

Projekti elueaks on valitud 25 aastat, mis on päikesepaneelide tootjate poolt antud eluiga paneelidele. Sellise mudeli puhul on iga aasta tarbimine ja toodang sarnane kuna lähteandmed on antud ette ühe aasta lõikes ning tarbimise mudel on ehitatud tunni ja nädala põhisel. Suurimat mõju antud perioodi jooksul tekitab PV-paneelide kulumisest tingitud toodangu langust.

2.2.1 Tarbimine

Mudeli loomise aluseks on arendaja poolt planeeritav hoone tunnipõhine kasutus ning hoone planeeritav energiakasutus. Antud projekti oluline osa on kasutada võimalikult palju keskkonnasäästlikke lahendusi, mis eeldab ka energiatõhusa hoone ehitamist. Sellest lähtuvalt on planeeritud rajada A-klassi energiamärgisega hoone, maksimaalse energiatõhususarvuga 120 kWh/(m²a). [5] Hoone üldpinnaks on joonisel 2.2 kujutatud eskiisplaani alusel 593,6 m².



Joonis 2.2 Spordihoone eskiisplaani

Aastase tarbimise leidmiseks kasutatakse valemit 2.1.

$$E_{at} = S_k \cdot e_k \quad (2.1)$$

kus E_{at} – hoone aastane elektritarbimine, kWh,

S_k – hoone kogupindala, m²,

e_k – hoone maksimaalne energiatõhususarv, kWh/(m²a).

Seega on hoone aastane elektrienergia tarbimine:

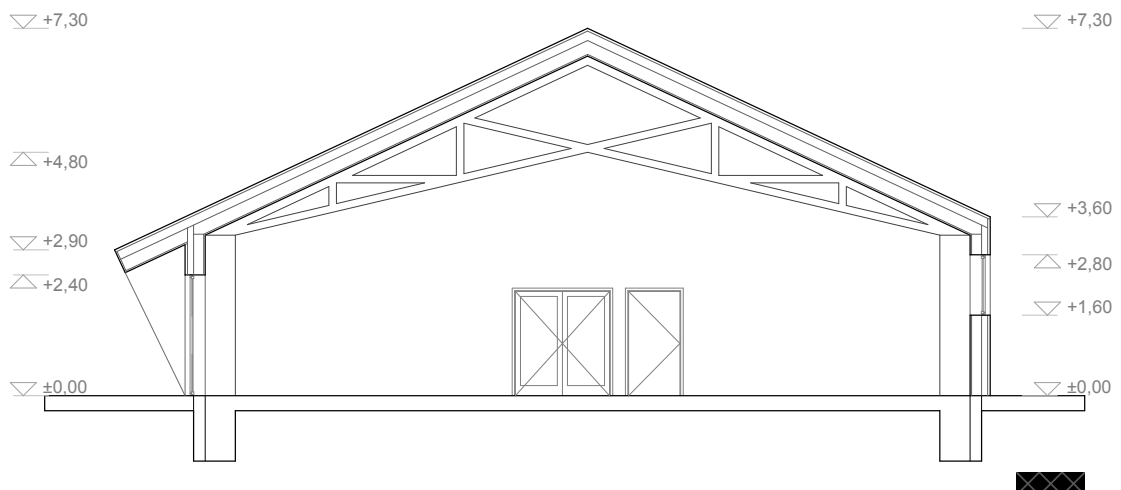
$$E_{at} = 593,6 \cdot 120$$

$$E_{at} = 71\,230 \text{ kWh}$$

2.2.2 Tootmine

Tootmise mudeli koostamise esimeseks lähtepunktiks on katuse suurus, see seab piirangu fotogalvaaniliste paneelide (edaspidi PV-paneel) kogusele. Antud hoone puhul on eesmärk katta lõunapoolne katusepind maksimaalselt PV-paneelidega

Katuse pindala S_k arvutamiseks sisestatakse hoone eskiisplaan ja lõige C-1 programmi *AutoCad* ja korrigeeritakse mõõtkava vastavalt joonistele. See võimaldab lihtsalt mõõta katuse vajalikud mõõtmed. Jooniselt 2.2 loetakse välja katuse pikkus 37,1 m ning jooniselt 2.3 mõõdetakse katuse laius 10,39 m ning katuse kaldenurk 25°.



Joonis 2.3 Hoone eskiisplaani vaade C-1

Tulenevalt energyPRO programmi eripärast käsitletakse antud töös päikeseelektrijaama mudeli puhul peamiselt PV-paneele, kuna energyPRO programmis eraldi inverterit detailselt ei modelleerita. Inverteri mõju toodangule kajastatakse mudelis kadude modelleerimisega. PV-paneelide puhul sisestatakse programmi paneeli tehnilised näitajad. energyPRO programm arvestab lisaks paneelide võimsusele, kogusele ja kaldenurgale, temperatuuri koefitsienti ning PV-paneeli nominaaltööt temperatuuri koos välistemperatuuri andmete aegreaga. Lisaks kasutatakse energyPRO programmist saadud PVGIS-SARAH otsese ja hajusa päikesekiirguse andmeid koordinaatidelt 59.40 N 24.65 E, aastast 2019. Antud asukoht on valitud Tallinnasse, nii, et seda ei mõjutaks liigselt meri ega ka kesklinna kõrghooned.

Kuigi programm võimaldab modelleerida vaid päikesepaneelide andmeid, siis on võimalus sisestada kogu süsteemi kadude protsent, kus on arvesse võetud nii inverteeris kui kaablites tekkivad kaod, mis on hinnanguliselt kokku 10 %.

Ülejäänud tootmise mudelist on finantsmudel. Finantsmudeli tulude poole võib jagada kaheks – elektri müügist teenitud otsene tulu ning võrgust ostetud elektrienergia koguse vähenemisest saadud kulude kokkuvõtte. Tulude real on elektrimüük, ostmata jäänud elektrienergiast ja võrguteenusel saavutatud kokkuvõtte, vähem makstud aktsiis, ostumarginaal ja taastuvenergiatasu. Kulude poolel on müüгимarginaal ning hooldus, mis on mõlemad väga väikese mõjuga. Lisaks kuludele ja tuludele arvestab mudel ka alginvesteeringu maksumusega, inverteri vahetamise kuludega ning käibemaksu ja inflatsiooniga.

2.2.3 Elektrivõrk

Lähtuvalt päikeseelektrijaamade tehnoloogiast, ei ole võimalik sellega hoone tarbimist reaalselt kõigil ajahetkedel katta, seega tuleb öösiti ning talveperioodil suur osa vajaminevast elektrienergiast elektrivõrgust sisse osta. Suvisel perioodil võib juhtuda olukord, kus tarbimine on madal ja elektrijaama toodang väga hea, siis müüakse üle jääv elektrienergia elektrivõrku.

Elektri hind võetakse *Nord Pool Spot* (NPS) elektriturul 2019. aasta Eesti tunnipõhiste börsihindade Exceli tabelist. [6] Selle alusel arvutab programm iga tunni põhiselt toodetud ja tarbitud elektrienergia saldo ning elektrienergia ekspordi puhul arvestatakse sama kuupäeva sama tunni börsihinnaga. Lisaks ekspordile arvestatakse igas tunnis päikeseelektrijaama toodetud elektri tarbimist hoones, selle pealt arvutatakse ostmata jäänud elektrienergia, võrguteenusel ning vähem makstava taastuvenergiatasu, ostumarginaali ning elektriaktsiisi maht. Tabelis 2.1 on välja toodud vastavad lähteandmed, milles on kasutatud eri aastate allikaid. Selle põhjuseks on 2020. aastal

lahvatanud ülemaailmne tervishoiukriis, mis on tugevalt mõjutanud ka elektritarbimist ning see on omakorda mõjutanud hinda. Sellest lähtuvalt on kasutatud vajadusel 2019. aasta andmeid.

Tabel 2.1 energyPRO mudeli lähteandmete ülevaade

	€/kWh	Aasta	Allikas	Lisainfo
Elekter	0,046*	2019	NPS Historical Data	Elsport Prices_2019_Hourly_EUR
Võrguteenus	0,048*	2019	AEK0300 õppematerjalid	Elektrilevi võrgutasu
Müügmarginaal	0,0018	2021	Elektrum Eesti AS	
Aktsiis	0,00447	2020	EMTA Aktsiisimäärad	Kriisi leevendamiseks 01.05.20-30.04.22 vähendatud
Ostumarginaal	0,0018	2021	Elektrum Eesti AS	
Taastuenergia tasu	0,0113	2020/2021	Elering	
* aasta keskmine. Programmis tunnipõhine aegrida				
Käibemaks	20%			
Aastane inflatsiooni määr	3%			

Elektri börsihind on võetud NPS andmebaasist ja kasutati 2019. aasta tunnipõhiseid andmeid. Antud aasta valiti eesmärgiga kõrvaldada mudelist 2020. aastal valitsenud pandeemiast tingitud ebakorrapärasused, milleks võib olla vähendatud tarbimisest tingitud elektrihinna kõikumised. Elektri hinna muutumist ajas antud töös ei arvestata, kuna tuleviku elektri hinda prognoosida ei mahu antud töö raamidesse.

Võrguteenuse alusandmetena kasutati samuti 2019. aasta võrgutasude tunnipõhist aegrida, et võrgutasu oleks korrelatsioonis elektri börsihinnaga, ning sellega seotud tarbimise ja tootmise nõudluse tasakaalust. Elektri müügi- ja ostumarginaal on 2021. aasta Elektrum Eesti AS pakutav määr, millest on mudeli koostamisel lähtutud.

Aktsiisimääraks valiti kuni 30.04.2020 kehtinud 4,47 €/MWh. Täpsustuseks tuleb lisada, et hetkel kehtiv aktsiisimäär on 1 €/MWh, mis on valitsuse kehtestatud meede Covid-19 pandeemia negatiivse mõju vähendamiseks. Antud meede kehtib kuni 30.04.2022. Arvestades aktsiisimäära langetamise lühiajalist kestust, ning aktsiisi väikest mõju lõpptulemuses, valiti fikseeritud aktsiisimäär pandeemiaeelsest tasemest [7]. Taastuenergia tasu arvutab ja kehtestab Elering. [8]

Lisaks erinevatele tasudele ja aktsiisidele on mudelis arvestatud ka käibemaksuga, milleks on Eestis 20% ning inflatsiooniga. Inflatsiooni määr on valitud 3%, mis võimaldab majandustsüklitest põhjustatud kõikumisi tasandada ning tulemustes on varu sees, mis on oluline hoone netoenergiatarbimise arvestuses.

Teises peatükis valmis hoone energiatarbimise algne ülevaade. Hoone maksimaalseks energiatõhusarvuks on 120 kWh/(m²a) ning hoone aastane energiavajadus on 71 230 kWh. Järgnevate peatükkide lahendamiseks leiti katuse mõõtmed ning sätestati mudeli majandusliku osa lähteandmed ja pandi paika ekspordist ning impordist tekkiva kassavoo valemid.

3. HOONE TARBIMISE MUDEL

Punktis 2.2.1 on välja arvatud hoone aastane energiatarbimine. Lähtudes hoone planeeritavast energiatõhususarvust kuni 120 kWh/(m²a) ning hoone suletud netopinnast 593,6 m², saadi aastaseks tarbimiseks 71 230 kWh. See on peamine parameeter energyPRO programmis tarbimise mudeli loomisel. Teiseks sisendparameetriks on hoone kasutamise intensiivsus, mis on saadud planeeritavatest treeningute kellaaegadest ning gruppide suurustest.

3.1 Tarbimise kirjeldus

Tarbimise mudeli järgmiseks sammuks on hoone kavandatav tunniplaan ning hoone seadmete koosseis. Antud töös seadmete täpset koosseisu ei käsitleta, kuna projekti praeguses faasis on seda vara teha. Seadmete lõpliku valiku aluseks on eesmärk saavutada hoone energiatõhususarvuks maksimaalselt 120 kWh/m²a. Tabelis 3.1 on välja toodud hoone ruumide ja nendes paiknevate peamiste seadmete nimekiri.

Tabel 3.1 Ruumide energiakasutuse kirjeldus

Ruum	Kogus, tk	Pindala, m ²	Ventilatsioon	Valgustus	Soe vesi	Soojus	Seadmed
Riietusruumid	2	29					
Treenerite riietusruum	1	15,7					
Duširuumid	2	10,6					
Treenerite duširuum	1	8,1					
WC	5	2,2					
Judosaal	2	160					
Varustuse ladu	1	20,7					
Tehnoruum	1	13,5					
Köök	1	15,1					
Koridor	1	50,6					
Legend		Intensiivne kasutus		Tagasihoidlik kasutus		Kasutus minimaalne/ puudub	

Lisaks ruumide kasutusotstarbele on oluline teada, mis ajal, milliseid ruume enamasti kasutatakse. Öine režiim tähendab hoone minimaalset energiatarbimist, mille puhul on töös ventilatsioon ja õhksoojuspumbad, vähemal määral boilerid ja muud seadmed. Öine režiim on tabelis 3.2 numbriga 1.

Hommikuti, kell 06:00 hakkab hoones tegevus pihta ning siis on keskmise tarbimise režiim, mis on 50% suurem kui öine tarbimine. Keskmise tarbimise puhul on hoones üks treeninggrupp ning kasutuses on pool spordisaali ja osalise koormusega duširuumid.

Hommikuse osakoormuse ajal treeninguid ei toimu, selle asemel toimub vee soojendamine.

Esimene täiskoormuse hetk algab kell 08:00, mil algab esimene treening, siis on kasutuses kogu spordisaal, ventilatsiooni ning valgustuse vajadus kasvab. Treeningu lõpus liigub koormus hügieenitoimingutele ning kööki. Täiskoormusel on hoone energiatarbimine 2 korda suurem öisest baaskoormusest.

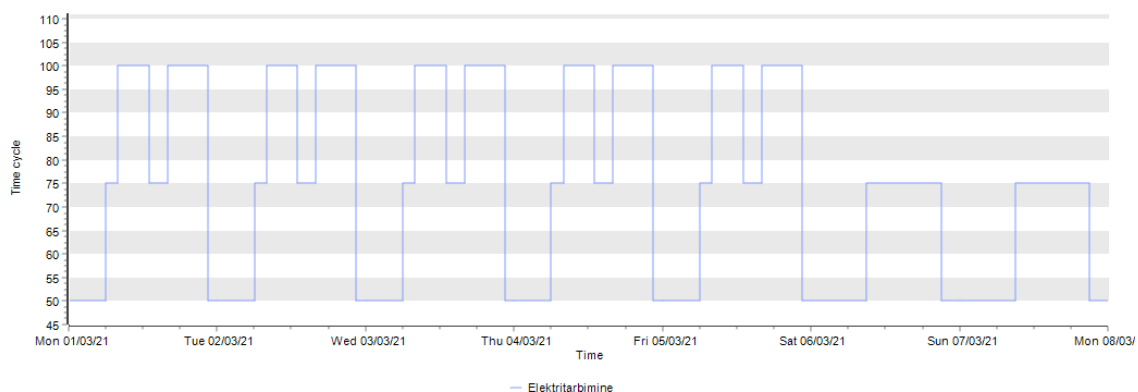
Päevasel ajal, vahemikus kell 13:00 – 16:00 on jällegi osakoormus, kus suuri gruppe majas ei viibi, toimub väiksema grupi treening. Alates 16:00 kuni sulgemiseni kell 22:30 on hoones täiskoormus.

Nädalavahetustel on koormus madalam, seega on avamisest sulgemiseni osakoormusega 1,5 korda baaskoormusest.

Eelneva info põhjal koostati tabel 3.2, kus on välja toodud hoone tarbimise muutus nädala jooksul. Tabel 3.2 sisestatakse energyPRO programmi ning sellest saab tarbimise mudeli tüüpgraafik, mis on kujutatud joonisel 3.1.

Tabel 3.2 Hoone kasutamise intensiivsus suhtarvudes päeva jooksul nädala lõikes

Nädalapäev	00:00	06:00	08:00	09:00	13:00	16:00	21:00	22:30
Esmaspäev	1	1,5	2	-	1,5	2	-	1
Teisipäev	1	1,5	2	-	1,5	2	-	1
Kolmapäev	1	1,5	2	-	1,5	2	-	1
Neljapäev	1	1,5	2	-	1,5	2	-	1
Reede	1	1,5	2	-	1,5	2	-	1
Laupäev	1	-	-	1,5	-	-	1	-
Pühapäev	1	-	-	1,5	-	-	1	-



Joonis 3.1 Elektritarbimise tüüpkoormusgraafik

3.2 Temperatuuri mõju tarbimisele

Projektis käsitletava hoone puhul on asukoht lahtine ning sellest tulenevalt on hoone kütteviisiks valitud elektriseadmetel põhinev küte. Selle tõttu mõjutab tarbimist tugevalt ka välistemperatuur, mida energyPRO võimaldab modelleerida. Selleks laetakse energyPRO programmis temperatuuri tunniandmete aegrida mudeli andmebaasist ning määratakse tarbimise sõltuvus temperatuurist ning kütmise alustamise temperatuur.

Välistemperatuuri mõju saab programmis muuta vastavalt asukohale ning on vabalt valitav. Katsetamise käigus osutus optimaalseks temperatuuri sõltuvuse määraks 60%. Minimaalse küttemperatuuri ning tarbimise sõltuvuse väärtuste leidmisel on aluseks võetud energyPRO kasutusjuhend [4]. Sõltuvuse määra vähendamisel jagunes aasta tarbimine liigselt aasta jooksul ära. Sõltuvuse määra tõstmisel kadus hoone standardtarbimise profiil liigselt ära.

Tarbimise sõltuvus temperatuurist kehtib kuni 17°C. Sellega piiratakse ära kütteperiood. Antud temperatuuri määramiseks võeti samuti aluseks energyPRO kasutusjuhend ning võrreldi mudeli käitumist temperatuuri langetamisel ja tõstmisel, mille tulemus oli sarnane temperatuuri sõltuvuse kirjeldamisel tekkinud mõjuga tarbimise graafikule.

Joonisel 3.2 on kujutatud hoone tarbimise mudeli lähteandmete sisestamise aken, koos mudeli seadistamise väärtustega.

Demand in Specified year

Demand: Fixed Calculated 01-2021 12-2021 71230.0 kWh

Demand depends on external conditions
Dependent fraction 60.0%
 Restricted season for dependent demand (m/d)

Formula for dependency
 Depends linear on ambient temperatures
 Is user defined
Reference temperature 17.0 °C Symbol for ambient temperatures T
kW/°C Degree kW/Degree
0.4835 * Max(17.0-T(_);0) + 3.2525

Fixed profile of demand
 Daily Weekly

	Day	Time	Ratio
1	Monday	00:00	1.0
2	Monday	06:00	1.5
3	Monday	08:00	2.0
4	Monday	13:00	1.5
5	Monday	16:00	1.0

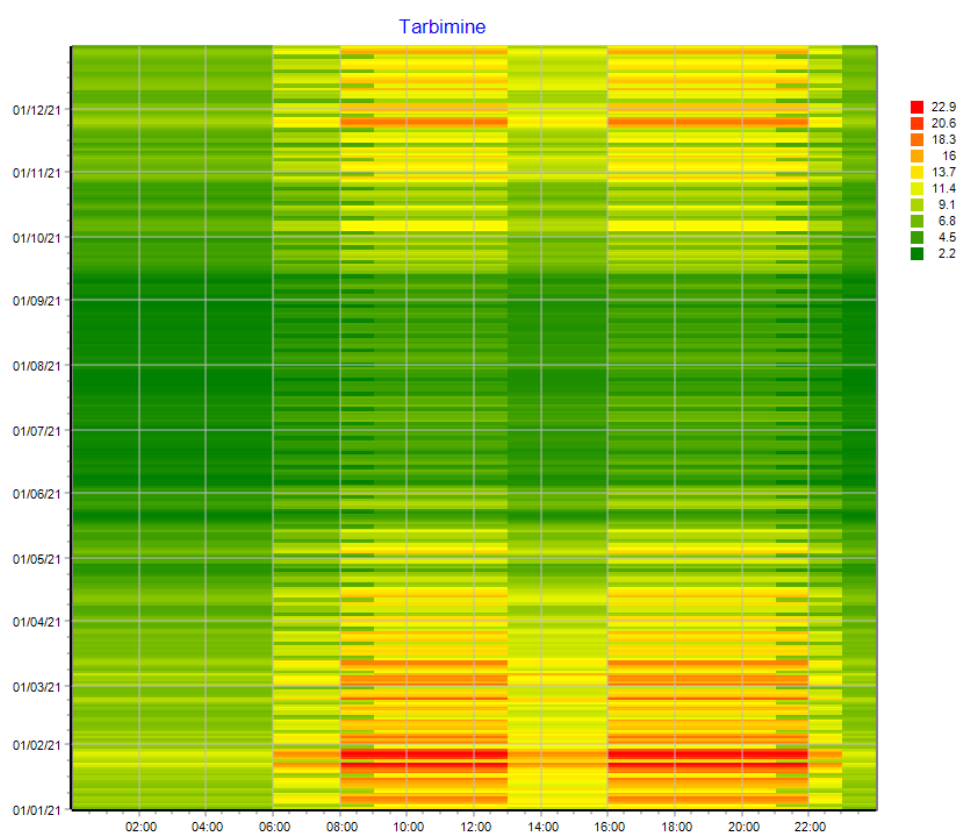
Add line Delete line As graphics As timeseries

Joonis 3.2 energyPRO mudeli tarbimise lähteandmed

Joonisel 3.3 on graafiliselt kujutatud tarbimise jagunemine kellaaegade ja aasta lõikes, mis aitab hästi illustreerida tarbimise koondumist talvekuudele päevasele ajale, ning suvel esinevat madalat tarbimist. Antud jooniselt tuleb hästi välja jaanuari lõpus tekkiv väga suur tarbimine. Ühtlasi tuleb hästi esile tarbimise märgatav vähenemine märtsi keskel.

Septembri keskelt tarbimine jälle tõuseb, kuid jaanuari ning veebruariga samale tasemele jõuab alles novembri lõpus ja sellegipoolest on detsembri tarbimine märgatavalt madalam jaanuarist ja veebruarist.

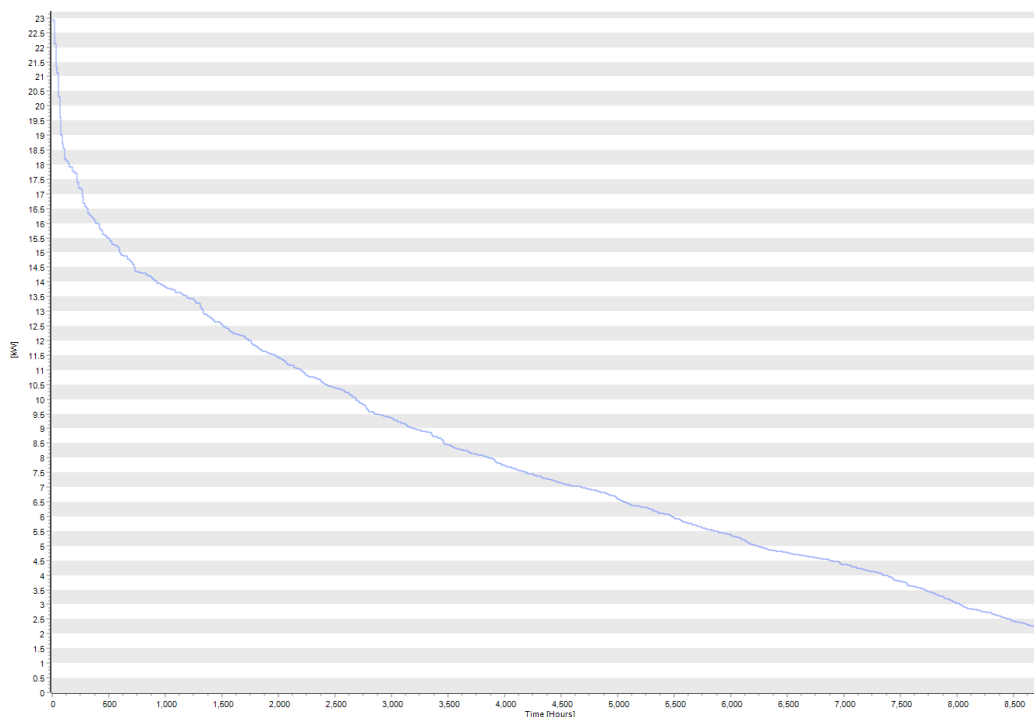
Suvine tarbimine on ühtlaselt madala, kuna temperatuurist tingitud muutuja enamasti rolli ei mängi.



Joonis 3.3 Tarbimise jagunemine graafiliselt aasta ning tundide vahel

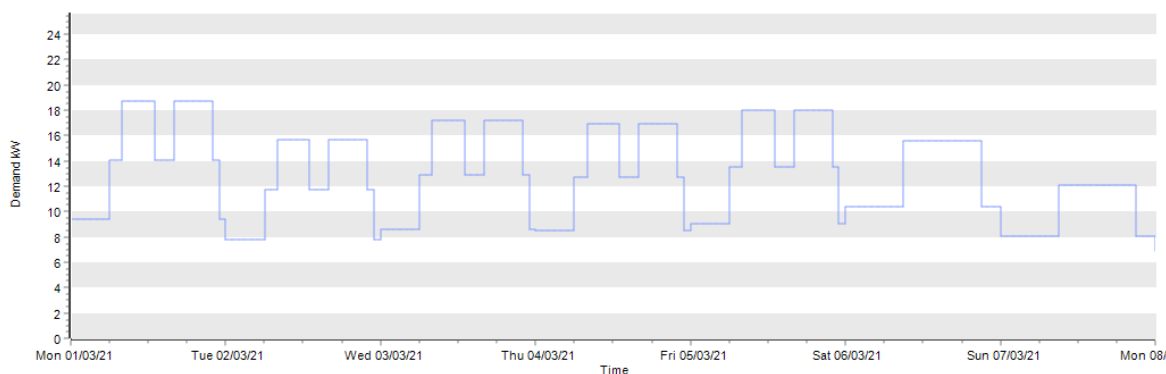
Joonisel 3.4 on kujutatud tarbimisvõimsuse kestvuskõver. Antud graafikust lähtub teadmine, et antud objekti puhul ei teki ühegi võimsusastme puhul piisavalt sirget graafikut, mis määraks ühe sobiva võimsusastme tootmisvõimsuse valimiseks. Kestvuskõver on suures osas küll sirge, aga võimsuse teljega liiga suure nurga all ning tipuvõimsuse lähedal on graafik eksponentsiaalselt kasvav. Juhul, kui tarbimise

katmiseks oleks kasutusel klassikaline elektrijaam, siis võiks kasutusel olla kuni 15 kW võimsusega seade. Üle 15 kW tarbimisvõimsust esineb vähem kui 500 tunnil aastas ja selle katmiseks on mõistlik puudujääk osta võrgust. Ligi kolmveerand aastast jääb tarbimine alla 11 kW, mis võiks olla minimaalne võimsus, kui tootmisel kasutatakse ilmast mittesõltuvat tootmisseedet. Minimaalne koormus on ligi 2 kW ning maksimaalne koormus 23 kW.



Joonis 3.4 Tarbimisvõimsuse kestvusköver

Võrreldes joonist 3.1 ja 3.5 on näha kuidas temperatuur mõjutab tarbimise graafikut. Antud näites on toodud märtsi kuu esimene nädal, kus temperatuuri mõju on veel märgatav. Esmaspäeva ja teisipäeva tarbimise tipuvõimsuse vahe on ligikaudu 2,5 kW ning laupäeva ja pühapäeva tipuvõimsuse tase on ligikaudu 4 kW.



Joonis 3.5 Tarbimisvõimsuse nädala graafik temperatuuri mõjuga

Kolmandas peatükis koostati tarbimise alusgraafik vastavalt esialgsele tunniplaanile, mille alusel valmis energyPRO tarbimise graafik. Teise osana loodi temperatuuri sõltuvuse mudel, mille puhul on tarbimine 60% ulatuses sõltuv välistemperatuurist, kui see jääb alla 17°C. Sellega valmis mudel, millega hakati leidma sobiva võimsusega päikeseelektrijaama.

4. TOOTMISSEADMETE MUDEL

Antud projektis on tootmiseseadmena kasutusel päikeseelektrijaam, mille peamiseks komponentideks on PV-paneelid ning inverter. Inverter on vaheldi, millega muundatakse PV-paneelide poolt genereeritud alalisvool elektrivõrku edastatavaks vaheldusvooluks. PV-paneelid muundavad päikeseenergia elektrienergiaks pooljuhtide fotoelektrilisi omadusi rakendades [9].

4.1 Päikesepaneelide valik

PV-paneelide valikul tuleb arvestada mitmete erinevate valikukriteeriumitega, sõltuvalt projekti eesmärgist. Valikut võib teostada hinna, tehnoloogia, tootja, paneeli võimsuse, kvaliteedi, jne alusel. Antud projekti puhul on eesmärk võimalikult suur osa tarbimisest katta kohapealse päikeseelektrijaama toodanguga, seega tuleb analüüsi tegemiseks kasutada ära maksimaalselt katusepinda, et oleks võimalik proovida eri võimsusega variante, alates baasvõimsuse katmisest, lõpetades katuse maksimaalse täitmisega. See eeldab võimalikult suurt paneeli nimivõimsust ja efektiivsust. Parima efektiivsuse saavutamiseks on esimene valik monokristalsete elementidega paneelid. [10] Ülejäänud valikukriteeriumiteks on veel hind, vastupidavus ja suure nimivõimsusega paneelide saadavus.

Tabel 4.1 Päikesepaneelide valik [11]

Tootja	Nimetus	Pn, W	Hind, €/tk	Saadavus	Tier	Vastupidavus	Tehnoloogia	Mõõtmed, mm	Kaal, kg
Jinko Solar	Tiger Pro	550	128	Koheselt	1	6	Monokristall	2274x1134x35	28,9
Suntech	Ultra V	550	155	Koheselt	1	4	Monokristall	2279x1134x35	29,1
Ja Solar	Deep Blue 3.0	550	172	min. 2 kuud	1	5	Monokristall	2279x1134x35	28,6

Päikesepaneelide valikul võrreldi *Bloomberg Tier 1* kategooria tootjate PV-paneelide, mida on võimalik Eestis osta ning mis on võimalikult suure võimsusega. *Bloombergi* PV-paneelide nimistu avaldatakse igas kvartalis, ning seal loetakse üles maailma 20 kõige tugevama PV-paneelide tootjad finantsvõimekuselt. Suurte arenduste puhul on oluline paneelitootjate püsivus ajas, et kindlustada projekti edukus. Tier 1 kategooriast leiab tootjaid, kelle puhul kvaliteet on ühtlaselt hea, ning paneelide kvaliteedi pärast muret ei pea tundma. [12] Tabelis 4.1 välja toodud paneelid on tehniliste näitajate poolest võrdsed, seega vaadeldakse teisi tegureid.

Esimene kriteerium peale kvaliteetsete tootjate kaardistamist ongi hind. Antud projekti puhul on kõige mõistlikum valik *Jinko Solari* paneelid. Olenevalt projekti iseloomust mängib rolli ka PV-paneelide saadavus, kuna Eestis suuri laoseise ei hoita. Suuremate projektide puhul tellitakse paneelid vastavalt projektidele Hiinast või Indiast.

Vastupidavuse lahtris on välja toodud PVEL vastupidavuse katsetuste tulemused, kus on kirjas mitmel korral viimase kuue aasta jooksul on vastav PV-paneeli tootja *PVEL* uuringute alusel saanud vastupidavuse poolest nõutava standardi. Analüüsi tulemusel osutus valituks *Jinko Solar Tiger Pro 72HC JKM550M-72HL4* paneel. Lisas 1 on toodud antud PV-paneeli andmeleht [13]. Järgmisena arvutati välja paneelide maksimaalne võimalik kogus katusel.

Maksimaalse paneelide arvu leidmiseks kasutatakse valemit 4.1.

$$NP_{max} = n_L \cdot n_P \quad (4.1)$$

kus NP_{max} – paneelide maksimaalne kogus katusel, tk,

n_L – paneelide arv reas, tk,

n_P – paneelide arv tulbas, tk.

Maksimaalse arvu reas olevate paneelide leidmiseks kasutatakse valemit 4.2.

$$l_A - 0,1 > n_L \cdot l_{PL} + ((n_L - 1) \cdot l_{vahe}) \quad (4.2)$$

l_A – katuse pikkus, m,

l_{PL} – paneeli pikkus, m,

l_{vahe} – paneelide vaheline kaugus, m,

$$37,1 - 0,1 > 32 \cdot 1,134 + 31 \cdot 0,02$$

$$37 > 36,908$$

Maksimaalse arvu reas olevate paneelide leidmiseks kasutatakse valemit 4.33.

$$l_B - 0,1 > n_P \cdot l_{PP} + ((n_P - 1) \cdot l_{vahe}) \quad (4.3)$$

l_B – katuse laius, m,

l_{PP} – paneeli laius, m,

l_{vahe} – paneelide vaheline kaugus, m,

$$10,39 - 0,1 > 4 \cdot 2,274 + 3 \cdot 0,02$$

$$10,29 > 9,156$$

$$NP_{max} = 32 \cdot 4 = 128$$

Peale paneelide koguarvu ja võimsuse arvutamist on energyPRO mudeli koostamiseks andmed kogutud. Joonisel 4.2 on kujutatud PV-paneelide modelleerimise akent.

Size and Position

Installed capacity: 70.4 kW

Inclination of photovoltaic: 25 degree

Orientation of photovoltaic (Deviation from South): 0 degree

Select Input Time Series

Ambient temperatures: Välistemperati °C

Radiation on horizontal plane

Aggregated Radiation

Direct and Diffuse Radiation

Direct radiation: SARAH Solar Direct 59

Diffuse radiation: SARAH Solar Diffuse 5

Include effects of array shading

PV module specification

Maximum power: 550 W

Temperature coefficient of power: -0.35 %/°C

NOCT: 45 °C

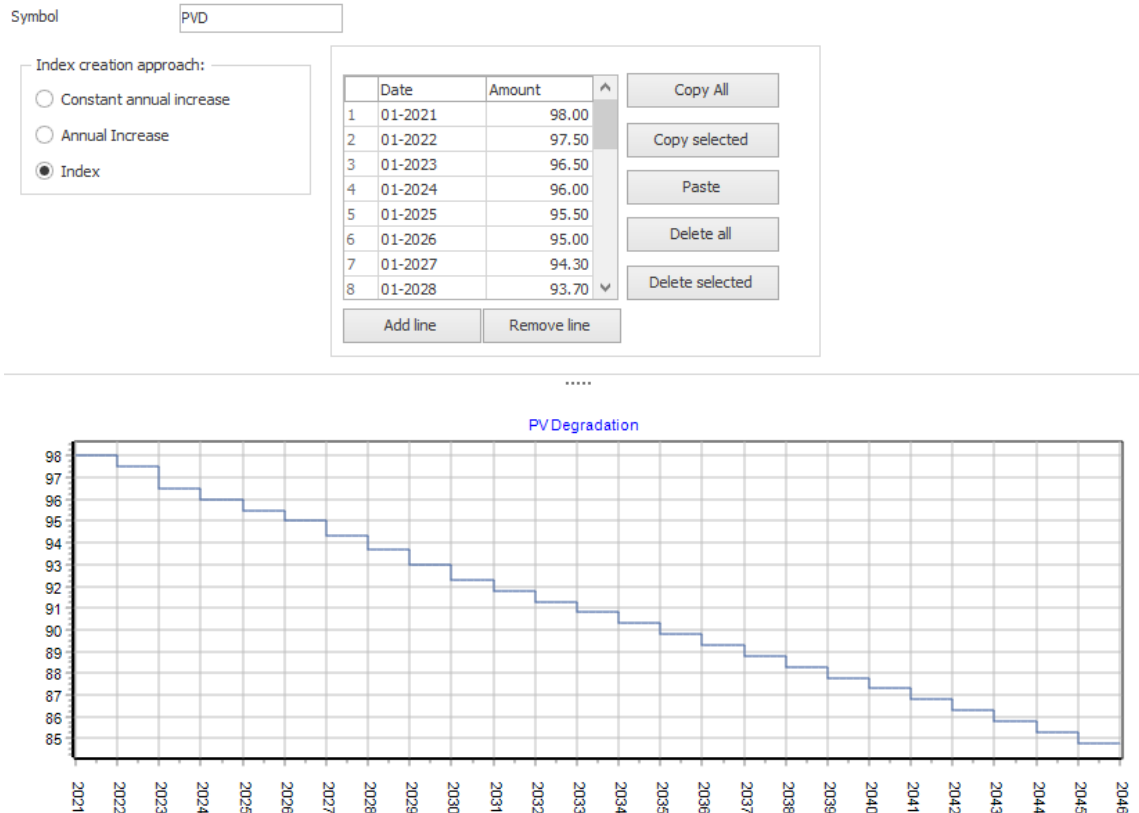
Miscellaneous

Aggregated Losses from module to grid: 10 %

Number of PV modules: 128

Joonis 4.2 PV-paneelide andmete sisestamine energyPRO programmi

PV-paneelide eluea jooksul nende kasutegur langeb ning toodang väheneb, joonisel 4.3 on kujutatud paneelide efektiivsuse langus 25 aasta jooksul. Seda antud aknas eraldi välja pole toodud. Selle nähtuse modelleerimiseks kasutatakse energyPRO programmis indeksit, mida rakendatakse päikesekiirguse lähteandmetele, et saavutada soovitud efekt reaalse toodangu modelleerimiseks. Indeksi loomisel kasutatakse lisas 1 toodud PV-paneeli andmelehel välja toodud paneeli toodangu vähenemise graafikut.



Joonis 4.3 PV-paneelide väljundvõimsuse vähenemise indeksi loomine

4.2 Päikeseelektrijaama võimsus

Peatükis 4.1 arutati välja päikesepaneelide maksimaalne arv katusel, millest selgus, et suurim võimalik päikeseelektrijaam on kuni 70,4 kW. Optimaalse võimsuse leidmiseks arutati energyPRO programmis läbi seitse erinevat varianti, alates 9,9 kW kuni 70,4 kW. Olulisteks punktideks päikeseelektrijaama võimsuse analüüsimisel olid toodetav elektrienergia hulk aastas, eksporditava ja imporditava elektrienergia hulk, päikeseelektrijaama hind, võimsuse ühiku hind ja prognoositava tulu summa.

Päikeseelektrijaama võimsuse hindamisel on olulistemaks hindamiskriteeriumiteks tasuvus ning tarbimise võimalikult hea katmine. Olukorras, kus elektrienergia müügi pealt lisaks toetusi ei maksta, on mõistlik päikeseelektrijaama toodang kohapeal maksimaalselt ära tarbida ning võrku müüa minimaalselt.

Lisaks majanduslikule poolele on üks eesmärk hoone tarbimisest võimalikult palju ära katta. Reaalajas ei ole seda päikesepaneelidega võimalik saavutada, kuid aasta jooksul on võimalik netotootjaks saada.

Tabel 4.2 Päikeseelektriijaama võimsuse valik

Võimsus, kW	9,9	19,8	29,7	39,6	49,5	59,4	70,4
Hind, eur	8404	12599	16579	20569	24435	27346	30519
kW hind, eur	849	636	558	519	494	460	434
Aasta toodang, kWh	10318	20636	30954	41272	51590	61908	73372
Eksport, kWh	1010	6411	13886	22270	31118	40259	50643
Import, kWh	61922	57005	54162	52228	50748	49580	48500
Tasuvusaeg, a	6,25	6,4	6,4	6,4	6,5	6,6	6,4
Nüüdispuhasväärtus, eur	20201	36963	49736	60585	70546	80861	91500
Kasum, %	240	293	300	295	289	296	300
Tarbimise katmine, %	14	29	43	58	72	87	103
Eksportitav elekter, %	10	31	45	54	60	65	69
Eksport / import suhe	0,02	0,11	0,26	0,43	0,61	0,81	1,04

Päikeseelektriijaama investeringukulu on oodatult madalaim kõige madalama võimsusega lahenduse puhul ning on iga sammu puhul kallim. Paremini lahenduse kulu hinnata on ühiku hinda arvestada. Antud võimsusklasside puhul on projekti rajamisel kulud samad, sõltumata võimsusest. Nendeks on projekteerimine ja elektritööd. Lisaks muutub paigaldustööde hind odavamaks kui maht kasvab. Kaablite ja muude lisamaterjalide kulu muutus on minimaalne. Suurima osa kulude muutusest moodustab paneelide maksumus, kuna selliste koguste puhul pole võimalik mahu pealt paneelide hinnas võita. Nendest teguritest tulenevalt on 59,4 kW ja 70,4 kW võimsuste puhul kõige soodsam kW hind.

Aastase toodangu puhul on tulemused ettearvatavad, kuna iga lahenduse puhul kasutatakse samu paneele, seega on iga kW toodang sama, seega aastase toodangu kogus sõltub ainult päikeseelektriijaama võimsusest.

Eksporti mahu poolest on kõige väiksemad kõige väiksema võimsusega lahendused, mis on samuti eeldatav. Antud analüüsi puhul on see kitsalt seda rida vaadates positiivne, kuna kõige efektiivsem on elektri toodang kohapeal ära tarbida. Juhul, kui antud objektile on võimalik taotleda toetust päikeseelektriijaama toodetava elektrienergia peale, siis on suur ekspordi maht positiivne.

Impordi mahu poolest on kõige väiksema mahuga kõige võimsamad lahendused, mida oli ka oodata, kuid joonistub välja olukord, kus üle 30 kW päikeseelektriijaamade puhul iga 10 kW lisatud võimsust vähendab imporditud elektrienergia hulka ca. 1000 kWh.

Tasuvusaeg on küllaltki ühtlane, kõikide lahenduste puhul teenitakse algne investering tagasi kuue aasta ja 3-8 kuuga. See tuleneb asjaolust, et suuremate lahenduste ühiku hind on küll kallim, kuid suurem kasu tekib kohapealse tarbimise katmisest kui elektri

võrku müügist. Lisaks tuleb ära märkida, et 13. aasta järel vahetatakse välja inverter, mille kulud kaetakse juba jooksvatest tuludest.

Absoluutarvudena tootsid kõige rohkem tulu suuremad jaamad, nagu oli ka eeldus, kuid üllatuslikult oli 29,7 kW lahenduse puhul kasum 300,00% ning 70,4 kW puhul, mis teenis kõige suurema summa tulu, 299,81%.

Üks kõige olulisemaid kriteeriume oli hoone tarbimise katmine. 70,4 kW variandi puhul toodeti 103,1% hoone tarbimisest. See tähendab, et tegemist on netonullenergiahoonega, mis on üks olulisi kriteeriume päikeseelektrijaama ehitamisel ning võimaldab esile tuua fakti, et hoone käitamisel on süsinikujälg positiivne. Sellega täidetakse arendaja üks eesmärk. Antud näitaja oli kõrgem kui algselt eeldatud, mis on osaliselt tingitud PV-paneelide võimsuse kasvust, ning hoone katuse suurest pinnast, mis võimaldab piisavalt suurt päikeseelektrijaama võimsust.

Mudelite tulemusi võrreldes ja analüüsidest osutus parimaks variandiks antud hoone puhul 70,4 kW lahendus. Antud lahenduse kasuks osutus võimekus katta hoone aastane energiatarbimine päikeseelektrijaama toodetud elektriga. Lisaks tarbimise katmisele on investering ka teine kõige tulusam variant. Kõige negatiivsem aspekt antud variandi puhul on kõrge investeringukulu ja vähem olulisema negatiivse aspektina tuleb välja tuua kõrge eksporditava elektrienergia hulk, mis ilma toetusteta pole kõige efektiivsem viis investeringut väärindada. Lisas 2 on välja toodud antud lahenduse jaoks elektriskeemid.

Juhul, kui esimeseks kriteeriumiks on majanduslik tasuvus, tasub valida 29,7 kW lahendus. Investeringukulu selle lahenduse puhul on ligikaudu kaks korda odavam ning investeringu tasuvus on 300,00% juures 0,19% parem, kui 70,4 kW lahendus.

Neljandas peatükis valiti välja tootja *Jinko Solar Tiger Pro 550 W* PV-paneelid ja arvutati välja maksimaalne paneelide kogus katusel. Seejärel lisati energyPRO mudelisse PV-paneeli andmed ning kulumise graafik. Seejärel koostati seitse erineva võimsusega tootmiseseadmete mudelit alates 9,9 kuni 70,4 kW sammuga ligikaudu 10 kW. Hinnati nii majandus kui ka tehnilisi näitajaid, peamiselt tasuvust ja tarbimise katmist toodangust ning ekspordi ja impordi suhet. Antud töö raames uuritava hoone jaoks osutus parimaks variandiks 70,4 kW lahendus, kuna sellega on võimalik kogu hoone tarbimine aasta netosummas ära katta, samal ajal pakkudes kõrget investeringu tootlust.

5. VALITUD LAHENDUSE ANALÜÜS

Eelnevas peatükis valiti välja antud objektile kõige sobivam lahendus. Käesolevas peatükis keskendutakse valitud lahendusega koostatud mudeli tulemustele, nende analüüsile ja hinnangu andmisele.

5.1 Toodangu ja tarbimise analüüs

Tabelis 5.1 on toodud esimese aasta igakuine elektrienergia tootmise ja tarbimise ning ekspordi ja impordi bilanss. Aastane toodang oli 73 373 kWh ning aastane tarbimine 71 230 kWh. Eksportitud elektrienergia hulk oli 50 643 kWh ning imporditud energia hulk 48 501 kWh. Sisuliselt saavutatakse esimestel aastatel netonullenergiahoone energiatõhususarv, mis tähendab, et hoone liitumispunktist edastatakse aasta jooksul elektrivõrku rohkem energiat, kui sealt võetakse.

Tabel 5.1 Esimese aasta tarbimise ja tootmise bilanss

	Kokku	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Tarbimine [kWh]	71 230	9 870	7 818	8 430	6 191	5 023	2 973	3 053	2 912	4 027	5 937	7 337	7 660
Toodang[kWh]	73 373	1 182	3 007	5 674	11 024	10 251	11 941	11 605	9 099	5 801	2 362	907	521
Eksport [kWh]	50 643	126	1 267	2 679	7 660	7 307	9 906	9 512	7 303	3 849	726	227	82
Tipuvõimsus [kW]	56	12	35	42	52	54	56	53	50	47	30	21	14
Import [kWh]	48 501	8 814	6 079	5 435	2 827	2 078	937	961	1 115	2 075	4 302	6 658	7 221
Tipuvõimsus [kW]	23	23	19	19	15	14	8	7	6	10	15	18	16
PV-jaama toodang													
Töötunnid	4 456	208	253	364	430	519	544	544	482	385	315	229	183
Täisvõimsuse töötunnid	1 042	17	43	81	157	146	170	165	129	82	34	13	7

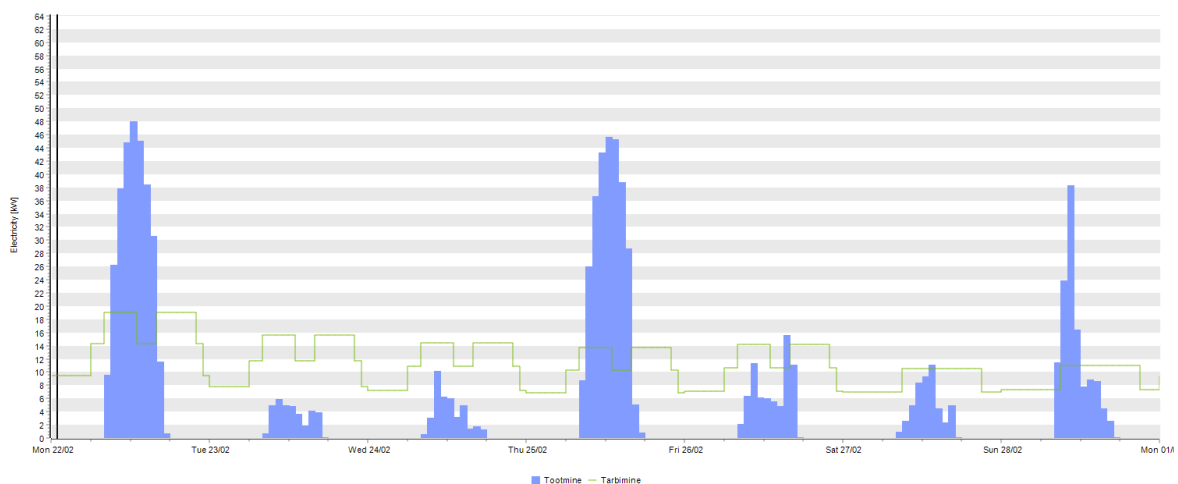
Tabelist 5.1 on nähtav, et suurim nõudlus oli aasta esimestel kuudel: jaanuaris, veebruaris ja märtsis, vastavalt 9,9, 7,8 ja 8,4 MWh. Jaanuaris oli elektritoodang väga madal, 1,2 MWh, millest 89% tarbiti hoones ära. Veebruaris tõusis elektri toodang märgatavalt, 3 MWh peale ning toodangust tarbiti kohapeal 60%. Märtsis kasvas toodang ligi kaks korda 5,7 MWh-ni ja PV-paneelide toodangust tarbiti kohapeal 53%.

Vahemikus aprill kuni august tootis päikeseelektrijaam kõige efektiivsemalt elektrit, kogumahu 53,9 MWh, mis moodustab aasta toodangust 74%. Võrreldes märtsiga, kasvas aprillis toodang jällegi ligi kaks korda 11,0 MWh juurde. Mai toodang jäi 10,3 MWh juurde ning juunis oli toodang aasta suurim 11,9 MWh-ga. Juulis oli toodang samuti väga kõrge 11,6 MWh ning augustis kukkus 9,1 MWh peale.

Alates aprillist kukkus imporditava elektrienergia hulk alla 3 MWh ning suvekuudel püsis 1 MWh mahu juures. Vahemikus aprill kuni september tootis kuu lõikes päikeseelektrijaam rohkem elektrienergiat kui hoones tarbiti.

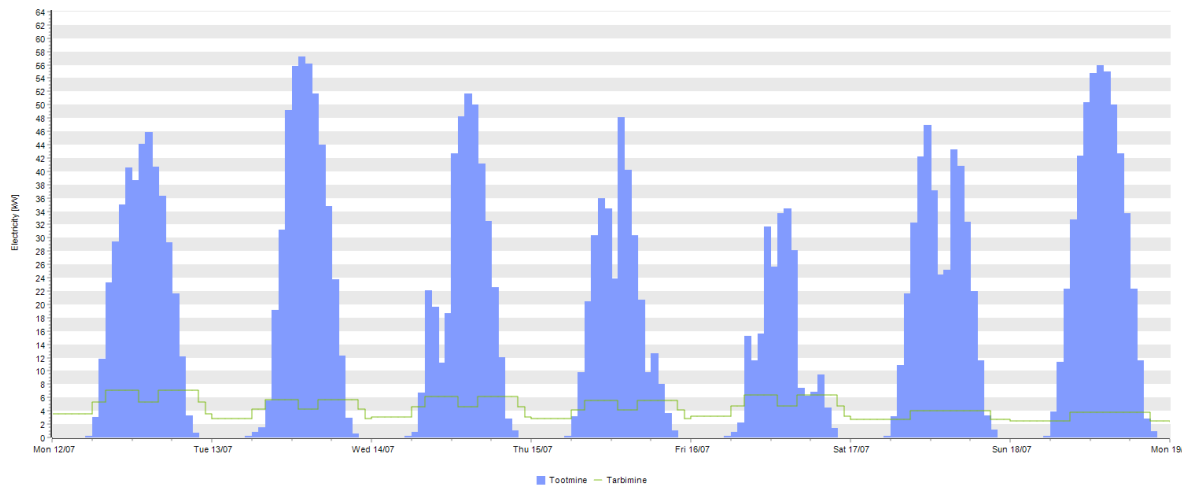
Perioodil september kuni detsember kukub toodang märgatavalt. Septembri toodang püsib 5,8 MWh-ga märtsiga samal tasemel, kuid oktoobris kukub see 2,4 MWh peale ning novembris ja detsembris jääb alla jaanuari toodangule, olles vastavalt 0,9 ja 0,5 MWh.

Joonisel 5.1 on näha veebruari kuu ühe nädala toodangu ja tarbimise graafik. Päikeseapaistelistel päevadel on elektrijaama toodang ületanud tarbimist seitsmel tunnil, tootes elektrit kokku üheksal tunnil. Antud olukordi esineb veebruaris vähe, antud graafik on valitud, et kujutada erinevaid olukordi talvel. Kehvema ilmaga päevadel jääb elektrijaama võimsus enamasti alla 6 kW, kattes üksikutel tundidel ka tarbimist täies mahu. Päikeselistel päevadel ületab võimsus parimatel tundidel 40 kW piiri.



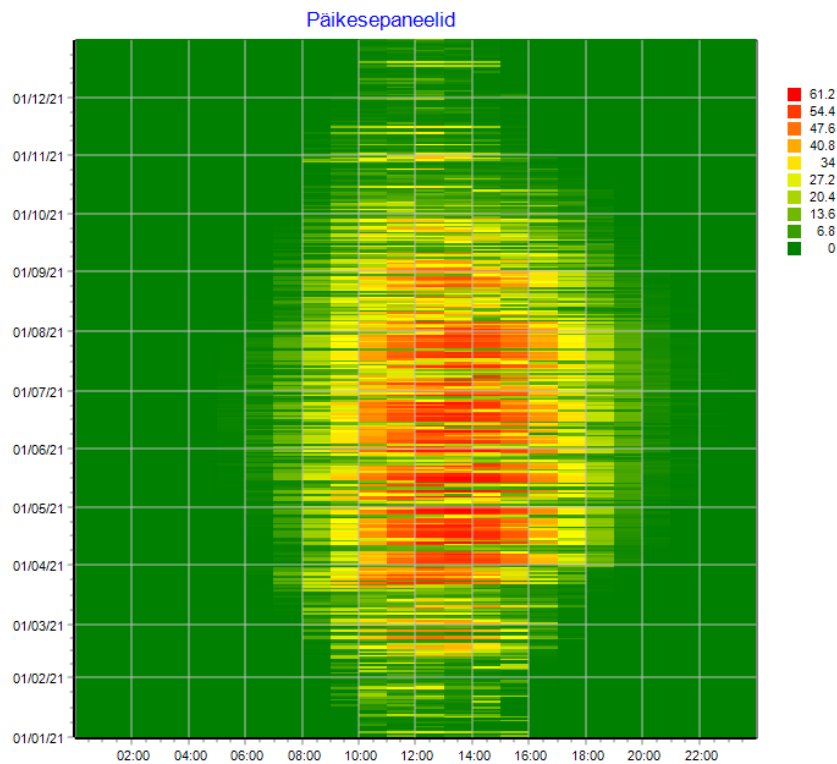
Joonis 5.1 Ühe veebruarikuu nädala toodangu ja tarbimise graafik

Joonisel 5.2 on kujutatud juuliku nädala toodangu ja tarbimise graafik. Suvisel ajal algab elektrijaama töö, koos tarbimise hommikuse tõusuga hoone avamise kellaajast. Esimesel tunnil tarbimine ja tootmine on samas mahu, päeva jooksul ületab tootmine tarbimist ligikaudu 7-8 kordselt. Tootmise tipud on 56 kW juures ning tarbimine 6-7 kW. Nädala keskel on näha kehvemat ilma, kus neljapäev, reede ja laupäev on päeva jooksul tootmine katkendlik. Sellega on hea võrrelda pühapäeva tootmise graafikut, mis on väga sümmeetriline, päeva jooksul tootmisvõimsus kasvab kuni keskpäevani ning siis jälle langeb sujuvalt. Suvisel ajal toodab elektrijaam 15 tunni vältel arvestatava võimsusega elektrit.



Joonis 5.2 Ühe juulikuu nädala toodangu ja tarbimise graafik

Võrreldes jooniseid 3.3 ja 5.3 on näha suur erinevus tarbimise ja toodangu ajalises paiknemises. Tarbimine on jagunenud päeva jooksul tsükliliselt ning toodang päikeseenergeetika iseloomust tulenevalt koondub päeva keskpunkti. Aasta lõikes ei joonistu tarbimise poolel suuri eripärasid, peale suve ja talve mõõdukat erinevust. Toodangu puhul joonistub välja ovaal, kus põhiline toodang on graafiku keskel, ja selle ümber.



Joonis 5.3 PV-paneelide toodangu graafik aasta ja tundide lõikes

5.2 Majanduslik analüüs

Käesoleva projekti puhul on lisaks hoone tarbimise katmisele oluline aspekt majandusliku tasuvuse analüüsil. Tabelis 5.1 on välja toodud peamised näitajad erinevate variantide majandusliku hindamise vaatest. Antud peatükis analüüsitakse lähemalt välja valitud 70,4 kW päikeseelektrijaama lahenduse tulusust.

Tabel 5.2 Projekti eelarve

70.4 kW	Kogus	Hind, tk	Summa, €
PV-paneelid	128	130	16640
Inverter	1	2890	2890
Kinnitused	1	2260,67	2260,67
Materjalid	1	1150	1150
Paigaldus	70,4	46	3238,4
Elektritööd	1	450	450
Projekteerimine	1	500	500
Alginvesteering kokku			27129,07
Inverteri vahetus			3390
KOKKU			30519,07
€/kW			433,51

Tabelis 5.2 on välja toodud projekti eelarve, kuluridade kaupa. Kõige suurema kuluallikana on PV-paneelid, mis moodustavad kogu päikeseelektrijaama hinnast 54,5%.

Inverteri eluiga on ligikaudu 15 aastat, seega tuleb päikeseelektrijaama tööperioodi keskel inverter välja vahetada. Antud mudelis on inverteri vahetus planeeritud peale 13. aastat. Majandusliku analüüsi jaoks on projektis arvestatud *Sungrow SG50CX* võrguinverteriga nimivõimsusega 50 kW. Reaalsuses võimaldab suurem PV-paneelide nimivõimsus toota täisvõimsusel elektrienergiat ka kehvade ilmastikuoludega.

PV-paneelide kinnitusvahendite lahendusena on kasutusel tootja *Renusol* süsteem. Lisas 3 on välja toodud *Renusoli* veebirakenduses koostatud tehniline lahendus, koormusarvutused ja hinnakiri.

Päikeseelektrijaama süsteemi materjalide hulgas on kaablid, kaitsmekarbikud, kaitseautomaadid ning muud töö käigus vaja minevad materjalid.

Paigalduse hind sõltub otseselt süsteemi võimsusest ja selle hulka kuulub katusekinnituste paigaldamine, PV-paneelide paigaldamine, PV-paneelide omavaheline ühendamine ning alalisvoolu kaabelduse teostamine katusel.

Elektritööde hulka kuulub inverteri paigaldus, ühendamine võrku ning ühendamine PV-paneelidega. Projekteerimine hõlmab asendiplaani koostamist, elektriskeemide loomist ning teostusjooniste vormistamist. EnergyPRO programm võimaldab ka analüüsida laenu intressi mõju projekti rahavoole, kuid kuna antud töös käsitletud lahendus on vaid osa loodavast hoonest, siis ei käsitleta projektis rahastamise maksumust.

Liitumistasuga antud eelarve analüüsi puhul arvestatud ei ole, kuna liitumistasud varieeruvad olenevalt asukohast, seal paikneva võrgu tihedusest ja seisukorrast, teiste tarbijate ja tootjate olemasolust niivõrd palju, et antud töö kontekstis ei ole mõistlik ühe konkreetse taseme või valemiga arvestada.

Tabelis 5.3 on näha hinnanguline aastane tulu 5500 eurot, esimesel aastal. Tulude kasvamine aastate lõikes on tingitud inflatsiooni mõjust. Elektri hinnale inflatsiooni mõju rakendatud ei ole, kuna ajalooliselt pole elektri hind inflatsiooniga kaasas käinud. Aastate jooksul elektri müügist ja ostmata jäänud elektri arvestusest tulud langevad, kuna PV-paneelide kulum vähendab toodangut. Tulude iga-aastane kasv tuleneb võrguteenuse, aktsiisi, ostumarginaali ning taastuenergiatasude tõusmisest.

Päikeseelektrijaamade üks häid omadusi on madalad käidukulud, mis tuleneb liikuvate osade puudumisest ning madalatest temperatuuridest võrreldes teiste elektritootmise seadmetega. Käidukuludeks on ainult aastane hooldus, mis algselt on 50 eurot, ning elektri müügmarginaal, mida esimesel aastal makstakse 91 eurot. Päikeseelektrijaamade hoolduse hind on niivõrd odav, kuna vajab vaid aastast visuaalset kontrolli, PV-paneelide puhastamist vastavalt vajadusele ning toodangu monitooringut, mida saab teha mugavalt veebis.

Antud lahenduse puhul on saavutatud lihtne tasuvusaeg 6 aastat ning nüüdispuhasväärtus 91 500 eurot.

Tabel 5.3 Väljavõtte oluliste aastate rahavoost projekti jooksul (terviklik tabel lisas 3)

	2021	2025	2026	2034	2045
Tulud					
Elektrimuuk	2 759	2 719	2 704	2 558	2 361
OJ Elekter	1 167	1 141	1 149	1 120	1 101
OJ Vorguteenus	1 172	1 304	1 344	1 687	2 292
VM Aktsiis	102	114	117	147	200
VM Ostumarginaal	41	46	47	59	80
VM Taastuenergiatasu	257	287	295	369	501
Tulud kokku	5 498	5 610	5 656	5 939	6 534
Muugimarginaal	91	99	102	121	154
Hooldus	50	56	58	73	102
Tegevuskulud kokku	141	156	159	194	255
Neto summa tegevusest	5 357	5 455	5 497	5 745	6 279
Alginvesteering	27 129	0	0	3 390	0
Investeeringud kokku	27 129	0	0	3 390	0
Kaibemaks	0	668	674	716	1 185
Maksud kokku	0	668	674	716	1 185
Raha ülejääk	-21 772	4 786	4 823	1 639	5 094
Kassakonto	-21 772	-2 709	2 114	38 006	91 500

Viiendas peatükis analüüsiti elektritarbimise ja tootmise bilanssi, ajalist kattuvust ja muid tehnilisi aspekte. Aastane toodang ületas esimesel aastal tarbimist ligikaudu 2 MWh. Majandusliku poolelt saadi lihtsaks tasuvusajaks kuus aastat ning NPV 91 500 eurot. Saavutatud tasuvusaeg on väga kiire, sellele aitab kaasa projekti madal investeeringukulu, mis on tingitud päikeseenergia sektori kiirest arengust, mis on endaga kaasa toonud hinnalanguse nii materjalide kui ka ehituse hinnas. Lisaks on päikeseelektrijaama odavam rajada ehitusjärgus hoonele, kui juba valminud hoonele.

6. TULEVIKU LAHENDUSED

Nagu selgus 5. peatükis, siis päikeseelektrijaama suurim puudus on ebaühtlane toodang, mis ei kattu tarbimisega. Selle parandamiseks võiks lisada süsteemi elektri salvestuslahenduse, et oleks võimalik suurem osa ise toodetud elektrist ära tarbida. Kuni 2020. aasta lõpuni oli võimalik kuni 50 kW nimivõimsusega päikeseelektrijaamad registreerida toetuskeemi, mille alusel maksti võrku eksporditud elektri eest esimesed 12 aastat 53,7 €/MWh toetust [8]. Sellisel puhul tasus rajada päikeseelektrijaamasid nii tarbimise katmiseks kui ka võrku müügiks.

Alates 2021. aastast antud toetuskeem lõppes. Seega on kõige kasulikum rajada päikeseelektrijaam maksimaalselt kohaliku tarbimise katmiseks. Antud projektis saavutati toetuskeemidega päikeseelektrijaamadega sarnane tasuvusaeg tänu madalale investeeringukulule.

Hetkel on salvestustehnoloogia nt. liitiumakude näitel antud kontekstis liiga kallis ja seda pole projekti raames käsitletud. Edaspidi tuleb hakata uurima erinevate salvestustehnoloogiate hindasid, kuna see võimaldaks antud hoone puhul maksimaalselt ära katta tarbimist reaalajas. Lisaks võimaldab see salvestatud energiat võrku müüa kõrge elektri hinna korral. Kaugemas tulevikus võiks hinnata vesiniku elektrolüüseri paigaldamist, mis käivituks suure päikeseelektrijaama toodangu puhul.

Käesolevat tööd tulevikus jätkates oleks edasised sammud hoone reaalse energiatõhususe arvutamine. Sellel oleks samuti mitu osa, esialgu planeeritava hoone energiatõhususe arvutamine juba reaalselt seadmete koosseisu arvesse võttes. Teine osa oleks valminud hoone reaalse energiatarbimise ja varasemalt tehtud analüüside võrdlus, hindamiseks eri meetodite täpsust.

Lisaks reaalse energiatõhususe arvutamisele tuleks tulevikus mudelis kajastada erinevaid salvestuslahendusi ja valida sobivaim, mis võimaldaks algselt rajada väiksema päikeseelektrijaama või suurema võimsuse puhul toodetud elektrit paremini väärindada.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli määrata rajatava spordihoone hinnanguline aastane elektritarbimine ning koostada tarbimise ajaline graafik. Lisaks tarbimise hindamisele tuli leida hoonele kõige optimaalsem päikeseelektrijaama suurus, mis kataks võimalikult suure osa tarbimisest ja oleks majanduslikult mõistlik. Mudeli loomisel oli peamiseks tööriistaks programm energyPRO, millega on võimalik modelleerida erinevaid elektri- ja soojuse tarbimise ja tootmise lahendusi ja neid analüüsida, lisaks saab antud programmiga hinnata projektide majanduslikku tasuvust.

Hoone arendamise puhul on oluline hoida käidukulud madalad ja hoone keskkonnale võimalikult vähe koormav. Sellest lähtudes on hoone energiatõhususarv liginullenergiahoone tasemel. Lisades hoone esialgse kasutamise graafiku, saadi hoone energiatarbimise mudel. Hoone aastaseks elektritarbimiseks hinnati 71 230 kWh.

Tarbimise katmiseks loodava päikeseelektrijaama võimsuse leidmiseks loodi erineva võimsusega lahendused, mille piiravaks teguriks oli katuse pindala. Mudeli tulemusi võrreldes leiti parim lahendus antud objektile, milleks oli kogu katusepinda kattev päikeseelektrijaam ehk kõige suurim analüüsitud lahendus võimsusega 70,4 kW.

Antud lahenduse puhul saavutati projekti algusaastatel netonullenergiahoone tase, kus hoonest eksporditud elektrienergia hulk ületas imporditud elektrienergia hulka. Lisaks saavutati tasuvusajaks 6,4 aastat, mis oli tingitud viimastel aastatel kiirelt arenenud päikeseenergia sektoris konkurentsi kasvuga kaasnenud hinnalanguse ning hoone rajamise käigus ka päikeseelektrijaama tööde teostamisest. Projekti 25 aastase eluea mudeliga saavutati nüüdispuhasväärtus 91 500 eurot. Netonullenergiahoone taseme säilitamiseks tuleb edaspidi kasutusele võtta akupangad, kuna paneelide efektiivsuse languse tõttu seda kogu projekti vältel ei säilitata.

Tulevikus tuleks hoone edasisel kavandamisel ja peale valmimist teostada uued arvutused ja mõõtmised, mis võimaldavad erinevatest staadiumitest tehtud analüüside meetodeid ja tulemusi võrrelda. Lisaks analüüsi meetodite võrdlemisele tuleks tulevikus hinnata erinevate salvestustehnoloogiate mõju antud töös valminud mudelile, mis aitaks vähendada imporditava elektrienergia kogust, mille nõudlus on tingitud päikesepaneelide efektiivsuse langusest.

Antud töö eesmärgid said edukalt täidetud, mudelite loomisega tekkis esialgne arusaam hoone võimalikust tehnilisest lahendusest ja andis ülevaate päikeseelektrijaama rajamisega kaasnevatest hüvedest, rahavoogudest ja tasuvusest.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Euroopa Komisjon. Euroopa roheline kokkulepe. [võrgumaterjal]
https://ec.europa.eu/estonia/news/kliima_et [kasutatud 02.03.2021]
- [2] Swedbank. Kodu energiatõhususe laen. [võrgumaterjal]
<https://www.swedbank.ee/private/credit/loans/homeEnergyEfficiencyLoan?language=EST> [kasutatud 04.03.2021]
- [3] EMD International. energyPRO. [võrgumaterjal] <https://www.emd.dk/energypro/>
[kasutatud 05.03.2021]
- [4] EMD. energyPRO User's guide. [võrgumaterjal]
<https://www.emd.dk/energyPRO/Tutorials%20and%20How%20To%20Guides/energyPROHlpEng-4.5%20Nov.%2017.pdf> [kasutatud 05.03.2021]
- [5] Riigi teataja. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. [võrgumaterjal]
<https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015015> [kasutatud 26.03.2021]
- [6] NPS. Historical market data. [võrgumaterjal].
<https://www.nordpoolgroup.com/historical-market-data/> [kasutatud 05.03.2021]
- [7] EMTA. Aktsiisimäärad. [võrgumaterjal] <https://www.emta.ee/et/ariklient/aktsiisidvara-hasartmang/uldist/aktsiisimaarad> [kasutatud 28.04.2021].
- [8] Elering. Taastuvenergia tasu. [võrgumaterjal] <https://elering.ee/taastuvenergia-tasu>. [kasutatud 29.04.2021]
- [9] M. Pinn, R. Pinn ja M. Pinn, Elekter päikesest ja tuulest, Tallinn: MTÜ Kolm Kobrast, 2012.
- [10] S.Qazi, Standalone Photovoltaic (PV) Systems for Disaster Relief and Remote Areas, Amsterdam: Elsevier, 2017.
- [11] PVEL. 2020 aasta päikesepaneelide töökindluse uuring. [võrgumaterjal]
<https://www.pvel.com/wp-content/uploads/2020-PVEL-PV-Module-Reliability-Scorecard.pdf> [kasutatud 05.03.2021]

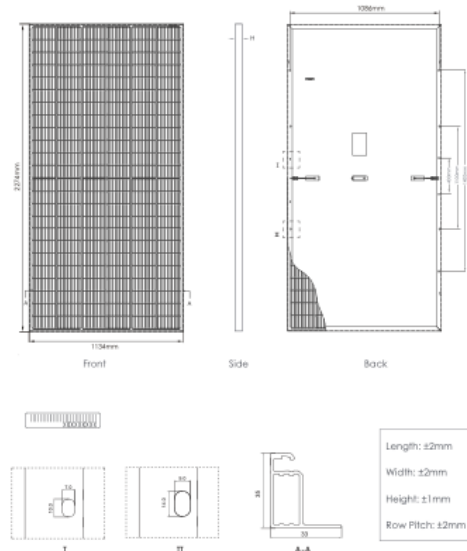
[12] BloombergNEF, BloombergNEF PV Module Tier 1 List Methodology. [võrgumaterjal]. https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/4/2012/12/bnef_2012-12-03_PVModuleTiering.pdf [kasutatud 03.05.2021]

[13] Jinko Solar, Tiger Pro 72HC 530-550 Watt datasheet. [võrgumaterjal] [https://jinkosolar.eu/files/jinko/module/datasheets/en/EU-JKM530-550M-72HL4-\(V\)-F1-EN.pdf](https://jinkosolar.eu/files/jinko/module/datasheets/en/EU-JKM530-550M-72HL4-(V)-F1-EN.pdf) [kasutatud 10.05.2021]

LISAD

LISA 1. PV-paneelide andmeleht [13]

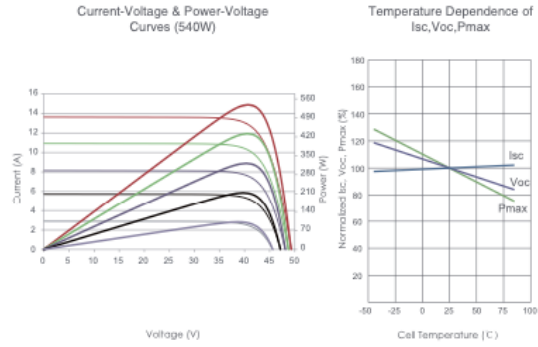
Engineering Drawings



Packaging Configuration

[Two pallets = One stack]
31 pcs/pallets, 62 pcs/stack, 620 pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2274×1134×35mm (89.53×44.65×1.38 inch)
Weight	28.9 kg (63.7 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM530M-72HL4		JKM535M-72HL4		JKM540M-72HL4		JKM545M-72HL4		JKM550M-72HL4	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp	550Wp	409Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.56V	37.84V	40.63V	37.91V	40.70V	38.08V	40.80V	38.25V	40.90V	38.42V
Maximum Power Current (Imp)	13.07A	10.42A	13.17A	10.50A	13.27A	10.55A	13.36A	10.60A	13.45A	10.65A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.26V	46.50V	49.34V	46.57V	49.42V	46.65V	49.52V	46.74V	49.62V	46.84V
Short-circuit Current (Isc)	13.71A	11.07A	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.94A	11.26A	14.03A	11.33A
Module Efficiency STC (%)	20.55%		20.75%		20.94%		21.13%		21.33%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

*STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 🌡 Cell Temperature 25°C AM=1.5
NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 🌡 Ambient Temperature 20°C AM=1.5 🌬 Wind Speed 1m/s

LISA 3. Projekti rahavoog

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Tulud																									
Elektrimuuk	2 759	2 776	2 781	2 723	2 719	2 704	2 629	2 683	2 671	2 594	2 587	2 526	2 538	2 558	2 556	2 499	2 483	2 417	2 431	2 468	2 398	2 391	2 376	2 343	2 361
OJ Elekter	1 167	1 156	1 140	1 142	1 141	1 149	1 155	1 133	1 129	1 134	1 128	1 151	1 134	1 120	1 119	1 121	1 128	1 134	1 123	1 115	1 115	1 109	1 117	1 115	1 101
OJ Vorguteenus	1 172	1 200	1 242	1 279	1 304	1 344	1 384	1 428	1 484	1 510	1 540	1 588	1 627	1 687	1 755	1 775	1 825	1 881	1 924	2 016	2 053	2 095	2 158	2 216	2 292
VM AKtsiis	102	105	108	111	114	117	121	124	128	131	135	139	143	147	151	155	160	164	169	174	178	183	189	194	200
VMi Ostumargi/naal	41	42	43	44	46	47	48	50	51	52	54	56	57	59	60	62	64	66	68	69	71	73	75	78	80
VMi Taastuvenergiatasu	257	264	271	279	287	295	303	312	320	329	339	348	359	369	379	390	401	412	424	436	448	461	474	487	501
Tulud kokku	5 498	5 542	5 585	5 579	5 610	5 656	5 640	5 730	5 784	5 750	5 783	5 808	5 858	5 939	6 019	6 002	6 060	6 074	6 139	6 278	6 264	6 313	6 389	6 433	6 534
Tegevuskulud																									
Muugimargi/naal	91	93	95	97	99	102	104	106	108	110	113	115	118	121	123	126	129	132	135	138	141	144	147	150	154
Hooldus	50	52	53	55	56	58	60	61	63	65	67	69	71	73	76	78	80	83	85	88	90	93	96	99	102
Tegevuskulud kokku	141	145	148	152	156	159	163	167	171	175	180	184	189	194	199	204	209	214	220	225	231	237	243	249	255
Neto summa tegevusest	5 357	5 398	5 438	5 428	5 455	5 497	5 477	5 562	5 613	5 574	5 603	5 623	5 668	5 745	5 820	5 798	5 851	5 860	5 919	6 052	6 033	6 076	6 146	6 184	6 279
Investeeringud																									
Alginvesteering	27 129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Investeeringud kokku	27 129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maksud kokku																									
Kaibemaks	0	654	662	670	668	674	682	678	695	705	698	703	707	716	1 097	1 112	1 107	1 118	1 120	1 132	1 158	1 154	1 163	1 177	1 185
Maksud kokku	0	654	662	670	668	674	682	678	695	705	698	703	707	716	1 097	1 112	1 107	1 118	1 120	1 132	1 158	1 154	1 163	1 177	1 185
Raha ülejääk	-21 772	4 744	4 775	4 757	4 786	4 823	4 795	4 884	4 917	4 869	4 906	4 920	4 961	1 639	4 723	4 686	4 743	4 742	4 799	4 921	4 875	4 922	4 983	5 007	5 094
Kassakonto	-21 772	-17 029	-12 253	-7 496	-2 709	2 114	6 909	11 793	16 711	21 580	26 486	31 406	36 367	38 006	42 729	47 415	52 158	56 900	61 699	66 620	71 495	76 416	81 399	86 406	91 500