

**TAL
TECH**



www.emu.ee
Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja Mehhatroonika Instituut

**LABORITÖÖDE JUHENDI KOOSTAMINE AINELE
„ENERGIAHALDUS ELEKTRI TARKVÕRKUDES“**

**PREPARATION OF LABORATORIES WORK MANUAL FOR
SUBJECT „POWER MANAGEMENT IN SMART GRIDS“**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kerli Ostrov

Üliõpilaskood 163404AAHM

Juhendaja: Argo Rosin, professor

Tallinn 2020

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.

"....." 202.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

"....." 202.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kerli Ostrov, 163403AAHM

Õppekava, peeriala: AAHM Hajaenergeetika

Juhendaja: Professor, Argo Rosin

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Laboritööde juhendi koostamine ainele „Energiahaldus elektri tarkvõrkudes“

(inglise keeles) Preparation of laboratories work manual for subject „Power Management in Smart Grids“

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade tarkvõrkudest ja mikrovõrkudest ning nende olulisusest kliimaneutraalsuse kontekstis.
2. Koostada „Energiahaldus elektri tarkvõrkudes“ kursust läbivatele üliõpilastele õppemetoodiline juhend HOMER Pro tarkvara tundmaõppimiseks.
3. Koostada kooskõlas õppeaine õpiväljunditega kolm laboritöö metoodilist juhendit.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Lõputöö sisukorra kokkupanek ja kirjanduse läbitöötamine	30.09.2019
2.	Teoreetilise osa kirjutamine	30.10.2019
3.	Laboritööde teostamine	15.11.2019
4.	Järelduste ja kokkuvõtete kirjutamine	30.11.2019
5.	Vormistuse parandamine, retsensioon	30.12.2019

Töö keel: **Lõputöö esitamise tähtaeg:** „.....“.....202....a

Üliõpilane: „.....“.....202....a
/allkiri/

Juhendaja: „.....“.....202....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA.....	6
SISSEJUHATUS.....	7
1 AINE „ENERGIAHALDUS ELEKTRI TARKVÕRKUDES“ ÕPIVÄLJUNDID	8
2 ÜLEVAADE ENERGIAPOLIITIKAST JA TARKVÕRKUDE TÄHTSUSEST.....	9
2.1 Energiapoliitika praegu ja tulevikus.....	9
2.2 Tarkvõrgud ja nende areng.....	11
3 MIKROVÕRGUD.....	14
3.1 Definitsioon ja olemus.....	14
3.2 Varustuskindluse tagamise tähtsus mikrovrõrkude rajamisel	17
3.3 Mikrovrõrkude liigitus ja ülevaade enim levinud lahendustest	18
3.3.1 Liigitus mikrovrõrgu tüübi järgi.....	19
3.3.2 Klassifitseerimine talitlusviisi järgi	21
3.3.3 Enim levinud lahendused.....	23
4 HOMER PRO TARKVARA METOODILINE JUHEND.....	25
4.1 HOMER Pro programmi tööpõhimõte	25
4.1.1 Rakenduse avamine ja projekti kiirkäivitamise visard	26
4.2 Koormuste menüü kasutamine	32
4.3 Komponentide menüü kasutamine	33
4.3.1 Kontroller.....	34
4.3.2 Generaator.....	35
4.3.3 Päikesepaneelid	36
4.3.4 Muundur	38
4.3.5 Boiler	40
4.3.6 Elektrivõrk	42
4.3.7 Energiasalvestid.....	43
4.4 Taastuvate energiaressursid menüü kasutamine	45
4.5 Projekti menüü ja tulemuste analüüsimine.....	46
5 LABORITÖÖDE JUHENDID	54
5.1 Laboritöö „Erinevate kaldenurkadega PV paneelide majandusliku tasuvuse arvutamine“	54
5.2 Laboritöö „ PV paneelide majanduslik tasuvus kahe erineva tarbimismustri korral“	60
5.3 Laboritöö „PV süsteemi ja salvestiga analüüs OFF-GRID lahenduses“	65
6 LABORITÖÖ NÄIDISARUANNE	69
KOKKUVÕTE.....	72
SUMMARY	73

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU.....	74
LISAD.....	79
Lisa 1	80
Lisa 2	82
Lisa 3	83
Lisa 4	86

EESSÕNA

Käesolev töö on kirjutatud Tallinna Tehnikaülikoolis inseneri-teaduskonnas elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudis hajaenergeetika õppekava läbimiseks. Magistri lõputöö teema algatus tuli vanemteadur Argo Rosinalt, kes aitas sõnastada töö eesmärki ja abistas algandmetega. Töö teema pakkus autorile huvi, kuna on päevakohane ja rakendust leidev ka edaspidi, lisaks avardas silmaringi.

Magistritöö autor tänab oma juhendajat Argo Rosinat järjekindluse ja kannatlikkuse eest magistritöö juhendamisel, samuti asjakohaste ettepanekute eest töö koostamisel.

SISSEJUHATUS

Viimase sajandi jooksul on linnade energiavarustus suuresti muutunud. 19. sajandil oli linnades peamine energiaressurss kivisüsi. Alternatiiv energiaallikana kasutati siis gaasi, mis toodeti kivisöest. 20. sajandi vahetusel jõuti sinna maani, et väiksed kohalikud võrgud ühendati omavahel, et nõudlust muuta sujuvamaks ja parandada töökindlust, mis on viinud süsteemini, mis on meil praegu. Pärast mitmekümneaastast aeglast arengut on toitesüsteemid teinud läbi suuri muutusi, mis on tingitud näiteks vajadusest suuremahuliste integratsioonide järele taastuenergiast ja energiatõhususe muutustest. *Smart Grid* kontseptsioon on tulnud päevakorda, kuna toimingute keerukus on suurenenud ja nõuab suuremat võimekust turvalisuse, ökonoomsuse ja tõhususe osas. Hajaasustuse probleem on tänapäeval väga päevakorras ning leidnud palju kajastust meedias. Mikroasutusel on hajaasustustes suur roll ja tähtsus, sest on kallim ülalpidada kulude seisukohalt – tarbitud energia ühiku kohta on kulud suuremad. 2019. aastal toetas valitsus hajaasustusi 1,8 miljoni suuruse toetusega. Sama palju käivad välja ka kohalikud omavalitsused parendamaks hajaasustust läbi hajaasustuse programmi. Selle programmi abil ehitatakse veesüsteem ja kanalisatsioon, tehakse korda koduõuele viivad juurdepääsuteed ja paigaldatakse autonoomne elektrisüsteem. Eelmisel aastal aidati rajada 686 kanalisatsiooni süsteemi, 111 juurdepääsuteed ja kahte majapidamisse paigaldati autonoomne elektrisüsteem. Läbi aastate on abi saanud üle 7000 majapidamise ja investeeringud küündivad 30 miljoni euroni. Hajaasustuse programmi viib läbi EAS. [1]

Antud lõputöö eesmärgiks on anda ülevaade mikrovõrkudest ja laboritööde väljatöötamine ja koostamine ainele „Energia haldus elektri tarkvõrkudes“ kasutades Homer Energy tarkvara. Ülikoolis õpetatavad ained peavad olema tudengitele kergesti mõistetavad ja päriseluga seostatav. Sellepärast aitavad käesolevas töös koostatud laboritööd tudengitel paremini koolis õpitut rakendada.

Lõputöö on jagatud 6 peatükiks, kus esimeses tuuakse välja aine „Energiahaldus elektri tarkvõrkudes“ õppeväljundid ja eesmärk. Teine peatükk annab ülevaate energiapoliitikast ja tarkvõrkude tähtsusest, muu hulgas Euroopa Liidu direktiividest ja strateegiatest taastuenergia valdkonnas. Kolmas peatükk keskendub mikrovõrkudele – definitsioon, varustuskindluse tagamise tähtsusele ja mikrovõrkude liigitusele. Töö praktilises pooles koostatakse laboritööde metoodilised juhendid ja näidislaboritöö kasutades HOMER Pro simulatsiooni tarkvara.

1 AINE „ENERGIAHALDUS ELEKTRI TARKVÕRKUDES“ ÕPIVÄLJUNDID

Aine eesmärk on luua üliõpilastele eeldused, et saada ülevaade intelligentsetest elektrivõrkudest, nullenergiahoonetest, elektritootmist ja elektritarbimist tasakaalustavatest alternatiivsetest tehnoloogiatest ning meetoditest, lisaks ka juhtimisalgoritmidest ning mõjudest antud elektrisüsteemis.

Lühidalt, õppeaine „Energiahaldus elektri tarkvõrkudes“, inglise keeles „*Energy Management in Smart Grids*“ annab üliõpilastele ülevaate energiaallikatest, elektripaigaldistest, seadmete tootmis- ja tarbimis-kõveratest; energiasalvestistest ja tarbimise juhtimissüsteemidest tehnoloogilistest ning talitluslikest iseärasustest, lisaks ka elektriturust. Samuti saab teada elektritarbimise ja energiasalvestite juhtimise majandusliku tõhususe suurendamisest eri tariifide kontekstis ja elektrikvaliteedi parandamisest. Tudeng õpib energiatarbimise ja energiasalvestamise modelleerimist, Homer Energy tarkvaraga intelligentsete elektrivõrkude tehnilis-majanduslikku hindamist.

Teemakäsitus on aktuaalne, sest energiasektori trende mõjutavad energiaturgude integreerumine ehk ühtne Euroopa energiaturg, mitteplaneeritava tootmistsükliga ja hajusalt paiknevate seadeldiste massiline lisandumine energiasüsteemi, akumulierimise ja tarbimise juhtimise kasvuvõimalused, kliimapoliitika ning eesmärgid energiatõhususe tagamiseks. Tänapäevased infotehnoloogilised lahendused pakuvad palju võimalusi energiatootmise ja tarbimise tõhustamiseks ja ka energiasüsteemide nutikamaks juhtimiseks. [2] Sellest kõigest tulenevalt peavad ülikoolid olema interaktiivsed ja tooma tudengitele lähemale päriselu rakendusi õpitud teooriast.

2 ÜLEVAADE ENERGIAPOLIITIKAST JA TARKVÕRKUDE TÄHTSUSEST

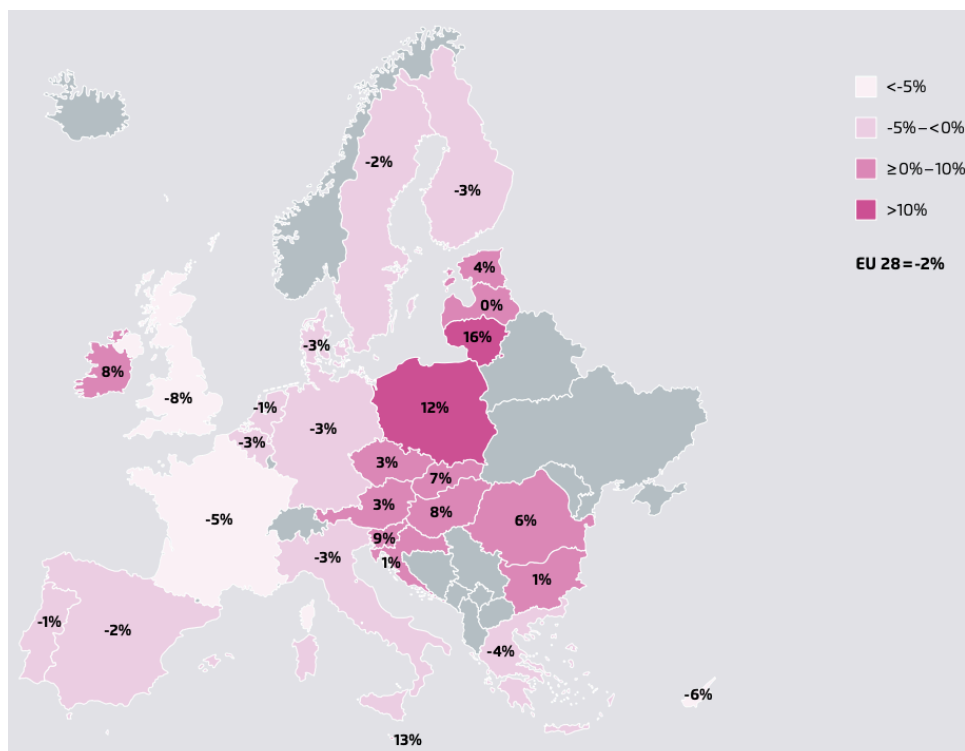
2.1 Energiapoliitika praegu ja tulevikus

Energeetikasektoril on Euroopas juhtiv roll vähendamaks süsinikdioksiidi heitmeid. Sellest tulenevalt on elektrienergia tootmise üleminek alternatiivsetele allikatele päevakohane teema. „Energia tegevuskava 2050“ on Euroopa Komisjoni loodud dokument, mis käsitleb süsinikdioksiidi heitmete vähendamisega seotud eesmärgid, samal ajal tagades energiavarustuskindluse ja konkurentsivõime. Tegevuskavas on välja toodud, et tuleks suurendada energiatõhusust ning taastuvenergia osakaalu, sest muidu on pea võimatu saavutada süsinikdioksiidi heidete vähenemist 2050. aastaks. [3]

Euroopa Liidul on paika pandud eesmärgid kasvuhoonegaaside heitkoguste järkjärguliseks vähendamiseks kuni 2050. aastani. Kirja on pandud kaks suuremat raamistikku kliima- ja energiavaldkonnas 2020. ja 2030. aastaks. Need eesmärgid on määratletud selleks, et aidata EL-il liikuda väiksema süsihappegaasi heitega majanduse suunas, nii nagu on kirjas 2050. aasta pikaajalises strateegias. EL jälgib edusamme heitkoguste vähendamisel regulaarse seire ja aruandluse kaudu. [4]

Elektritarbimine kasvas 2018. aastal Euroopas 0,2% ehk 7 TWh. Euroopa üldine elektritarbimine on kasvanud viimased neli järjestikust aastat, ehkki tase on aeglasem kui varasematel aastatel. Selle põhjuseks peetakse tööstustoodangu langemist viimastel aastatel. 2018. aasta kogutarbimine jääb siiski 2% madalamaks kui 2010. aastal, kuigi SKT tõus on olnud viimased 8 aastat 13% ja rahvastiku suurenemine 2%. 2018. aasta oli kogu maailmas väga soe aasta, Euroopas oli võrreldes 2017. aastaga 0,4 kraadi soojem. Üldiselt olid talvekuud soojad, seega tasakaalustas vähendatud küttevajadus täiendava kliimaseadmete nõudluse kuumadel suvekuudel. [5]

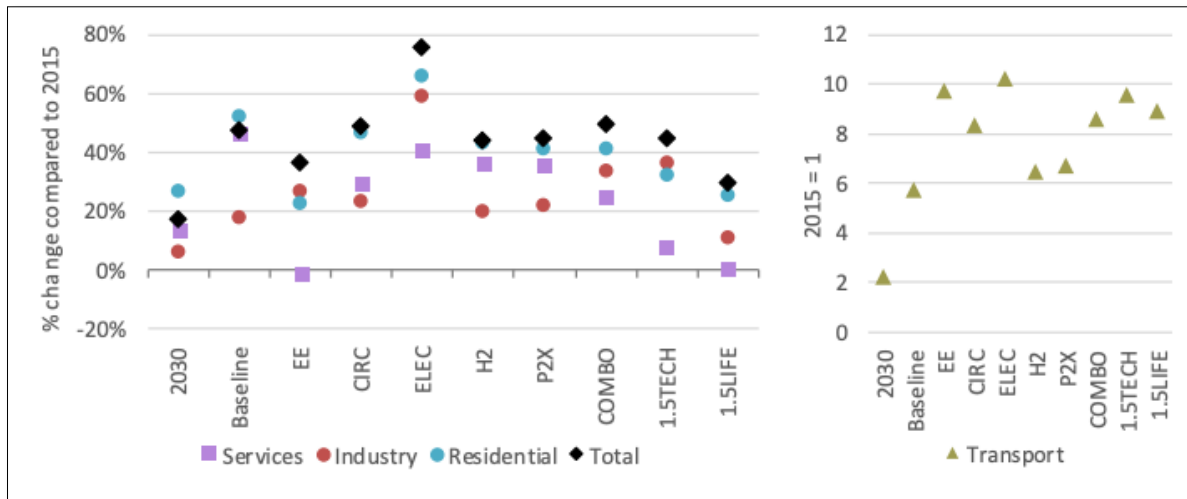
Elektrienergia tarbimine on viimastel aastatel olnud sarnase muustriga, Ida-Euroopa riikides elektritarbimine on kasvavas rütmis, mujal on püsinud stabiilsena (Joonis 1). Näiteks Poola elektritarbimine tõusis 2018. aastal 1,6%, seades selle 12% kõrgemale 2010. aasta tasemest ja on kasvu poolest teisel kohal kohe pärast Leedut. Eestis on sellel perioodil elektritarbimine kasvanud 4%, mis on rohkem kui lähisnaabritel Lätis (0%) või Soomes, kus elektritarbimine on aga langenud (-3%). [5]



Joonis 1. Elektritarbimise muutus 2010-2018. aastatel. [5]

Taastuvad energiaressursid moodustasid 2018. aastal kogu Euroopas toodetavast elektrist 32,3%. Kasv võrreldes 2017. aastaga on 2,3%. Pool taastuvatest energiaressurssidel toodetavast elektrist tuli hüdrost, teise poole moodustas tuul, biomass ja päikeseenergia struktuurne kasv. 2018. aastal on tuule taastuenergia osakaal suurim, moodustades 12% Euroopa elektrist. Päikseenergia osakaal oli 4%, mis on vähem kui biomass ja kolmandik tuulest saadavast energiast. [5]

Eeldatakse, et elektritarbimine maailmas suureneb. Euroopa Komisjon avaldas 2018. novembris pikaajalise strateegia 2050. aastaks, kus viidatakse sellele, et elektritarbimine tõuseb 2030. aastaks 18% alates 2018. aastast. Elektrifitseerimist transpordi, soojuse ja tööstuse sektoris peetakse peamisteks mõjutajateks elektri sektoris. Pikaajalises strateegias „*Long Term Strategy 2050*“ prognoositakse, et kõige suurem kasv toimub transpordis, sest selles sektoris on eesmärk elektrifitseerida 10% aastaks 2030 [5]. Samuti ootab elamu- ja tööstusettevõtteid ees suurem elektrifitseerimine 2050. aastaks (Joonis 2). Võrreldes 2030. aastaga, kasvab prognoosi kohaselt 2050. aastaks elektrienergia kasutamine elamutes 31% ja tööstuslikes hoonetes kuni 50%. Koostatud stsenaariumite järgi sealt edasi kasvu näha ei ole, pigem langust, sest elektrifitseerimist tasakaalustatakse energiatõhususe parandamisega. Küll aga viitavad uuringud igal juhul elektritarbimise kasvule Euroopas. [6]



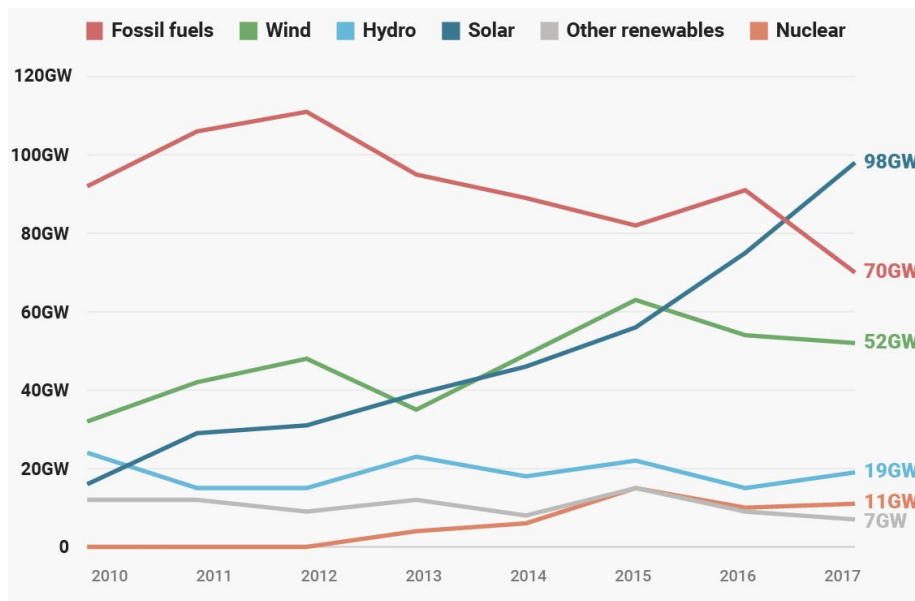
Joonis 2. Prognosis elektrienergia tarbimise muutustes 2050. aastal võrreldes 2015. aastaga. Vasakpoolne graafik näitab % muutust 2015-2050 kogu, elamu, teeninduses ja tööstuses. Parempoolne graafik näitab % muutust 2015-2050 transpordisektoris. [6]

Transpordi ja soojuse elektrifitseerimise suurem hüpe on veel ees. Euroopa ja soojuspumpade turud laienesid 2018. aastal, kuid väikses mahus. Elektriautode müük 2018. aastal kasvas 34%, kogu autode müügist moodustavad elektriautod 2,4%. [5]

2.2 Tarkvõrgud ja nende areng

Euroopa Liidu energiataristud on vananenud ja vajavad uuendamist ning kaasajastamist. Energia tootmiseks, ülekandeks ja salvestamiseks vajatakse paindlikemaid taristuid nagu piiriülesed ühendused, „intelligentsed“ võrgud ning kaasaegsed madala süsinikusisaldusega tehnoloogiad. Väidetavalt tagavad praegu tehtud investeeringud tulevikus paremad hinnad. Kuni 2030. aastani elektri hinnad tõusevad, seejärel tänu madalamale tarnehinnale, säästumeetmetele ning uudsetele tehnoloogiatele hakkavad hinnad langema. Et väiksed riigid nagu Eesti saaks üleeuroopalise tegevusega kaasa minna, tuleks saavutada mahuefekt, mille tagajärjel on kulud väiksemad ja varustuskindlus kõrgem võrreldes paralleelsete riiklike tegevustega. [3]

Taastuenergia kasv energiamaastikul on ilmne, eriti kui vaadata, millist uut tüüpi energiatootmisvõimsusi kogu maailmas juurde tuleb. ÜRO keskkonnaprogrammi raporti kohaselt loodi 2017. aastal uut päikeseenergiavõimsust enam, kui mis tahes muud tüüpi energiat (Joonis 3). [7]



Joonis 3. Elektrienergia netovõimsuse globaalne kasv. [7]

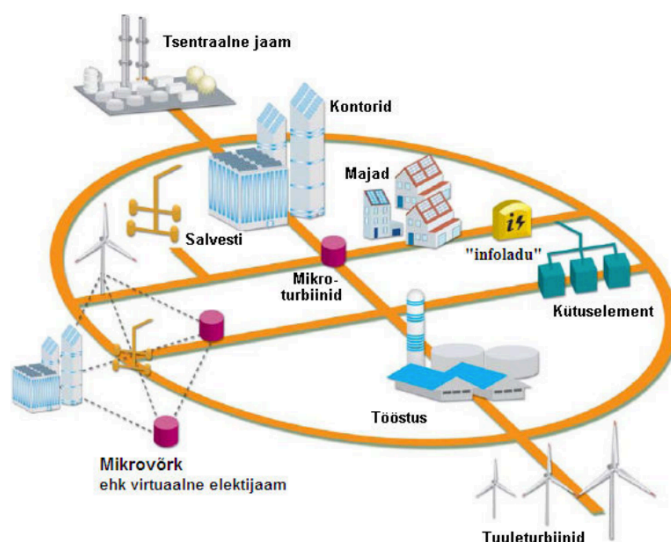
Aastakümneid tagasi hakati uurima detsentraliseeritud energiatootmise võimalusi, et hallata suures mahus hajaasustuste energiaressursse tagamaks elektrivarustatust ja töökindlust ka rikete ja muude loodusõnnetuste ilmnemise korral. Sellisest vajadusest tulenevalt loodi võrgulahendus, kus toimub elektri tootmine ja tarbimine lokaalselt ning tsentraalse võrgurikke korral on tagatud erakorraliste elektritarbijate varustatus, mida hakati nimetama mikrovõrguks. Aastakümnete jooksul on palju seda teemat hakatud uurima ja Euroopa Liit on eraldanud miljoneid eurosid, et arendada mikrovõrke ja tarklahendusi. Uuringute käigus on leitud palju tehniliselt innovaatilisi lahendusi. [8]

Lähemal uurimisel selgub, et mikrovõrkude maailmas on turuliidriteks Aasia ja Põhja-Ameerika. Tänapäeval on mikrovõrkude uurimine ja arendamine suurema tähelepanu all kui see oli aastakümneid tagasi. USAs asuv ettevõtte *Navigant Research* uurib mikrovõrkude hetkelist turuseisu, uusi väljakutseid tehnoloogia vallas ning ka tuleviku turuprognose selles vallas. [9]

Põhjus, miks mikrovõrkude populaarsus on Euroopas veel väike, võrreldes Põhja-Ameerika või Aasiaga, on Euroopa Liidus spetsiifiliste regulatsioonide puudumine mikrovõrkudele. Tänapäeval tuleb mikrovõrke rajades lähtuda kaudsetest direktiividest, mis on suunatud taastuvenergia, võrguühenduste ja isetarbimise energiasalvestamisele. Ainuüksi mikrovõrkudele koostatud regulatsioonid on väga vähe ja spetsiifiliste direktiivide puudumine suurendab Euroopa Liidu liikmesriikides rajatavate mikrovõrkude erinevusi [10]. Eestis annab mikrovõrkude liitumistingimused Elektrilevi.

Mikrotootjateks nimetatakse neid elektritootjaid, kelle paigaldatud tootmisvõimsus on alla 15 kW. Näiteks väiksed ettevõtted ja kodumajapidamised, mis on lihtsustatud elektrivõrguga liitumisprotsessis, on mikrotootjad. 2017. aastaks oli Eestis võrguga liitunud mikrotootjate koguarv 1045. 98% mikrotootjatest haldavad tootmisüksusena päikesepaneele, mõnel neist on ka väiketuulikud. 2017. aasta lõpuseisuga oli võrguga liitunud mikrotootjate koguvõimsuseks 9,2 MW. [11]

Kui elektrisüsteemist lähemalt rääkida, siis see on keerukas ja suuremõõteline, mistõttu ei ehitata seda uuesti või ümber väga tihti. Elektrisüsteemi komponendid on elektrijaamad, ülekandeliinid, alajaamad ja jaotusliinid. Need kõik eeldavad kõrget alginvesteeringut, kuid on pika elueaga süsteemi elemendid. Suurem osa elektrivõrkudest on ehitatud üle 50 aasta tagasi. [12]



Joonis 4. *Smart Grid*, kus eksisteerib osaliselt autonoomne mikrovõrk. [12]

Elektrisüsteem, mis on osaliselt sõltumatu või täielikult sõltumatu, nimetatakse mikrovõrguks ning funktsioneerib kui *Smart Grid* ehk arukas võrk. Selleks võib olla üks hoonete kompleks, väikese jaotuse piirkond, küla või linn teiste asulate juures või eraldi seisvana. Terviklik mikrovõrk koosneb lokaalsetest elektritootmisadmetest ja tarbijatest, kuhu lisanduvad ka taastuenergiaallikad ja energiasalvestus (Joonis 4). Mikrovõrgud on enamjaolt ühendatud sünkroonselt üleriigilise elektrivõrguga, samas olles võimeline töötama ka iseseisvalt rikete korral tsentraalses elektrijaamas. Mikrovõrgud aitavad katta tipukoormust ja tõsta varustuskindlust. [12]

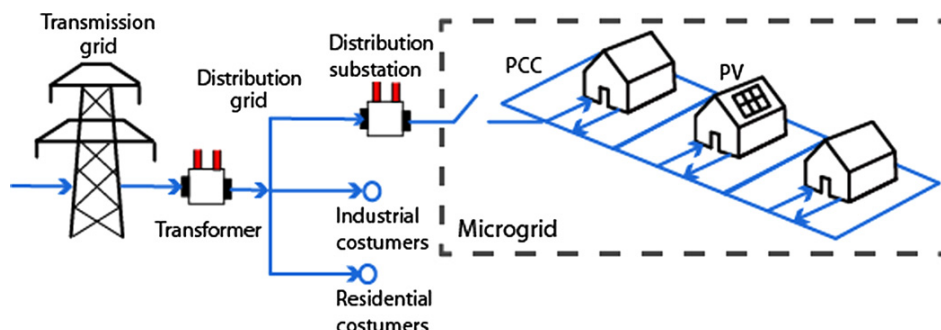
3 MIKROVÕRGUD

3.1 Definiitsioon ja olemus

Kirjandusest võib leida hulgaliselt mikrovõrkude definiitsioone ja skeeme klassifitseerimiseks. Laialt viidatud definiitsioon on järgmine: Mikrovõrk on omavahel ühendatud koormuste ja hajutatud energiaressursside rühm selgelt määratletud elektripiirides, mis toimib võrgu suhtes ühe kontrollitavana (Joonis 5). Mikrovõrke saab kokku ja lahti ühendada tsentraalvõrgust, et võimaldada töötamist nii võrguühendusega režiimis kui ka saartalitlusel. See kirjeldus põhineb 3 eeldusel:

1. Jaotussüsteem on see osa, mida on võimalik ülejäänud süsteemist eraldada.
2. Energiaallikad, mis on ühenduses mikrovõrguga, on kooskõlas teineteisega ja mitte kontrollitud läbi kaugjuhitavuse.
3. Mikrovõrk saab toimida autonoomselt ehk ei ole oluline, et see oleks ühendatud suuremasse võrku. [8]

Selle definiitsiooni puuduseks on, et see ei ole täpne energiaressursside suuruse ega tehnoloogia tüüpide osas.



Joonis 5. Mikrovõrgu skeem. [13]

Lihtsustatult on mikrovõrk elektrisüsteemi osa. Tüüpilise mikrovõrgu komponendid on (Joonis 6):

- *Single Customer Microgrid* – Ühe kliendi mikrovõrk, mis teenindab ühe kliendi vajadusi. Selleks võib olla näiteks mingi hoone, rajatis, ülikoolilinnak jne. Klientil on lokaalne energia tootmine, mis võimaldab tal elektrikatkesutse ajal elektrivõrgust välja minna. [14]
- *Partial Feeder Microgrid* – Mikrovõrk, mis sisaldab osa-feederit, tuntakse osalise toitega mikrovõrguna. Liigitakse ulatuse järgi. [15]

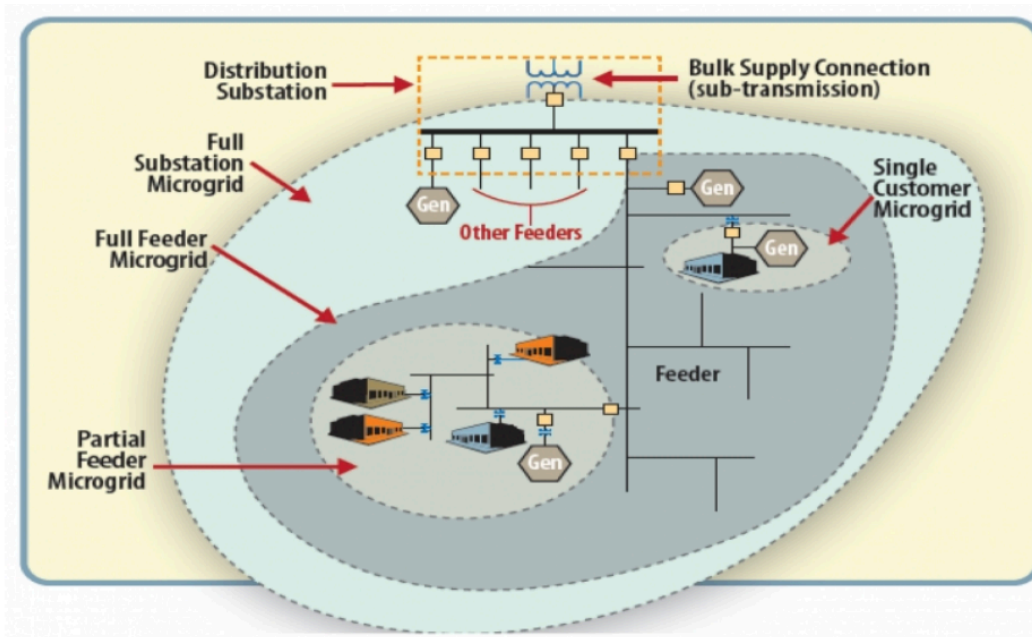
- *Full Feeder Microgrid* – Täis-feeder. Toitelise ala mikrovõrgu võimsus on 5-20 MW ja see sisaldab erineva suurusega kaubanduslikku ja tööstuslikku koormust. [16]
- *Full Substation Microgrid* – terve alajaama ulatuses mikrovõrk. Alajaama mikrovõrgu võimsus on üle 20 MW ja see hõlmab tavaliselt kõiki läheduses asuvaid koormusi, sealhulgas majapidamis-, äri, ja tööstuskoormusi. [16]
- *Distribution Substation* – jaotusjaam; on seadmete kogum, mis on ette nähtud toitepinge ümberlülitamiseks, reguleerimiseks ja muutmiseks alamülekande tasemelt primaarsele jaotustasandile. [17]

Jaotusjaam koosneb peamiselt:

- Tarneliin (Supply Line)
 - Trafod (Transformers)
 - Jaotusseadmed (Busbars)
 - Väljaminevad toitjad (Outcoming feeders)
 - Lülitusseadmed (Switching apparatus)
 - Lülitid (Switches);
 - Kaitsmed (Fuses);
 - Kaitselülitid (Circuit breakers);
 - Ülepinge kaitse (Surge voltage protection);
 - Maandus (Grounding). [18]
- *Bulk Supply Connection (sub-transmission)*
Allülekandeliinide pinged on vähendatud kuju peamisest ülekandeliinide süsteemist. Tavaliselt 43,5 kv kuni 69 kv. See võimsus saadetakse piirkondlikesse jaotusjaamadesse. Mõnikord kasutatakse alamülekandepinget tööstuses või suurtes äritoimingutes kasutamiseks. [19]

Mikrovõrgu tööstrateegia sõltub erinevate sidusrühmade huvidest. Tööstrateegia eesmärk võib olla majanduslik, tehniline, keskkonnaalne või nende omavaheline kombinatsioon. Järgnevalt on välja toodud, miks on mikrovõrkude kasutamine kasulik erinevates aspektides.

- Majanduslik – eesmärgiks on süsteemi kogukulude minimeerimine võtmata arvesse mõju võrgukontole. Mikrovõrgu majanduslikud eelised võib jagada kahte rühma: piirkondlik kasu ja selektiivne kasu. Piirkondlik eelis seisneb energia siseturu loomises. Selektiivsuse eelis seisneb majanduslike otsuste optimeerimises.



Joonis 6. Tüüpilise mikrovõrgu näidis. [20]

- Tehniline – eesmärk on minimeerida energiakadusid, pinge variatsioone. See strateegia on süsteemihalduritele kasulik. Mikrovõrgu olemasolu annab tehnilisi eeliseid, mis parandavad võrguoperatsiooni jaotust. Näiteks energiakadude vähendamine. Kui mikrovõrk pakub jaotusele varustust, liini energiavood vähenevad. Pinge kvaliteet paraneb ja väheneb jõuelementide üle koormamine, näiteks tiptundidel.
- Keskkonda arvestav – eesmärk on minimaliseerida heitkoguste taset, arvestamata majanduslikke ja tehnilisi tingimusi. Seda strateegiat kasutatakse, kui tahetakse saavutada kehtestatud heitkoguste eesmärk. Mikrovõrgust saadav keskkonnavaline kasu tuleneb vähese heitkogusega kütuste kasutamisest, nagu looduslikud gaasid ja tõhusamad energialahendused. Lisaks, mikrovõrkude sotsiaalsete hüvedena tuuakse välja energiasäästu edendamist ja kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamist. Lisaks, luua uurimistöö ja töö võimalusi, kaugemate või vähem arenenud piirkondade elektriga varustamiseks. Neid sotsiaalseid hüvesid võib pidada mikrovõrgu toimimise loogilisteks põhjusteks. [21]

3.2 Varustuskindluse tagamise tähtsus mikrovõrkude rajamisel

Nii riiklikul, regionaalsel kui Euroopa tasandil on elektrisektoris viimase 10 aasta jooksul toimunud olulised muudatused, et luua üleeuroopaline integreeritud elektrisüsteem ja -turg, mis suudaks tagada elektrienergia jätkusuutliku kättesaadavuse mõistliku hinnaga, varustuskindluse, energiakasutuse tõhususe ja edendaks taastuvenergiaallikate kasutamist. Varustuskindlust peetakse Euroopa energiapoliitika üheks nurgakiviks. Varustuskindlus on süsteemi võime tagada tarbijatele nõuetekohane elektrivarustus. Energia varustuskindlus on üks prioriteetidest Euroopa Liidu energia poliitika põhialustes, mis sai kokkulepitud Lissaboni lepingus 1. [3]

Elering, kui elektri põhivõrke haldav Eesti riigile kuuluv ettevõtte, on kirja pannud elektrituru käsiraamatus varustuskindluse kontseptsiooni põhimõtted:

- a) Süsteemi tavatalitus peab staatiliselt ja dünaamiliselt olema stabiilne;
- b) Häire korral peavad säilima süsteemi ühtsus ja töövõime;
- c) Süsteemi kui terviku varustuskindluse tagamine on olulisem kui mingi piirkonna varustuskindluse tagamine.
- d) Häire korras ja häire tõttu tekkinud situatsioonis võivad süsteem ja selle osad talitleda tavalisest väiksema töö- ja varustuskindlusega, kui see on oluline häire lokaliseerimiseks või kõrvaldamiseks või tarbijatele elektrivarustuse taastamiseks.
- e) Süsteemihalduri ülesandeks on koostada tarbimisnõudluse rahuldamiseks vajaliku tootmisvaru hinnang, lähtudes kriteeriumist, et süsteemi piisavuse varu ei või olla väiksem süsteemi päevasest maksimaalsest tarbimisest ehk nn tiputarbimisest, millele on lisatud 10% varu elektrivarustuse tagamiseks ootamatute koormuse muutuste ning pikemaajaliste planeerimata tootmiskatkestuste korral. [3]

Tagamaks elektri varustuskindlus on vaja kindlat varustatust elektritootmises kasutatavate kütustega, töökindlat ülekandevõrku ja jaotusvõrku, piisavaid tootmisvõimsusi ning välisühendusi naaberriikidega, lisaks ka töötavat elektriturgu. Riigipõhiselt on varustuskindluse hoidmine vajalikul tasemel üsna kulukas, kuid teiste Euroopa riikidega koostööd tehes on majanduslikult võimalik säästa. [3]

Kohalikud päikese-, tuule-, ja hüdroenergia ressursidele loodud elektrienergia tootmisüksused moodustavad olulise osa iga riigi taastuvenergia eesmärgist võimaldades asendada sissetoodavaid fossiilkütuseid, parandada varustuskindlust ja

Julgeolekut ning luues uusi töökohti. Jaotusvõrgud koosnevad ühendatud või lahusolevatest mikrovõrkudest. Seega tõuseb taastuenergiat ning salvestusel põhinevate lokaalsete võrguühendusega ehk OFF-GRID tootmislahenduste osatähtsus. Nendega on jaotusvõrguettevõtjatel võimalik tagada kliendi elektrienergia varustuskindlus täiendava elektrivõrgu rajamiseta. [22]

Elektrilevi andmete põhjal koostati objekti andmeanalüüs ning selgus, et kuni 10 minutilist katkestust 90% katkestustest olid 3 minutit (Joonis 7). Seda kolmel erineval objektil. Kui vaadata kuni 3 minutiliste katkestuste põhjusi, saame vastuseks määratlemata põhjused või lühised (Joonis 8). Määratlemata põhjusteks nimetatakse ilmastikust tingitud või lõpptarbijapoolseid asjaolusid.

Katkestuse kirjeldus	Vastava kestusega katkestuste osakaal kõikidest katkestustest (vastava kestusega katkestuse arv)		
	Objekt 1	Objekt 2	Objekt 3
≤3 min	65% (88)	41% (68)	65% (83)
≤10 min	67% (91)	42% (69)	66% (84)
	Kuni 3 minutiliste katkestuste osakaal 10 minutilistest katkestustest		
≤3 min/≤10 min	90%	96%	92%

Joonis 7. 3 ja 10 minutiliste katkestuste omavaheline suhe ja nende osakaal katkestuste koguarvus. [23]

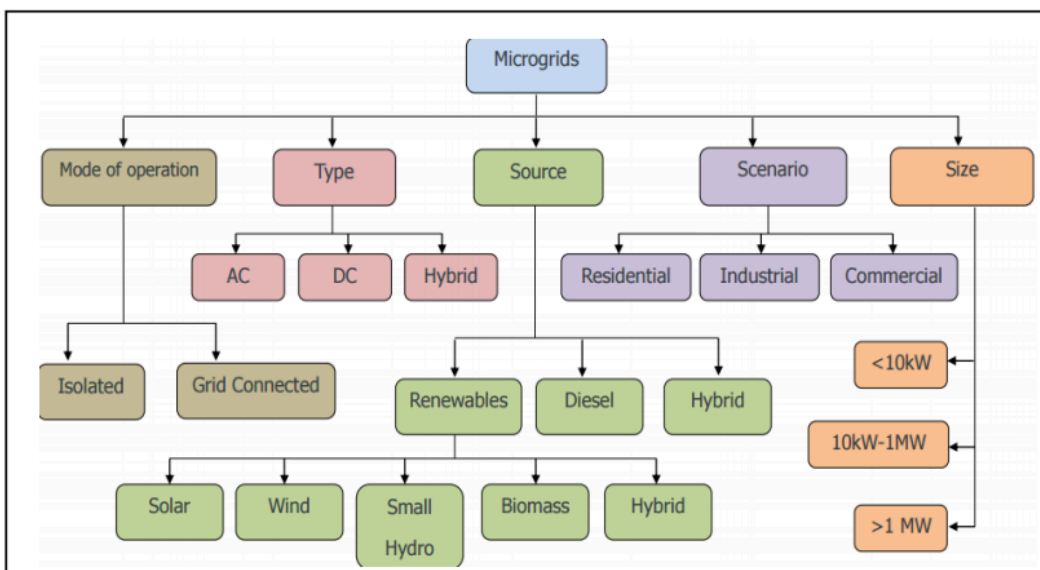
Katkestuse põhjus	Objekt 1	Objekt 2	Objekt 3
Määratlemata	65%	67%	70%
Lühis	17%	15%	13%
Kaitse rakendumine	11%	<1%	1%
Isolatsiooni ülelöögid, liinikoridori rike, kaabli vigastumine - liin, puu või oksad liini vastas, isolaatori purunemine, juhtme katkemine	6%	14%	6%

Joonis 8. Kolmeminutiliste katkestuste peamised põhjused. [23]

3.3 Mikrovõrkude liigitus ja ülevaade enim levinud lahendustest

Ehkki mikrovõrgud muutuvad nii ajakirjanduses kui ka energiamaailmas aina enam levinumaks, ei ole ühtset määratlust selle kohta, mis täpsemalt moodustab mikrovõrgu või kuidas neid ikkagi eristada. Mikrovõrkudest saab meie globaalse elektrisüsteemi väljakujunenud osa ja seda enam on vaja ühiseid määratlusi [24]. Lihtsustatult saab

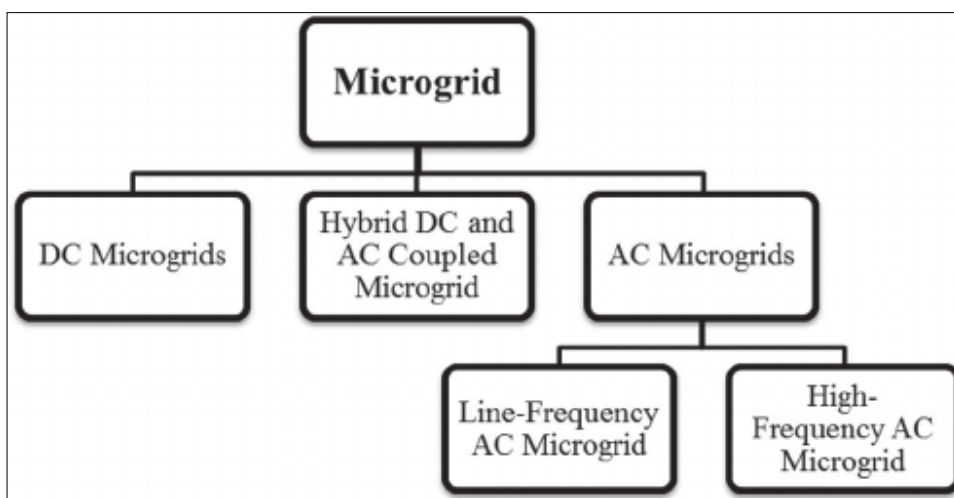
mikrovõrke liigitada töörežiimi, tüübi, allika, stsenaariumi või suuruse järgi nagu Joonis 9. Alljärgnevatel alapeatükkides selgitatakse neid täpsemalt.



Joonis 9. Mikrovõrkude liigitus. [25]

3.3.1 Liigitus mikrovõrgu tüübi järgi

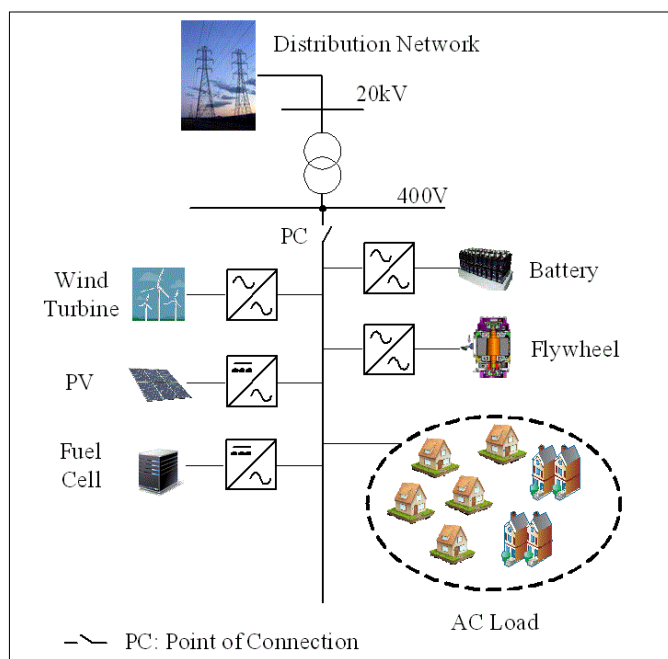
Mikrovõrgu tüübi järgi eristatakse DC, AC ja nende kombinatsioone ehk hübriidseid lahendusi (Joonis 10). AC mikrovõrgud jagunevad veel omakorda joonsagedusega vahelduvvooluvõrguks ja kõrgsageduslikuks vahelduvvooluvõrguks. Järgnevalt on toodud välja AC mikrovõrgu ja DC mikrovõrgu kirjeldused, eelised ja puudused. [26]



Joonis 10. Mikrovõrkude liigitus tüübi järgi. [26]

AC-mikrovõrgud ehk vahelduvvooluga ühendatud mikrovõrk, mis on alates 19.sajandist kõige tavapärasem valik kommertslike energiasüsteemide jaoks meie elukohtade valgustuse ja tehaste mootorite tööks. Vahelduvvoolu pinge erinevateks rakendusteks on erinevateks tasemeteks muundamine, võime edastada energiat pika vahemaa tagant ning sellele on iseloomulik omadus fossiilsete kütustega töötamisel teatud tüüpi masinaga muutis vahelduvvoolu toitevõrgu esmaseks valikuks [27]. Joonis 11 näitab vahelduvvoolu mikrovõrgu konfiguratsiooni, mis koosneb taastuvenergia süsteemidest (tuuleturbiin, PV-paneelid), kütte elemendist, akust, hoorattast ja AC koormusest. Lisas 1 on välja toodud tüüpilised näited AC mikrovõrkude süsteemidest, sisaldades komponente, pingetaset, sagedust (Hz) ja võimsust (W).

DC-mikrovõrgud ehk alalisvooluga ühendatud mikrovõrk – alalisvoolu mikrovõrk hoiab alalisvoolu siini, mis toidab sellega ühendatud alalisvoolu koormusi. Üldiselt on alalisvoolu koormused madala energiatarbimisega elektroonilised seadmed nagu



Joonis 11. AC mikrovõrgu skeem. [28]

sülearvutid, mobiiltelefonid, DVD-mängijad, akutoitega tolmuimejad või interneti-ruuterid. Alalisvoolu mikrovõrgu struktuuris ühendatakse alalisvoolu väljundiga allikad otse alalisvoolu siiniga, samas kui vahelduvvoolu väljundiga allikad ühendatakse alalisvoolu siiniga vahelduv-/alalisvoolu muunduri kaudu. Kuna alalisvoolu genereerivad taastuvaid energiaallikaid on rohkem kui vahelduvvoolu genereerivad energiaallikaid, on vaja vähem muundureid ning see suurendab alalisvooluvõrgu üldist efektiivsust [29]. Alalisvoolu mikrovõrgud on viimastel aastatel hakanud huvi pakkuma

akadeemilistes ringkondades ja töötustes. Suuremad eelised võrreldes AC-mikrovõrguga on lihtne juhtimine, töökindlus ja tõhusus. [30]

Kolmanda mikrovõrgu tüübiks on **hübriidmikrovõrgud**. Üldiselt võib hübriidsete mikrovõrkude struktuurid klassifitseerida vahelduvvoolu-, alalisvoolu ja alalisvahelduvvooluga ühendatud mikrovõrkudeks [31]. Hübriidsed mikrovõrgusüsteemid (HMGS) koosnevad mitmetest paralleelselt ühendatud hajus ressurssidest elektrooniliselt juhitavate strateegiatega, mis on võimelised töötama nii ON-GRID kui ka OFF-GRID. Taastuvatel energiaallikatel põhinevad hübriidsed mikrovõrgusüsteemid on tasuvad lahendused tsentraalsetest elektrivõrkudest kaugel asuvate piirkondade energiavarustuse probleemi lahendamiseks. [32]

3.3.2 Klassifitseerimine talitusviisi järgi

Mikrovõrke saab talitusviisi järgi jagada kaheks, saartalitluseks või sidustalitluseks [33]. Isoleeritud ehk saartalitlus tähendab, et tegemist on võrguühenduseta mikrovõrguga (ingl k *OFF-GRID mode*). Tähenduslik erinevus tuleb sellest, kas kirjeldatakse talitusviisi või vaja välja tuua, et mikrovõrk on füüsiliselt eraldatud.

Saartalitlusena töötavas mikrovõrgus tuleb arvesse võtta mitmeid asjaolusid. Põhimõtteliselt peab mikrovõrk olema konstrueeritud nii, et see annaks reaalse ja reaktiivvõimsuse, mida koormused vajavad ning sellel peab püsima nõuetekohane pinge ja sagedus peab olema reguleeritud lepitud piiridesse [21]. Saartalitlusena töötav mikrovõrk võib olla üsna kulukas. Kirjanduses tuuakse välja, et alajaamast 4 kilomeetri kaugusel töötava lahenduse maksimaalne kogukulu koos tehtava investeeringuga, peaks 40 aastase eluea korral keskpingeliini rajamise ja käidu kogukulu olema alla 1,3 miljoni euro. [23]

Saartalitluslikku lahendust kasutatakse tavaliselt kodude, hoonete, paatide, kaugemate põllumajanduspumpade, väravate ja liiklusmärkide varustamiseks [34]. Saartalitlusel on mitmeid eelised. Kaugemates kohtades võivad need süsteemid olla väiksemate kuludega kui laiendada elektriliini elektrivõrgule. Neid süsteeme saavad kasutada inimesed, kes elavad võrgu lähedal ja soovivad olla sõltumatud elektrienergia pakkujast või näidata üles pühendumust saastevabadele energiaallikatele. Saartalitlusi kasutatakse usaldusväärse energia genereerimiseks ja üldiselt kulude vähendamiseks ning alternatiiviks genereerimaks energiat fossiilkütustest. [35]

Saartalitlusel on ka puudusi. Seda süsteemi tuntakse varusüsteemina, sest see on võrgust sõltumatu, kuid eelduseks on, et päikesepaneelid suudavad kogu nõudluse katmiseks toota piisavalt elektrit. Seega vajab võrguväline süsteem akusid või varuenergiaallikat, näiteks generaatorit. Need tingimused muudavad võrguvälise süsteemi kulukaks, keerukamaks ja vähem paindlikumaks kui võrgupõhine süsteem. Lisaks, akude hoiustamine nõuab pidevat hooldust ja perioodilist väljavahetamist. [34] Hea näide OFF-GRID süsteemist on Ruhnu saarele paigaldatud terviklahendus (Joonis 12) Eesti Energia tütarettevõtte Enefit Green projekteerimisel. Kui varasemalt toodeti kogu saarel vajaminev elekter diiseldiiseliinide abil, siis nüüd toodetakse üle 50% saarel tarbitavast elektrist taastuenergiaallikatest. Projekti valmimine võttis tükk aega, kuid nüüdseks on paigaldatud päikesepaneelid, elektrituulik, akupank ja diiseldiiseliin (biodiiseliin). Tegemist on ainulaadse lahendusega, mida opereerib nutikas automaatika. Ruhnu saare elektritarbimine aastas on ligi 450 MWh, rahvaarv 60 kuni 170, sõltuvalt perioodist, ning saare pindala on ligi 12 km². [36]



Joonis 12. Ruhnu saare taastuenergia terviklahendus. [37]

Teiseks liigiks on **sidustalitlus** ehk võrguühendusega mikrovõrk (ingl *ON-GRID mode system*). Võrgusisesed süsteemid on võrguga ühendatud ja võimaldavad kasutada nii päikeseenergiat kui ka võrgust saadavat elektrit. Erinevalt saartalitlusest ei pea võrgusüsteemi toodetav elektrienergia olema 100% nõudlusest. Üle jääva energia võib võrku saata. [34]

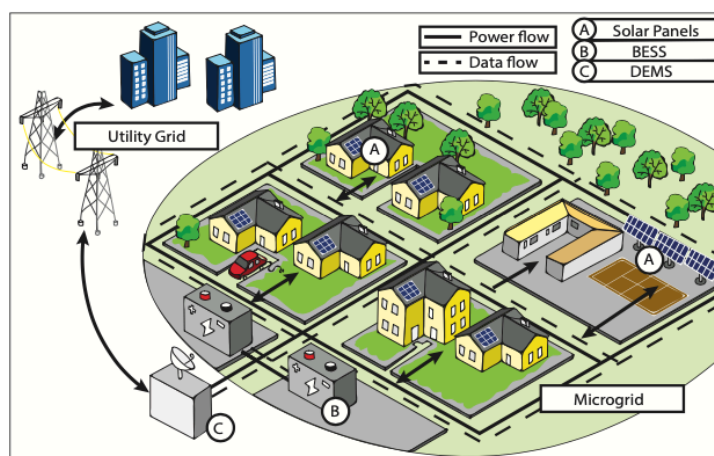
Sidustalitluse peamiseks eeliseks on see, et aku olemasolu ei ole vajalik, kuna liigne energia võib võrku eksportida. Seetõttu välditakse võrgusüsteemis aku ja regulaatori

maksumust [34]. Süsteemi puuduseks peetakse lisaseadete (ingl *balance-of-system*), soetamist, et koormuste ülekandmine oleks ohutu ja elektrienergia pakkuja võrguühenduse nõuded oleksid täidetud [35]. Lisaks on puuduseks see, et võrgusüsteem ei suuda pakkuda toidet elektrivõrgu katkestuse korral [34].

3.3.3 Enim levinud lahendused

Mikrovõrke liigitatakse veel ka stsenaariumi järgi:

- a) *Residential* ehk elamurajoonid (Joonis 13) - See sektor moodustab enamikes riikides suure osa kogu energiavajadusest. Näiteks tarbis elamurajoonide sektor 2015. aastal 5489 TWh, moodustades 27% kogu maailma tarbimisest. Seetõttu koos *Smart Grid* tehnoloogiaga tekkis päevakorda *Residential Microgrids* kontseptsioon ning ka *Domestic Energy Management Systems* ehk kodune energiahaldussüsteem. [38]

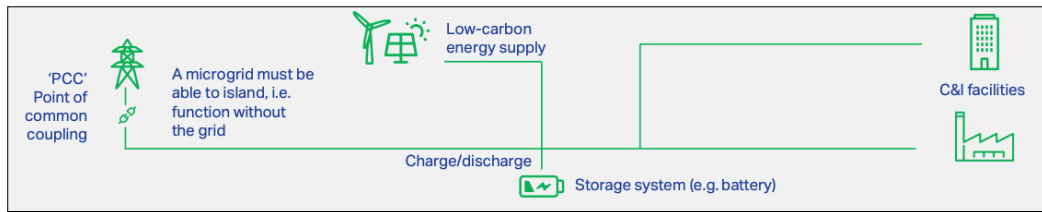


Joonis 13. Elamu mikrovõrgu üldskeem.

„A“ tähistab katustele paigaldatud päikesepaneelide massiive iseseisvas režiimis. „B“ tähistab BESSi (liitium-ioonakumulatsiooni energiasalvestus-süsteem), mis on integreeritud elamu võrgusüsteemi. C-täht tähistab kodumaist energiahaldussüsteemi, kus asub ühise sidestuse punkt (PCC). [38]

- b) *Industrial* ehk kaubanduslik ja *Commercial* ehk tööstuslik võrksüsteemid (Joonis 14), kirjanduses ühise nimetajana commercial&industrial (C&I).

Kogu maailmas kasvab kaubanduslike ja tööstuslike mikrovõrkude kasutuselevõtt väga kiirelt. See on tingitud kasvavast nõudlusest usaldusväärse ja turvalise energia järele. Navigant Research prognoosib industriaal ja kommerts mikrovõrkude kasutuselevõtu suurenemist 448,3 MW-lt 2017. aastal 5 389,1 MW-ni 2026. aastaks. [39]



Joonis 14. Üldskeem C&I mikrovõrgule. [40]

4 HOMER PRO TARKVARA METOODILINE JUHEND

Tarkvara ettevõtte HOMER Energy loodud HOMER Pro® *microgrid software* on globaalne mikrovõrkude optimeerimisrakendus kõigis sektorites, alates küla elektritootmisest ja saarte kommunaalteenustest kuni võrguga ühendatud ülikoolilinnakute ja sõjaväebaasideni. Algselt koostati see *National Renewable Energy Laboratory* arendajate poolt. Tänapäevaks on HOMER Energy maailma juhtivamaks modelleerimistarkvaraks mikrovõrkude ja hajaasutuste genereerimisel. Sel on üle 200 000 kasutaja 193 riigis ning HOMER Energy on arenenud mikrovõrkude turu ühendajaks. HOMER Pro mikrovõrkude tarkvara navigeerib kulutõhusate, usaldusväärsete ja keerukate mikrovõrkude ehitamis-, ladustamis- ja koormuste juhtimise protsessi, kus kombineeritakse traditsiooniliselt ja taastuvenergia allikatega toodetud energiat. HOMER Grid tarkvara teenindab võrguga ühendatud turgu tiptasemel algoritmidega, mis võimaldavad optimeerida päikeseenergiat ja salvestamist, et vähendada üldisi energiakulusid.

HOMER Pro kasutab HOMER Optimizer™ varalist algoritmi arvutamaks nüüdisväärtust koostatud mudeli jaoks. HOMER kasutab väljendit *Net Present Cost* või *Life-Cycle Cost*, mis tegelikult ei ole majanduslik termin. HOMER selgitab mõistet nii, et see on puhasmaksumus või siis olulustsükli maksumus kõigi komponentide paigaldamise ja kasutamisega seotud kulude nüüdisväärtus kogu projekti kestuse jooksul, millest lahutatakse kogu tulu, mida projekti ajal saadakse. HOMER arvutab süsteemi kõigi komponentide praegused puhaskulud. Majanduslikuanalüüsi terminoloogiline vaste sellele oleks nüüdisväärtus (ingl *Net Present Value*).

Metoodilise juhendi kirjutamisel võeti osaliselt aluseks varem koostatud õppematerjal ainele „Energiahaldus elektri tarkvõrkudes“, koostajaks Argo Rosin. Juurde on lisatud aktuaalsed näited komponentidest ja lihtsustatud joonised tudengitele kergemini mõistetavaks tegemiseks.

4.1 HOMER Pro programmi tööpõhimõte

Mikrovõrkude optimeerimistarkvara HOMER Pro võimaldab teostada energiaallikate, salvestite ja koormustega võrkude majanduslikku tasuvust. HOMER Pro tarkvara abil saab analüüsida sidustalitlusega kui ka saartalitluslikke lahendusi. Selles optimeerimistarkvaras kasutatavad seadmed ja lahendused on:

-

- Energiallikad: PV-süsteemid, tuuleelektrijaamad, diisलगeneraatorid, bensiinigeneraatorid, biogaasigeneraatorid, elektrivõrk, hüdroelektrijaamad, biomassil töötavad elektrijaamad, mikroturbiinid, kütuseelemendid, muudel kütustel töötavad generaatorid.
- Energiasalvestid: hooratas, läbivooluakud, vesinik-energiasalvestid, eri liiki akud.
- Koormused: erinevad koormusprofiilid, nihutatavad koormused, soojust salvestavad elektrilised koormused, energiasäästulahendused jm.

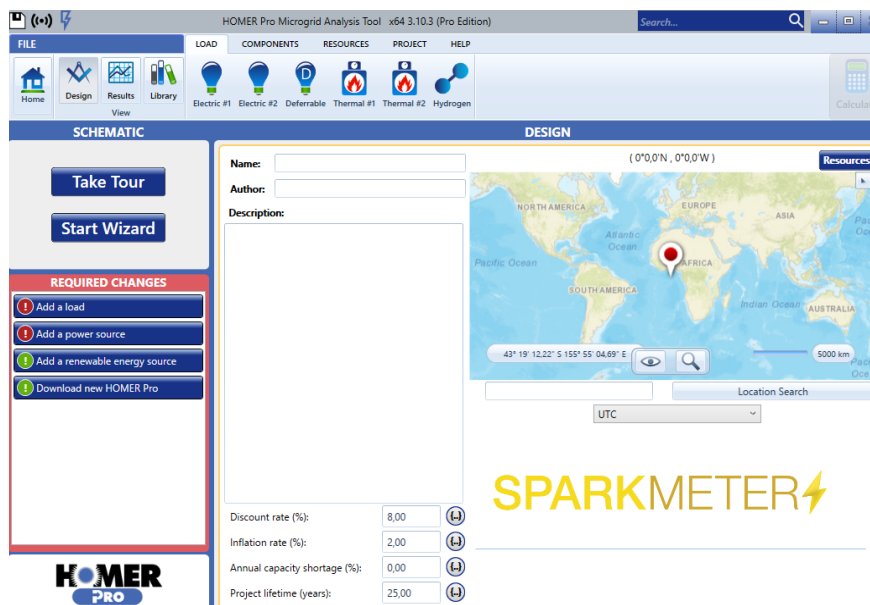
HOMER Pro simuleerib süsteemi tööd arvutades energia tootmise ja tarbimise tasakaalu iga tunni kohta aasta lõikes. Sealjuured arvutab süsteemi kuuluvate seadmete omavahelisi energiavooge. Energiasalvesteid või erinevatel kütustel töötavaid energiaallikaid sisaldava süsteemi kohta arvutab HOMER Pro tarkvara tarbimise iga tunni kohta tarbimise ja tootmise tasakaalu printsiibist lähtuvalt, kuidas juhtida toiteallikaid ja energiasalvesteid.

Andmeanalüüsi ehk simulatsiooni koostamise põhisammud on:

- 1) Ülesande või küsimuse püstitus, millele tarkvara saab aidata vastata;
- 2) Skeemi koostamine tarkvaras, mis sisaldab:
 - a) Koormusandmete sisestamine;
 - b) Komponentide sisestamine;
 - c) Ressursside andmete sisestamine;
- 3) Optimeerimistulemuste uurimine ja majanduslik analüüs. [41]

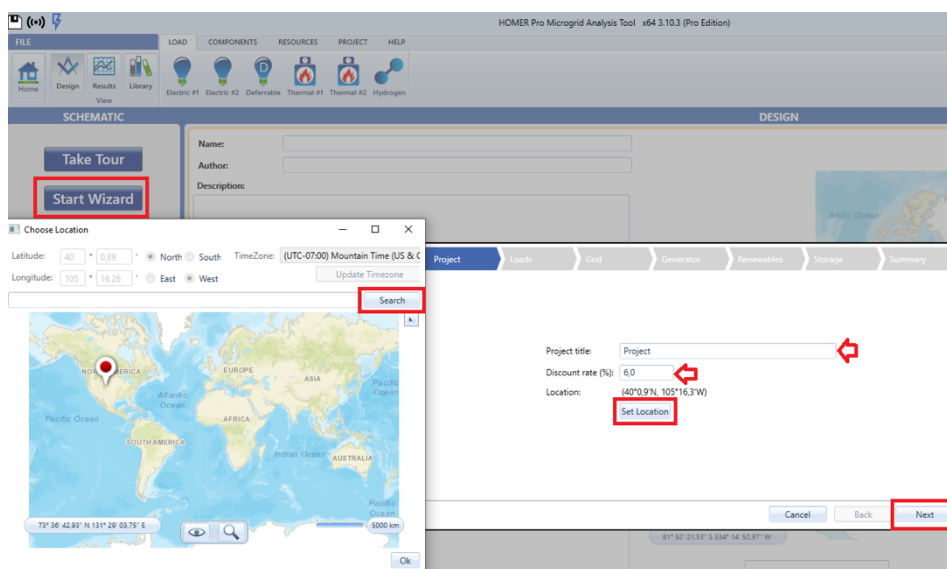
4.1.1 Rakenduse avamine ja projekti kiirkäivitamise visard

Kui lähteülesanne või probleem on püstitatud, saab asuda HOMER Pro tarkvara katsetama. TalTech ülikooli energeetikamaja arvutiklassidesse on installeeritud HOMER Pro tarkvara. Selle avamiseks arvuti *Desktop*-ilt leida ikoon HOMER Prox64. Peale klikkides avaneb rakendus (Joonis 15).



Joonis 15 HOMER Pro rakenduse avamine.

HOMER Pro tarkvaraga tutvumiseks on loodud sissejuhatavad slaidid, selleks tuleb klikkida ikoonile *Take Tour*, mis asub vasakul pool, *SCHEMATIC* tulbas. Seal selgitatakse veelgi täpsemalt, kuidas andmeid sisestada ja saadud tulemusi interpreteerida. Teine võimalus on klikkida *Start Wizard* ja asuda katsetama. HOMER Pro positiivseks küljeks on see, et analüüsimiseks sisestatavaid andmeid saab lihtsalt muuta ja kiirelt uued tulemused saada.



Joonis 16 *Project* aken.

Vajutades *Start Wizard*, avaneb *Project* aken (Joonis 16). Esimene lahter on mõeldud projekti nime jaoks. Seejärel diskontomäär, mille abil arvutatakse tulevased rahavood nüüdisväärtusesse. Mudel annab ette selleks 6%. *Set Location* nuppu klikkides avaneb

Choose Location aken, kus saab sisestada vajaliku aadressi lähtuvalt lähteülesandest. Trükkida asukoht, näiteks Tallinn, Estonia, klikkida *Search* ja seejärel *OK*. See sulgeb akna ja viib tagasi *Wizardi* aknasse, et sisestada koormuse andmed. Selleks vajuta *Next*.

Wizard annab ette 4 näidisprofili: *Residential* ehk elamu, *Commercial* ehk kaubanduslik, *Community* ehk ühiskondlik, *Industrial* ehk tööstuslik (Joonis 17).

Average daily load võimaldab muuta koormust. Programm annab automaatselt ette kWh/päevas väärtuse, aga seda saab muuta. Lisaks, saab valida hooajalise koormuse *None*, *January* või *July* tippkuu jaoks. Võimalus on see jätta *None* peale ehk siis ei arvesta mudel tippkuuga. Profiili muutmiseks klikkida *Residential*, sest see on programmi poolt antud automaatselt. *Grid* aknasse liikumiseks vajutada *Next*.

The screenshot shows the 'Loads' configuration screen. At the top, a navigation bar includes 'Project', 'Loads' (selected), 'Grid', 'Generator', 'Renewables', 'Storage', and 'Summary'. The main area contains the following elements:

- Average daily load (kW-h/day):** A text input field containing '11,13' with a lightbulb icon to its right.
- Peak month:** Three radio buttons labeled 'None', 'January', and 'July'. The 'None' button is selected.
- Profile:** A dropdown menu currently displaying 'Residential'.
- Load Profiles:** Four bar charts showing load profiles for 'Residential', 'Commercial', 'Community', and 'Industrial'. Each chart has 'Load (kW)' on the y-axis and a 24-hour cycle on the x-axis.
- Navigation:** At the bottom right, there are three buttons: 'Cancel', 'Back', and 'Next'. The 'Next' button is highlighted with a red rectangular box.

Joonis 17 *Loads* aken.

HOMER Pro võimaldab lisada võrgu energiaallikana (Joonis 18). Mudelisse saab võrgu lisaga klikkides kasti *I am connected to the Grid* ees. Seejärel saab muuta elektri hindu, nii müügi- kui ostuhindu. Tuleb võtta arvesse eelnevalt toodud fakt, et *HOMER Pro* ei muuda valuutat muutes sümboleid. Kui majanduslikku analüüsida tahta teha eurodes, siis tuleks siin lisada eurod, vaatamata dollari sümbolile. Edasiliikumiseks generaatori andmete sisestamiseks vajutada *Next*.

Joonis 18. *Grid* aken.

Wizard annab automaatselt mudelisse diisलगeneraatori, mille võimsus on 1,2 korda suurem kui tipukoormus (Joonis 19). Mudel võtab arvesse generaatori maksumust ja kütusehinda. Taaskord panna tähele, et valuuta sümbolid on dollarid. Kõiki sisestatud või algelt jäetud andmeid saab modifitseerida ka hiljem. Generaatori saab ka mudelist hiljem eemaldada.

Joonis 19. *Generator* aken.

Päikesepaneelid ja tuulegeneraator on koos *Renewables* (Joonis 20) aknas. Programm kaasab automaatselt mudelisse PV, kapitali maksumusega 3000 \$/kWh. HOMER laeb Internetist alla päikseressursi andmed, mis on sisestatud kohale omased. Edasi liikumiseks klikkida *Next*.

Joonis 20. *Renewables* aken.

Programm lisab mudelisse automaatselt aku *Generic 1kWh Lead Acid* (Joonis 21) koos maksumusega. Lahtrist saab valida sadakond erinevate akutüüpide hulgast sobiva. Kokkuvõtte saamiseks vajutada *Next*.

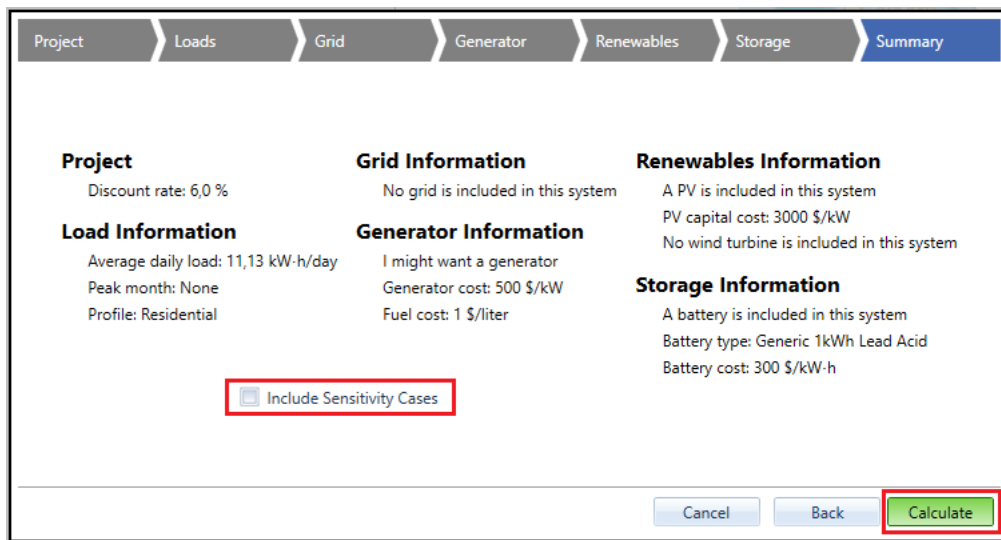
Joonis 21. *Storage* aken.

Viimane aken annab võimaluse üle vaadata, mis andmed sai sisestatud ja kas jäi midagi puudu mudeli koostamisel (Joonis 22). Mudelisse saab lisada ka tundlikkuse analüüsi, klikkides kasti *Include Sensitivity Cases* ees. See käivitab automaatselt täiendavad optimeerimised, kasutades sisendväärtusi, mis on teatud muutujate korral 50%

kõrgemad või madalamad. *Wizard* sisendmuutujad, mille jaoks tundlikkuse analüüs tehakse on:

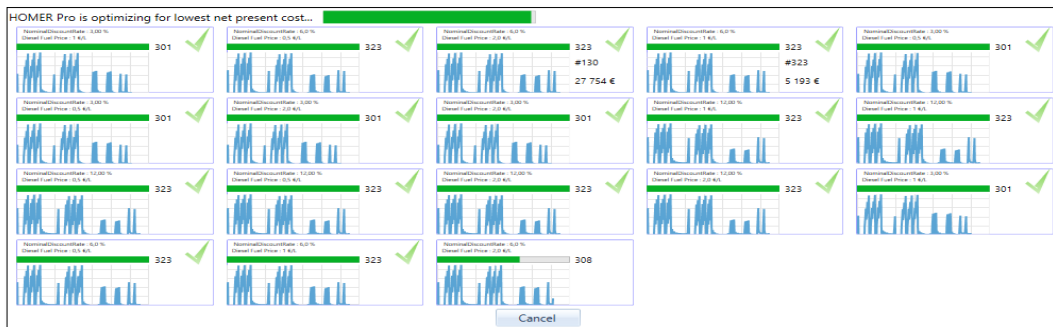
- Kütuse hind,
- Tuule kiirus (kui see komponent on valitud) või diskontomäär (kui tuulegeneraatorit ei ole kaasatud mudelisse).

Tulemuste saamiseks klikkida *Calculate*. Kuidas saadud tulemusi interpreteerida ja milliseid graafikuid on võimalik saada, selgitatakse järgmises peatükis.



Joonis 22. Summary aken

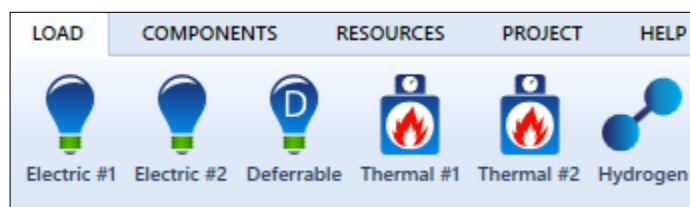
Kalkuleerimisnuppu vajutades võtab programm aega kuni paar minutit, et analüüsida muutujaid (Joonis 23).



Joonis 23. Tulemuste arvutamine

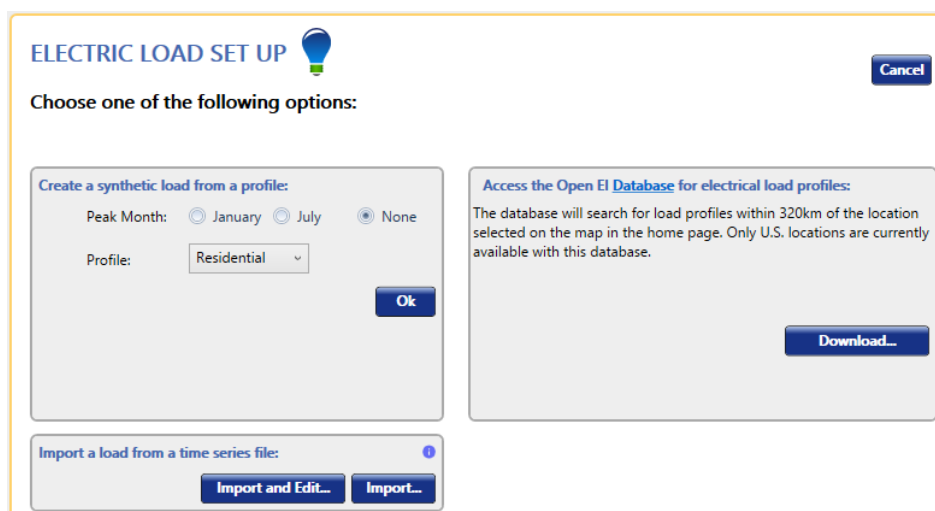
4.2 Koormuste menüü kasutamine

Koormuste menüü annab võimaluse lisada koormusi, kui mudel on loodud. Aknas (Joonis 24) on kuus komponenti, millest käsitletakse järgnevalt laboritöödeks vajaminevaid. Teiste kohta saab iseseisvalt uurida.



Joonis 24. Koormuste menüü.

Esmane koormus ehk *Primary Load* on elektriline koormus, mida süsteem peab koheselt täitma, et vältida täitmata koormust (Joonis 25). Igal ajahetkel saadab HOMER Pro süsteemi energiatootmise komponendid, et saavutada kogu esmane koormus. Edasilükatud koormused ehk *Deferrable load* on koormused, mis nõuavad teatud kogust energiat. Edasilükatud koormus on elektriline koormus, mis nõuab teatud aja jooksul teatud kogust energiat, kus täpne ajastus ei ole oluline. Tavaliselt klassifitseeritakse koormused edasilükatavateks, kui need on seotud ladustamisega. Tavaline näide on vee pumpamine, jää valmimine ja ladustamine. Baasandmed on 12 väärtuse kogum, mis esindavad iga kuu keskmist edasilükatavat koormust kilovatt-tundides (kWh/päevas). Keskmise edasilükatud koormuse kiirus, mille juures energia lahkuks edasilükatud koormuse mahutist. See on ka koguse võimsus, mis on vajalik hoidmaks taset mahutis konstantsena. [42]



Joonis 25. Elektrilise koormuse aken.

Soojuskoormus ehk *Thermal load* on nõudlus soojusenergia järele. Soojust võib vajada ruumi kütmiseks radiaatori kaudu (Joonis 26), vee soojendamiseks või mõneks tööstuslikuks protsessiks. Soojuskoormust saab toota katel või generaator, mille abil saab taaskasutada soojust või energiaüle jääki. Kui tahta, et soojuskoormust toodaks elektrienergia ülejääk, peab lisama soojuskoormuse regulaatori. [42]

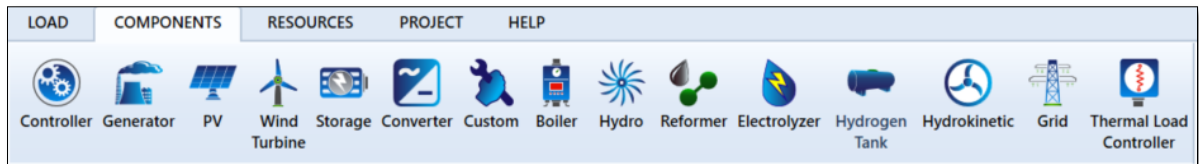
Vesiniku koormus ehk *Hydrogen load* tähistab välist nõudlust vesiniku järele. Seda nõudlust võib rahuldada elektrolüüs või *reformer*. Vesiniku koormuse määramiseks on samad võimalused kui esmase elektri koormuse kui ka soojuskoormuse puhul: tunni andmed sünteesida, sisestades igapäevaseid koormusprofiile või importides aegridade andmeid. Kasutajad, kes loovad nii vahelduvvoolu kui ka alalisvooluga koormuse või edasilükatud koormusega mudeleid, nagu pumpamine või HVAC, võivad kasutada moodulit *Advanced Load*. Täiustatud koormuse moodul koosneb teistest elektri koormustest ja edasilükatud koormusest. [42]



Joonis 26. Radiaator ja laelamp. [43], [44].

4.3 Komponentide menüü kasutamine

Eelmises peatükis selgitati, kuidas algandmeid saab ka hiljem muuta. Järgnevates alapeatükkides kirjeldatakse erinevate komponentide (Joonis 27) rolli HOMER Pro tarkvaras. Välja on toodud praktikumides rohkem käsitletavaid komponente, teiste kohta on võimalik uurida iseseisvalt HOMER Pro-s ja Internetist tootjate kodulehekülgedelt.

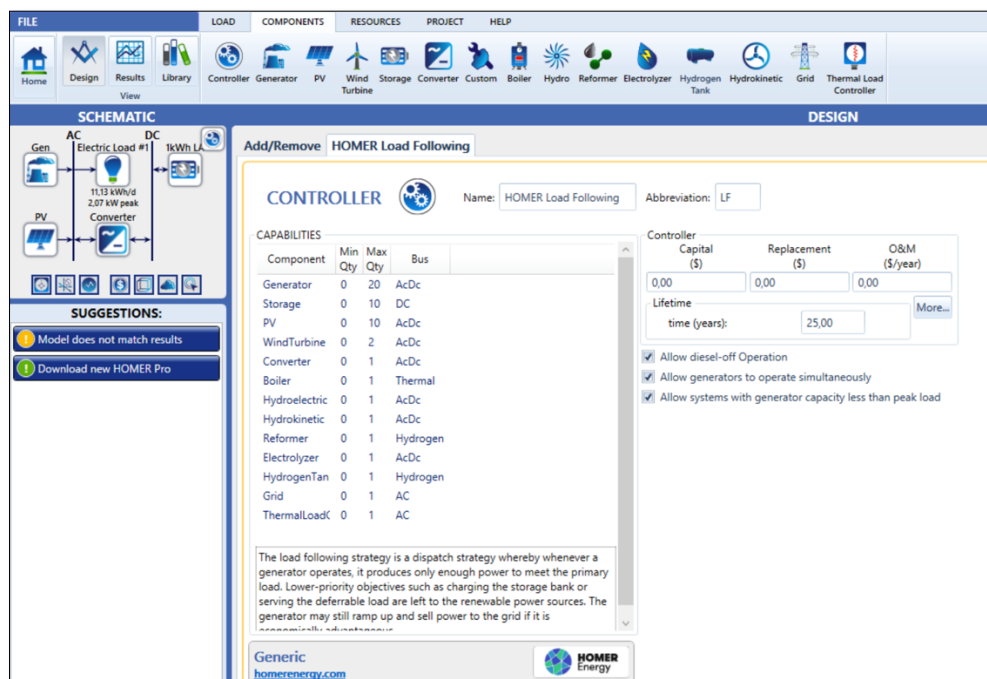


Joonis 27. Komponentide menüü.

4.3.1 Kontroller

Kontroller on komponent, millega saab määrata simulatsiooni läbiviimist. Mikrovõrgu kontrolleril on oluline roll mikrovõrgu automatiseeritud töö toimimiseks ja selle juhtimiseks, töötamaks nii saartalitusena kui ka sidustalitusena. Keskkontrolleril on hajutatud energiaressursside nõuetekohaseks koordineerimiseks mitu funktsiooni vastavalt nende energiatootmisvõimsusele kriitiliste ja mittekriitiliste koormuste teenimiseks. Selle otstarve on kaitsta mikrovõrgu stabiilsust ja töökindlust lühise või muu rikke ilmnemise korral. [45]

HOMER Pro tarkvaras saab valida juhtimistarkvarade vahel või see ise kirjutada Matlabis. Tarkvara siseselt saab kasutada järgmisi juhtimisstrateegiaid: koormuse järgimine (*Load Following*), tsükliline laadimine (*Cycle Charging*), kombineeritud juhtimine (*Combined Dispatch*) ning generaatorite järjestatud juhtimine (*Generator Order*). Nende kohta täpsemalt saab uurida HOMER Pro tarkvarast (Joonis 28). [42]



Joonis 28. Kontrolleri vaheaken *Load Following*.

4.3.2 Generaator

Kuna kaugemates kohtades puudub elektrivõrgu infrastruktuur, kuid energiavajadus on, tuleb rakendada energiavajaduse rahuldamiseks paindlikke seadmeid. Diislegeneraatoreid kasutatakse laialdaselt piirkondades, kus elektrienergia ei ole stabiilne või puuduv üldse. Generaatoreid kasutatakse peamise toiteallika lisana või peamise toiteallikana. Samuti ka varuallikana haiglates, ärihoonetes, tootmisüksustes ja mitmetes rakendustes. Diislegeneraatori kõrge kasutusele võtu üks peamisi põhjuseid globaalsel generaatorite müügiturul on selle kõrge kasutegur, madal hooldusvajadus, kõrge tööiga ja madalad kütusekulud. [46]

Populaarseimad generaatorite tootjad, kelle generaatoreid saab ehituspoodidest osta on Honda, Ryobi, Generac, Champion, Briggs & Stratton. Neid on erineva kuju ja suurusega (Joonis 29).



Joonis 29. 2000W generaatorite näited. [47]

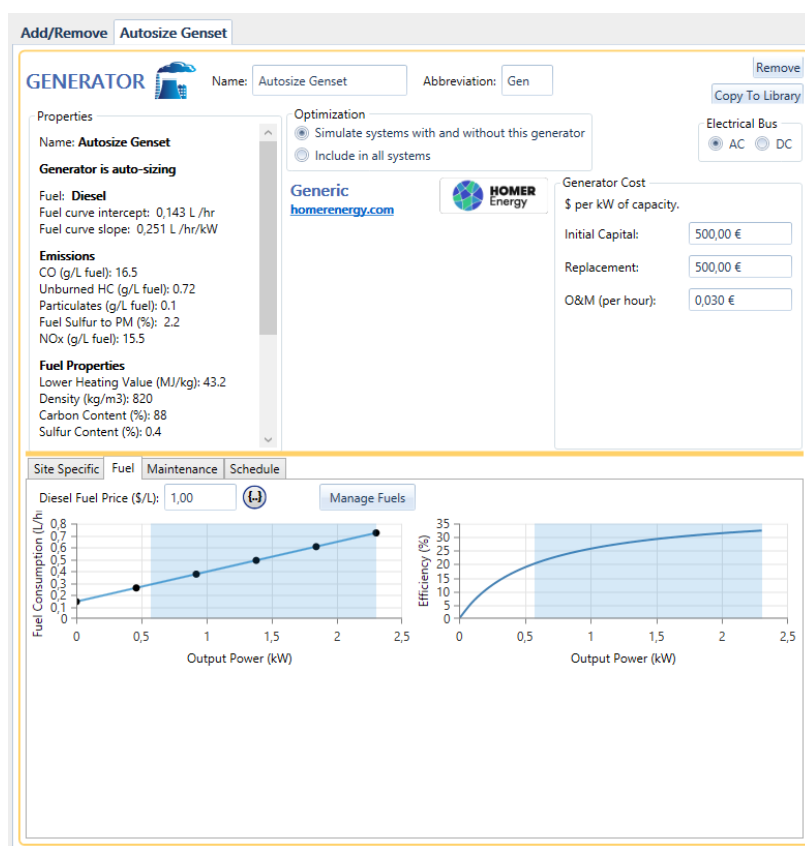
Koduomanikud saavad enamiku kodumasinade toiteallikana kasutada 3000-6500 W generaatorit. Suuresti sõltub see kas soojus tuleb elektrist, soojuspumbast või gaasist. [48]

Kui räägitakse generaatorite võimsusest, siis mõeldakse nimivõimsust. Nimivõimsuseks (ingl *Rated Power*) nimetatakse võimsust, mida generaatori suudab pikka aega toota. Tavaliselt 90% maksimaalsest võimsusest. Lisaks, maksimaalne võimsus (ingl *Maximum Power*) on maksimaalne võimsus, mida generaator suudab toota. See on kättesaadav kuni 30 minutit. Generaatorite rakendused jagunevad üldiselt kolmeks:

- Kodune kasutus (st avariitoide)
- Meelelahutuslik kasutus (nt haagissuvilates, telkides, paatides jm)
- Tööstuslik kasutamine. [48]

Generaatori aknas on võimalus sisestada maksumus, võimsus, kütuse kasutamisega seotud parameetrid, kasutegur, emissiooni tegurid, hoolduskulu, hooldusintervall, katkestuste kestus jm. (Joonis 30). [42]

Nõrkade võrkude, samuti mikrovõrkude, töökindluse suurendamiseks kasutatakse tihti generaatorit. HOMER Pro tarkvaras generaatori aknas (Joonis 30) saab sisestada maksumuse, võimsuse, kütuse kasutamisega seotud parameetreid, kasuteguri, emissiooni andmeid, hoolduskulu, hooldusintervall, katkestuste kestus ja muud. Investeeringud, hooldus ja käidukulud maksumuse tabelis sisestada sõltuvalt võimsusest. Näiteks 40 kW generaatori maksumus oleks 20 000 €, asenduskulu eluea lõppedes on 16 000 € ning hooldus ja käidukulu on 0,6 € tunnis. [42]



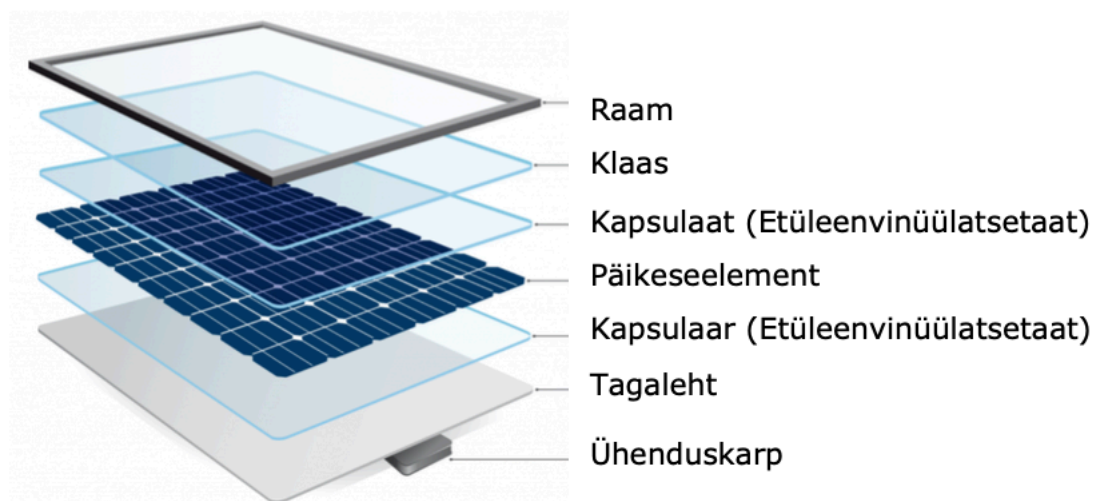
Joonis 30. Generaatori aken.

4.3.3 Päikesepaneelid

PV- süsteemid (ingl *Photo Voltaic*) on fotoelektrilised süsteemid, mis kasutavad paneele, kus valgus muundatakse elektriks. Need süsteemid koosnevad ühest või enamast PV-paneelist (Joonis 31), DC/DC või DC/AC. Lühend DC tuleneb ingliskeelsest sõnast *direct current* ja tähistab alalisvoolu, lühend AC tuleb ingliskeelsest sõnast *alternating current* ning tähendab vahelduvvoolu. Lisaks on süsteemis muundur, paneelide

paigalduskonstruktsioon ja elektriline ühendus. Projekteerimisel lähtutakse sellest, et oleks võimalik tagada maksimaalne elektritoodang. Fotoelektriliste päikesepaneelide seas eristatakse kahte gruppi – kristall- ja õhukesekilelised paneelid. Esimese grupi näideteks on mono- (Mono-Si) ja polükristallpaneelid (Poly-Si) ja teise kuuluvad amorfsed räni (a-Si) ja õhukesekilelised vask-indium-seleen paneelid (CIS). [41]

Päikesepaneelide kasutatakse nii päikeseelektrijaamades kui ka hoonete kujunduselementidena, näiteks aatriumites ja fassaadidel. Kaablitest ja inverteritest tulenevad kaod PV-süsteemides on umbes 14%. Lisaks tuleb arvestada temperatuurist ja kiirguse peegeldumisega seotud kaod ning need jäävad 6-12% vahele ning sõltuvad PV-elementide tüübist. Suurimad käidukulud on enamasti hübriidsüsteemidel. Käidu- ja hoolduskulud on ligikaudu 1% kapitalikuludest, *repair-cost* ligikaudu 10%. [41]



Joonis 31. Päikesepaneeli struktuur. [49]

Lisas 2 on väljatoodud 2019. aasta parimad päikesepaneelide tootjad 2019. aastal. [50]

Eestis jõuab maapinnale keskmiselt 969 kWh/m² päikeseenergiat aastas ühe ruutmeetri kohta. Oletades, et PV-elementi kasutegur on 15%, siis aastane saadav energiahulk oleks 145 kWh/m². Päikesepaisteliseim koht Eestis on Saaremaal Roomassaares, päikesepaiste kestust 2011. aastal oli 2440 tundi. Kõige vähem päikesepaisteliseim koht 1977. aastal oli Raplamaal Kuusikul – 1124 tundi. Pikaajalised vaatlused näitavad, et kesk-Eestis on vähim päikest, saartel ja rannikualadel enim. [51]

Laboritöö jaoks on võimalik saada pakkumisi erinevatelt ettevõtetelt, paneelide tehnilistelt andmetest ja maksumustest. Lisas 3 on näidis müügipakkumisest Taastuvenergia OÜ-lt koos paigaldatava inverteri ja päikesepaneelidega.

PV süsteemi aknas (Joonis 32) HOMER Pro-s saab sisestada selle maksumusi, kaldenurkasid, asimuuti ehk suunda lõuna suhtes ning kasutegurit. Programm annab ette erinevaid võimsusi, et leida optimaalse suurusega PV-süsteem. Kulutabelisse saab lisada soetuskulu, asenduskulu ning käidukulu (hooldus- ja remondikulu). Võimalus on määrata, kas paneelid on ühendatud alalis- või vahelduvvoolusiinile. Alalisvoolusiini korral on võimalik seadistada MPPT ehk *Maximum Power Point Tracker* parameetrid.

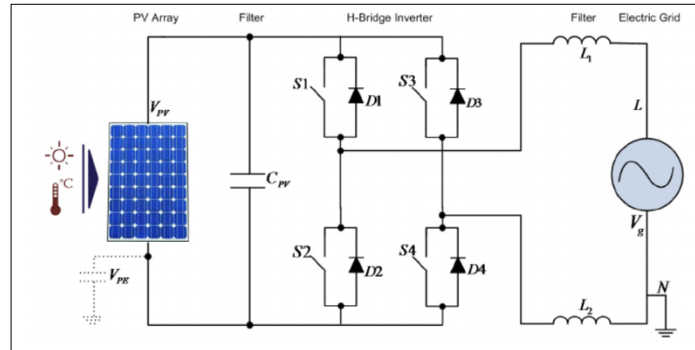
Joonis 32. PV-süsteemi aken.

4.3.4 Muundur

Kuna päikesepaneelid toodavad alalisvoolu elektrit, tuleb see muuta meie kodudes ja ettevõtetes kasutamiseks vahelduvvooluelektriks, mis on päikeseenergia muunduri

(Joonis 33) peamine roll. Muundursüsteemis ühendatakse päikesepaneelid järjestikku ja alalisvoolu elekter viiakse ühe muunduri külge, mis muundab alalisvoolu vahelduvvooluks. Mikroinverteri süsteemis on igal paneelil on mikroinverter, mis on kinnitatud paneeli tagaküljele. Paneel toodab endiselt alalisvoolu, kuid see muundatakse katusel vahelduvvooluks ja juhitakse otse elektrikilpi. Samuti on olemas ka keerukamad string-invertersüsteemid, mis kasutavad väikeseid võimsuse optimeerijaid, mis on kinnitatud iga paneeli tagaküljele. Toite optimeerijad saavad iga paneeli eraldi jälgida ja juhtida tagamaks iga paneeli maksimaalse efektiivsuse iga tingimuse juures. [52]

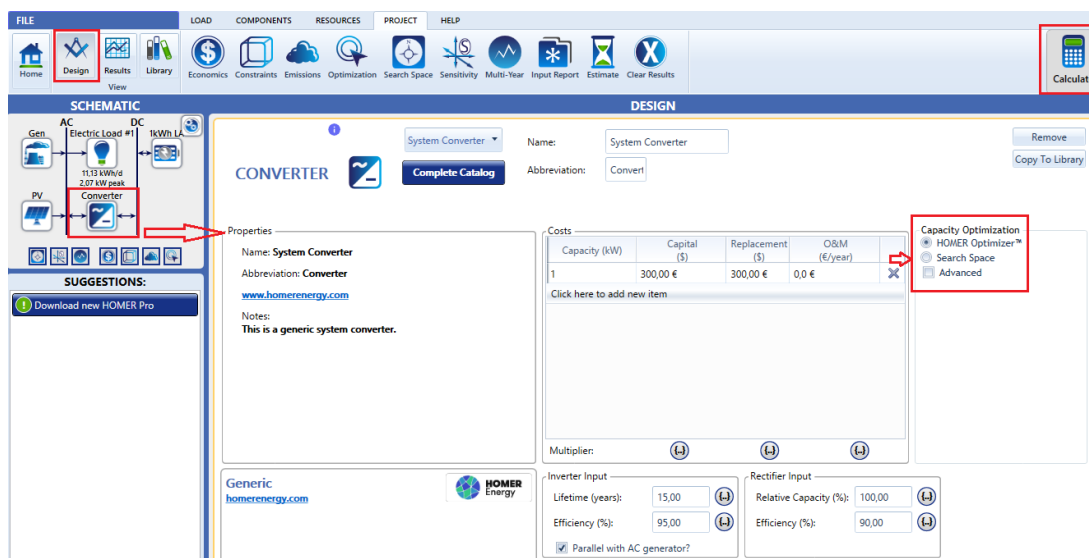
Tavalises võrguühendusega päikese süsteemis saadetakse päikeseenergia muunduri vahelduvvoolu elektrienergia jaotuskilpi, kus see tõmmatakse elamu või ettevõtte hoone erinevatesse vooluringidesse ja seadmetesse, mis vajavad vahelduvvoolu elektrit. Päikese süsteemi tekitatud liigne elekter saadetakse kas energiaarvesti kaudu elektrivõrku või hoitakse akusalvestussüsteemis, kui on tegemist hübriidsüsteemiga. Hübriidsüsteemid võivad nii liigset elektrienergiat eksportida kui ka liigset energiat akusse salvestada. Mõni hübriidmuundur võib olla ühendatud ka spetsiaalse varuklemmiga, mis võimaldab võrgu katkestuse või elektrikatkestuse ajal toita mõnda olulist vooluahelat või kriitilist koormust. [52]



Joonis 33. Üldine muunduri skeem. [53]

Mikrovõrk, kus on vahelduv- ja alalisvoolul töötavaid seadmeid, peab sisaldama muundurit. Muunduri komponendi aknas (Joonis 34) saab lisada seadmega kaasnevad kulud ning alaldile või vaheldile parameetreid. Aknas „Converter“ saab määrata konverteri kulud ja määrata inverter- ja alaldi parameetrid. Kulude tabel sisaldab konverteri algkapitali kulusid ja asenduskulusid, samuti iga-aastaseid töö- ja hoolduskulusid. Kapitali ja asenduskulude kindlaksmääramisel lisada kindlasti kõik konverteriga seotud kulud, seal hulgas paigaldus. [42]

Näiteks, kui tahta muuta *Converter*-i informatsiooni, tuleb klõpsata *Design* ikoonile. Ekraanile tuleb *SCHEMATIC* topoloogia lahter, kus klõpsates *Converter*-i peale, avaneb valitud komponendi informatsioon käsitletavas mudelis (Joonis 34). Kui aga tahta komponenti eemaldada, on selleks *Remove* nupp. Komponenti lisamiseks klõpsata nupul *Add Component*. Kui andmed muudetud, siis uute graafikute ja tabeli jaoks on vaja vajutada *Calculate* paremas ülemises nurgas. Võimalus on ka mitte kasutada HOMER Optimizer™-i. Selleks tuleb klõpsata paremal lahtrit *Search Space* ja sisestada väärtus, programm laseb *Converter*-i korral sisestada ainult 6 kW või 9 kW, sest optimaalne suurus on lähedane kaheksale.



Joonis 34. Muunduri aken.

4.3.5 Boiler


Boiler ehk katel on suletud anum, milles kuumutatakse vett või muud vedelikku, tekitatakse aur või ülekuumendatud aur või kombinatsioon rõhu või vaakumi abil enda jaoks välispidiseks kasutamiseks energia saamiseks otse elektrienergia või tuumaenergia kütuste põletamine. Katel on elektrijaamade globaalse küttesüsteemi peamine osa. [54]

Boileri süsteem jaguneb kolmeks:

1. Toitevee süsteem – annab katlale vett ja reguleerib seda automaatselt auruvajaduse rahuldamiseks. Vesi, mis on katlas töödeldud, nimetatakse toiteveeks.
2. Aurusüsteem – kogub ja kontrollib katlas tekkivat auru. Aur suunatakse torustikusüsteemi kaudu kasutusse. Kogu süsteemis reguleeritakse aururõhku ventiilide abil ja kontrollitakse auru manomeetritega.

3. Küttesüsteem – sisaldab kõiki seadmeid, mida kasutatakse kütte saamiseks vajaliku soojuste tootmiseks. Küttesüsteemis nõutavad seadmed sõltuvad süsteemis kasutatava kütuse tüübist. [55]

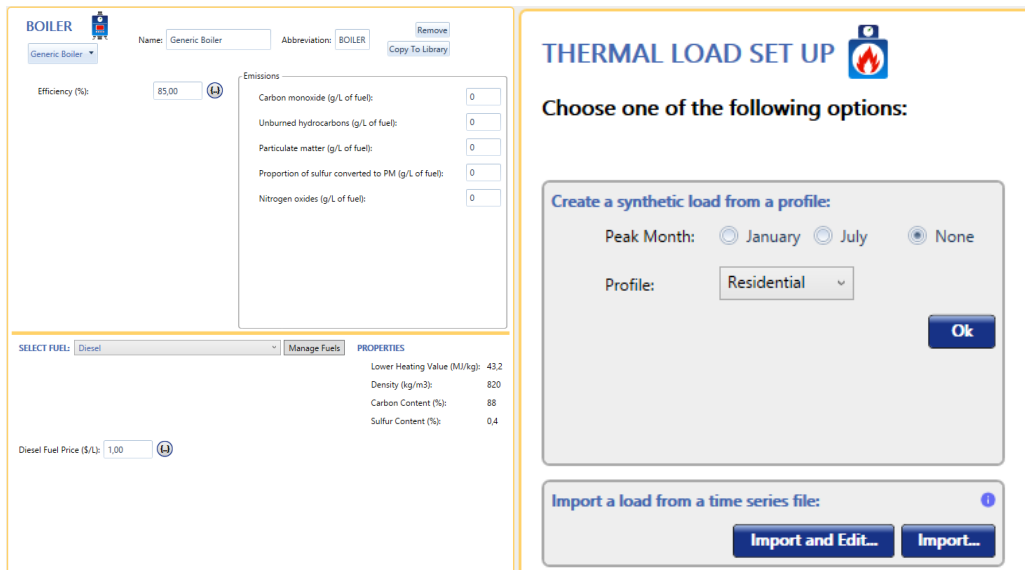
Boileri valikul tuleb lähtuda tarbimisvajadusest. Näiteks nõudepesuks kulub 10-15L boilerit, duši all käimiseks 30L [56]. ENERGY STAR on valitsuse toetatud sümbol, mis annab sertifikaate energia efektiivsuse vaatepunktist. Kõige tõhusamad 2019. aastal ENERGY STAR sertifikaadiga boilerid on Joonis 35.

	BAXI Luna DUO-TEC Series					
	Features: Modulating condensing boilers. Available in Central Heating- 1.33GA, 1.48GA (125, 164 MBH) & Combi- 40GA, 60GA (150, 205 MBH). DHW flow rate 3.9, 5.0 GPM @ 70°F ΔT./td>					
Controller: THINK combustion management system. Two buttons to set up boiler. Technology recognizes Natural or LP & continuously monitors combustion as well as adjusting gas and air flow./td>						
Model Number	Capacity (MBtu/hr)	AFUE	Annual Gas Use (MMBtu)	Annual Cost (National Average)*	Lifetime Cost to Operate**	% Savings over Federal Minimum
LUNA DUO-TEC 40 GA	125.9	95	113	\$1,187	\$23,730	19%
LUNA DUO-TEC 1.33 GA	125.9	95	113	\$1,187	\$23,730	19%
LUNA DUO-TEC 60 GA	164	95	164	\$1,722	\$34,440	19%
LUNA DUO-TEC 1.48 GA	164	95	1648	\$1,722	\$34,440	19%

Joonis 35. 2019. aasta tõhusamad boilerid. [57]

Boileri komponendi aknas (Joonis 36) saab määrata boileri tõhusust, kütuse liiki, kütuse hinda ja emissioone. HOMER Pro tarkvaras on soojuskoormus, võrreldes elektrilise koormusega, sekundaarne. Sellest tulenevalt on boiler soojuste varutoiteallikas, varustamiseks igal ajal vajaliku soojuskoormuse. [42]

Soojuskoormuse juhtseadme ehk *Thermal Load Controller* ülesandeks on osaleda soojuskoormust katta, kasutades selleks tootmisest üle jäävat toodetud elektrit. Kui mudelist soojuskoormuse juhtseade välja jätta, siis üle toodetud elektrit soojuste tootmiseks ei kasutata. Komponenti aknas saab määrata, kas toide tuleb alalis- või vahelduvvoolu siinilt. Nagu ka teistel komponentidel, saab soojuskoormuse juhtseadmele saab ette anda eluea, investeerimiskulud, asendamiskulud ning käidu- ja hoolduskulud. [42]



Joonis 36. Boilери ja soojuskoormuse juhtseadme aken.

4.3.6 Elektrivõrk

Võrgukomponenti (ingl *Grid Component*) võib lisada nagu iga komponenti (Joonis 37). Seda ei saa käsitleda võrguühendusega süsteemi analüüsimisel. Võrgu komponenti saab kasutada järgnevateks olukordadeks:

- Lihtsate tariifide ehk *Simple Rates* seadistamisel määratakse konstantne elektri hind, elektri võrku tagasimüügi hind ning müügimaht.
- Reaalaja tariifidega ehk *Real Time Rates* seadistuse korral saab anda tekstifailiga ette tunnipõhised elektri hinnad.
- Ajastatud tariifidega ehk *Scheduled Rates* seadistus on selline, mille korral saab päeva eri kellaaegade ja kuude lõikes määrata erinevad hinnad.
- Võrgu laiendus ehk *Grid Extension* seadistamisel saab võrrelda optimeerimisel võrguühendusega lahendust erinevate võrguühendusega lahenduste topoloogiatega. [42]

Seadistades võrku, on veel lisavõimalusi. Näiteks on võimalik seadistada töökindluse parameetreid reaalaja või ajastatud tariifi valikul, kui on teada, et võrgus esineb võrgukatkestusi tihti. Mudelis on võimalik arvestada ka erinevate emissioonidega (g/kWh) (Joonis 38).

Joonis 37. Võrgu komponendi aken.

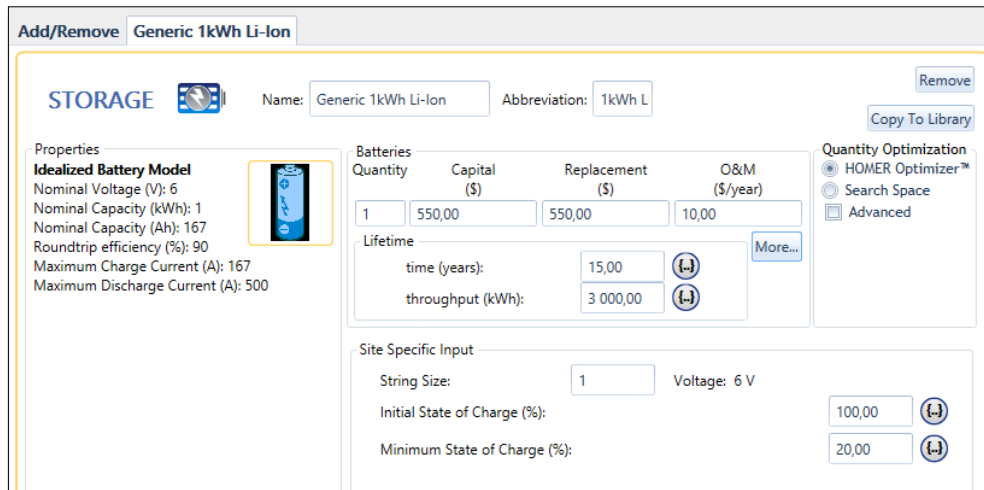
Parameter	Value
Carbon Dioxide (g/kWh)	632,00
Carbon Monoxide (g/kWh)	0,00
Unburned Hydrocarbons (g/kWh)	0,00
Particulate Matter (g/kWh)	0,00
Sulfur Dioxide (g/kWh)	2,74
Nitrogen Oxides (g/kWh)	1,34

Joonis 38. Emissionide lisamise tabel võrgu komponendis.

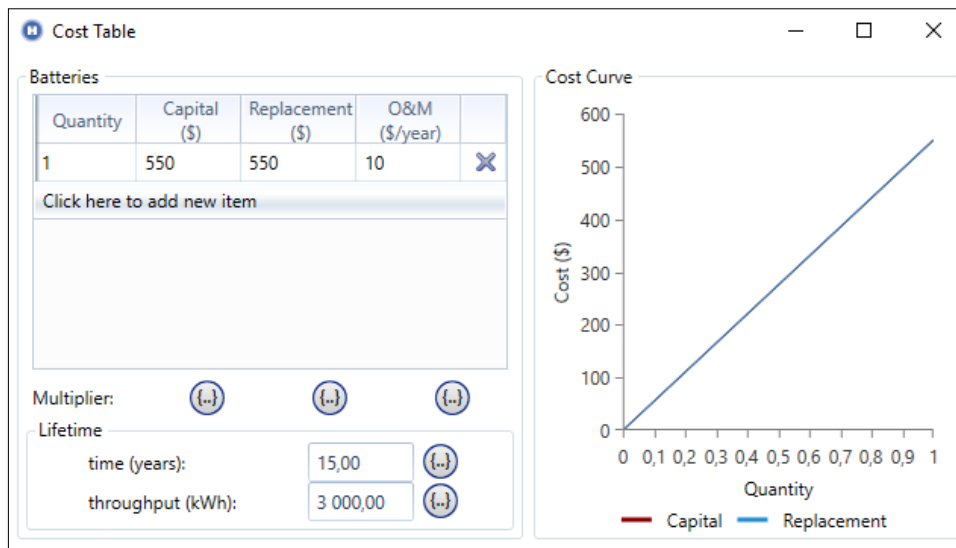
4.3.7 Energiasalvestid

Energiasalvestid jagunevad elektrokeemilisteks, mehaanilisteks, keemilisteks ja soojussalvestiteks. Akupatarei energiasalvesti ehk *Storage* komponendi (Joonis 39) all on võimalik valida plii või Li-Ion akupatareide, hoortasenergiasalvesti, läbivooluakude, ülikondensaatorite või pump-hüdroelektrijaama vahel. Salvesti valikul tuleb ka määrata salvestuselementide kogus, investeeringu ja käidukulud ning eluea pikkus lahendusele (Joonis 40). [42]

Erinevate akude maksumus energiaühiku kohta, sisaldades eluiga, on väljatoodud Tabelis 1.



Joonis 39. Storage komponent.



Joonis 40. Energiasalvesti omaduste määramine.

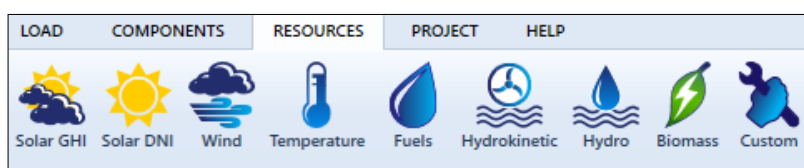
Tarkvõrkude energiasalvestite ja -seadmete hindade alanemine oleks suureks ajendiks mikrovõrkude suuremal globaliseerumisel. Seadmete hindade odavnemine teeb laiemalt mikrovõrkude kasutuselevõtu kättesaadavamaks ja majanduslikult tasuvamaks suurtematel juhtudel kui varasemalt. Samas on juba märgata, et päikeseenergia tootmise kulud vähenevad kiirelt – ühe megavatt-tunni päikeseenergia tootmiseks kulub kaasaegsete analüüside kohaselt 50 dollarit. Seevastu kivisöe tootmine maksab 102 dollarit MWh kohta. See muutus võib olla märgiks, et maailm on energiarevolutsiooni äärel. [7]

Tüüp	Mahutavus (tühjendamis- periood), kWh	Eluiga, tsüklites	Tühjendamis- sügavus DoD, %	Mooduli maksumus, €	Salvestamise maksumus, €/kWh
AGM akud (suletud pliiakud, elektrolüüdiga immutatud klaaskiud)					
Winner Proteus 12V 200Ah	2,4	1500	30%	388	0,359
Winner Proteus 12V 100Ah	1,2	1500	30%	208	0,385
GEL akud (suletud geeltüüpi pliiakud)					
Winner 12V 200Ah	2,4 (C10)	1800	30%	479	0,370
Winner 12V 100Ah	1,2 (C10)	1800	30%	278	0,429
LiFePO4 akud (liitium-ioon akud)					
PYLONTECH 48V - 9,6 kWh	9,6	6000	80%	6469	0,140
PYLONTECH 48V - 2,4 kWh	2,4	6000	80%	1689	0,147
OPzS akud (ülejutatud pliihappeakud)					
Winner Solar 2V 4520	54,24 (C100)	5000	30%	10140	0,125
Winner Solar 2V 1800	21,6 (C100)	5000	30%	4374	0,135
OPzV akud (toruja plaatkonstruktsiooniga geel-tüüpi ventiilreguleeritavad pliihappeakud)					
Winner Solar 2V 3900	46,8 (C100)	5500	30%	9414	0,122
Hoppecke 20 sunpower VR L 2900	34,8 (C100)	5600	30%	7788	0,133
Akukomplekt					
Hoppecke sun powerpack classic 22.0/48 (OPzV)	22 (C10)	2500	50%	5598	0,204
Hoppecke sun powerpack classic 16.0/48 (OPzV)	16 (C10)	2500	50%	4798	0,240

Tabel 1. Akude maksumus energiaühiku kohta. [23]

4.4 Taastuvate energiaressursid menüü kasutamine

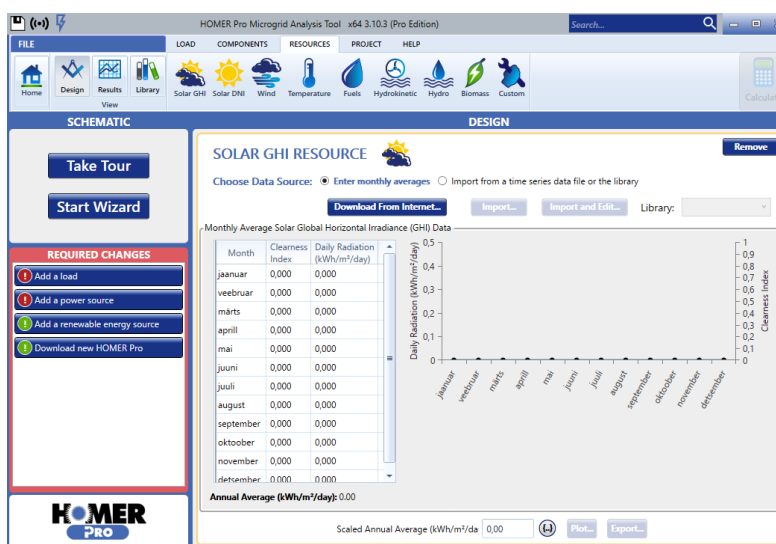
Mudeli koostamisel on olulisel kohal ressursside andmete sisestamisel. Ressursside aastaseid andmeid saab sisestada päikesekiirguse, tuule, hüdroenergia ja kütuse komponentide kohta (Joonis 41).



Joonis 41. Taastuvate energiaallikate menüü.

Solar Global Horizontal Irradiation (Solar GHI) ehk horisontaalpinnale langev summaarne päikesekiirgus, mida kasutatakse PV-paneelide väljundvõimsuse arvutamiseks. Otsese kiirguse ehk *Solar DNI*, hajuskiirguse ja peegeldunud kiirguse summa moodustab horisontaalpinnale langeva summaarne päikesekiirguse. Päikeseressursi määramine tingib selle, et on vaja teada objekti asukohta. Andmeid saab sisestada ise või lasta programmil need Internetist laadida. Simulatsiooni tuleb sisestada aasta pikkune aegrida keskmistest päikesekiirguse andmetest, ühikuks kWh/m². Kontsentraatoriga PV-paneelide süsteemide arvutustes tuleks kasutada otsese

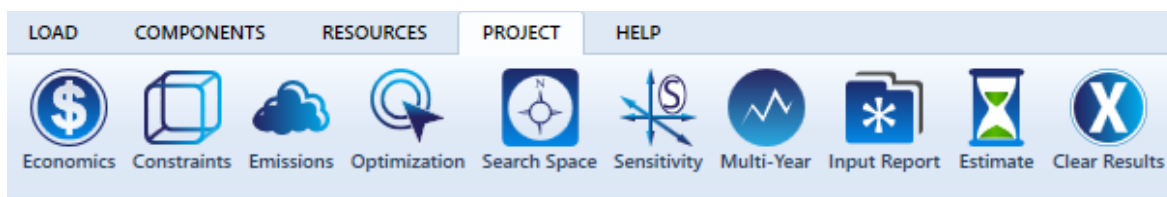
normaalpinnale langeva päikesekiirguse andmeid. Otsese kiirguse aknas (Joonis 42) ise andmete lisamiseks saab algandmeid Keskkonnaagentuurist, Andmeid saab päringuna Ilmateenistuse koduleheküljelt, tellimisvormi kaudu või e-postiga. Õppe- ja teadustöök kasutatavat infot väljastatakse tasuta. Teistel juhtudel koostatakse arve. [42]



Joonis 42. Solar DNI aken.

Lisas 4 on välja toodud päring Tallinn-Harku meteoroloogia jaama päikesepaiste kestuse andmetest, mida saab kasutada ka laboritöodes.

4.5 Projekti menüü ja tulemuste analüüsimine



Joonis 43. Projekti menüü.

Projektimenüü koosneb kümnest komponendist (Joonis 43). Menüül komponentidele klikkides avaneb järgnevate tegevuste valikud:

Economics (Joonis 44) ehk majanduslik komponent. Seal on võimalik seadistada diskonto nimiväärtus (*Nominal discount rate*) ehk laenuintress protsentides, eeldatav inflatsioon (*Expected inflation rate*) ehk projekti eluea jooksul eeldatav inflatsiooni määr protsentides. Projekti eluiga (*Project lifetime in years*) ehk projekti netokuluks arvutusse

minevad aastad. Süsteemikapitali kulu ehk investeeringukulu (*System fixed capital cost*) on investeeringukulu rahaühikus, mis tuleb sõltumata süsteemi topoloogiast või suurusest teha. Süsteemi käidu- ja hoolduskulud (*System fixed O&M cost*) on süsteemi käidu- ja hoolduskulud aastas, mis tuleb arvutada sõltumata süsteemi suurusest või topoloogiast. Võimsuse puudujäägi trahv (*Capacity shortage penalty*) on trahv, mis määratakse võimsuse puudujäägi alusel, esitatakse rahaühikutes energiaühiku kohta. HOMER Pro eripära on see, et see ei konverteeri valuutasid, mis tähendab seda, et programm kasutab sama numbrilisi väärtusi, nagu sümbol on ette andnud. Et majandusanalüüsi tulemused saada eurodes (€), tuleks kontrollida *Economics* aknas (Joonis 44), et *Currency* on vastav. Andmeid sisestades olla teadlik, et sümbolid HOMER Pro's on endiselt dollarites, aga sisestada tuleb eurod.

The screenshot shows the 'ECONOMICS' window in HOMER Pro. It features a title bar with a blue 'ECONOMICS' label, an information icon, and a dollar sign icon. Below the title bar, there are several input fields with numerical values and up/down arrows:

- Nominal discount rate (%): 8,00
- Expected inflation rate (%): 2,00
- Project lifetime (years): 25,00
- System fixed capital cost (\$): 0,00
- System fixed O&M cost (\$/yr): 0,00
- Capacity shortage penalty (\$/kWh): 0,00

To the right of these fields, the 'Real discount rate (%)' is displayed as 5.88. At the bottom, there is a 'Currency' dropdown menu currently set to 'Euro (€)'.

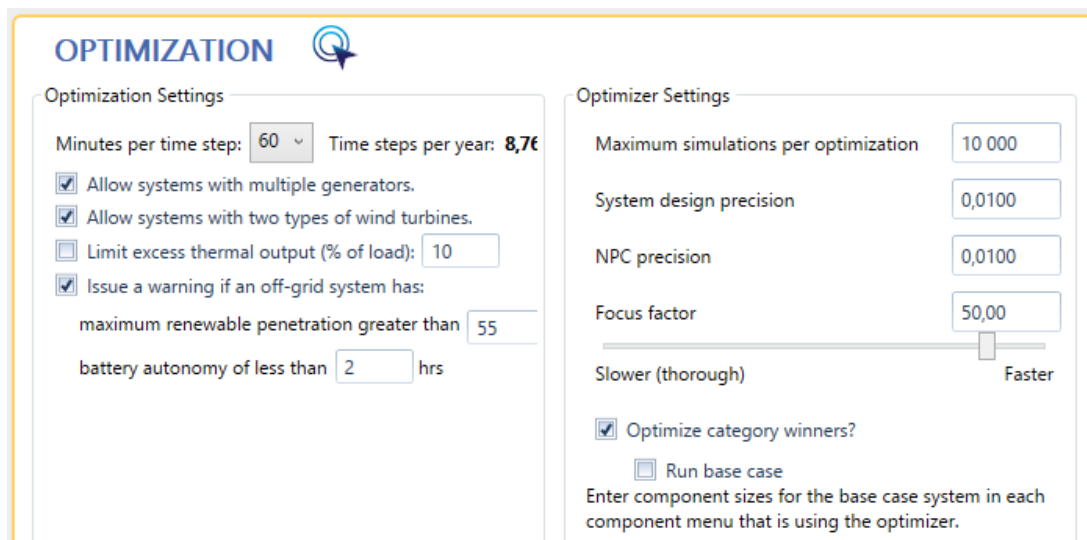
Joonis 44 *Economics* aken.

Emissions (Joonis 45) ehk emissiooni komponent. Seal aknas saab määrata heitmete trahve, mis rakendatakse teatud väärtuste juures. Määrates mõne emissiooni trahv, mis on nullist erinev, lisab HOMER Pro selle kulu energiasüsteemi aastakulusse. Näiteks, lisades programmi CO₂ emissiooni trahviks 20 eurot tonni kohta ning teades, et energiasüsteem emiteerib aastas 100 tonni CO₂, siis lisandub süsteemi aasta kogukuludele 2000 eurot. Trahvi on võimalik määrata kuuele erinevale emissioonile, igale ühele erinevad näidud. Analüüsi ehk tundlikkusstsenaariumi käigus saab vaadelda majanduslikku tasuvust parameetrite erinevate väärtuste korral. Oluline on määrata parameetrid süsteemi, kui kasutatakse erineva emissiooniga generaatoreid leidmaks sobiv osakaal eri seadmete töös. Trahvi on võimalik määrata emissioonidele nagu süsihappegaas, vingugaas, põlemata süsivesinikud, tahked osakesed õhus, vääveldioksiid ja lämmastikdioksiid. Neile emissioonidele saab piirväärtuste osas määrata erinevaid tundlikkusstsenaariumeid. Heitmete piirväärtused tuleb lisada kilogrammides aasta kohta. [42]

EMISSIONS	
Emissions Penalties	
Carbon dioxide (\$/t):	0,00
Carbon monoxide (\$/t):	0,00
Unburned hydrocarbons (\$/t):	0,00
Particulate matter (\$/t):	0,00
Sulfur dioxide (\$/t):	0,00
Nitrogen oxides (\$/t):	0,00
Limits on Emissions	
<input checked="" type="checkbox"/> Carbon dioxide (kg/yr):	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> Carbon monoxide (kg/yr):	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> Unburned hydrocarbons (kg/yr):	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> Particulate matter (kg/yr):	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> Sulfur dioxide (kg/yr):	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> Nitrogen oxides (kg/yr):	0,00

Joonis 45. *Emissions* aken.

Optimization (Joonis 46) ehk optimeerimiskomponent. See komponent annab võimaluse kontrollida, kuidas HOMER Pro tarkvara leiab optimaalseima lahenduse. Komponenti aken on jaotatud kaheks - *Optimization Settings* ehk seadmete osa ning *Optimizer setting* ehk optimeerija seaded. Optimeerimiskomponenti aknas simulatsiooni samm on aja samm, mille järgi HOMER Pro tarkvaras teostatakse iga süsteemi konfiguratsiooni simulatsioon. Komponenti aknas saab anda kriteeriumiks, et simulatsioonis vaadeldakse ka mitme generaatoriga kombinatsioone või generaatori võimsus on väiksem kui tipukoormus. Võimalik on programmi ette anda, et soojust ei toodeta rohkem kui vajatakse. Lisaks on võimalik seadistada teavitus olukordadeks, kus võrguühenduseta süsteemis taastuenergia osakaal on üle etteantud väärtuse või aku sõltumatus on väiksem kui 2 tundi. Optimeerija seadmete poolel on võimalik määrata optimeerimise täpsust ja muid parameetreid, näiteks suurim simulatsioonide arv iga optimeerimise kohta (*Maximum simulations per optimization*), süsteemi disaini täpsust (*System design precision*), kulu nüüdisväärtuse täpsust (*NPC precision*), fookustegurit (*Focus factor*) ja muid, millega on võimalik tutvuda HOMER Pro tarkvara Help-is. [42]



Joonis 46. *Optimization* aken.

Multi-Year komponent. Seal saab modelleerida muudatusi, mis toimuvad projekti eluea jooksul. Selleks simuleeritakse süsteemi projekti eluea vaates igat aastat. Mitme-aasta funktsioonita sooritav HOMER Pro ainult ühe simulatsiooni ja ekstrapoleerib selle ülejäänud projekti elueale. Kuigi seda funktsiooni kasutades mudeli arvutusaeg suureneb, võimaldab see modelleerida nähtusi, mida ei saa ühe aasta simulatsiooni kasutades. Mitme-aasta funktsioon annab võimaluse simuleerida näiteks komponendi vananemist, hinnakõikumisi, koormuse kasvu ning muid kulusid. [42]

Kui mudelisse lähteandmed sisestatud, kuvatakse tulemused tabelina (Joonis 47). *Sensitivity Results* kuvatakse ülemises tabelis, *Optimization Results* alumises. *Sensitivity Results* analüüsimiseks on variant teha seda tabelkujul või graafiliselt, selleks on *Tabular* ja *Graphical*. *Optimization Results* tabelis saab tulemusi vaadata kategoriseerituna või kõike korraga, *Categorized* ja *Overall*. Tabelis saab teha ka visuaalseid muudatusi, näiteks saab soovi korral veerge ümber tõsta või nende kaupa sorteerida klikkides *Column Choices*. Andmeid saab eksportida CSV failina. Tehes vasak-klikk ühe muutuja peal, avaneb uus analüüsi tabel. Kui ülemises tabelis ehk *Sensitivity Results* klikkida muutujale näiteks diskontomääradele, mis on 6% ja diiselkütuse hind on 1 €/L, laetakse alumisse tabelisse ehk *Optimization Results* vastavad väärtused. Kui on soov mudeli analüüsi tulemusi näha graafiliselt, tuleb *Sensitivity Result* aknas klikkida *Graphical* ning avaneb aken nimega *Optimal System Type Graph* (Joonis 48).

Sensitivity Cases
Left Click on a sensitivity case to see to Optimization Results

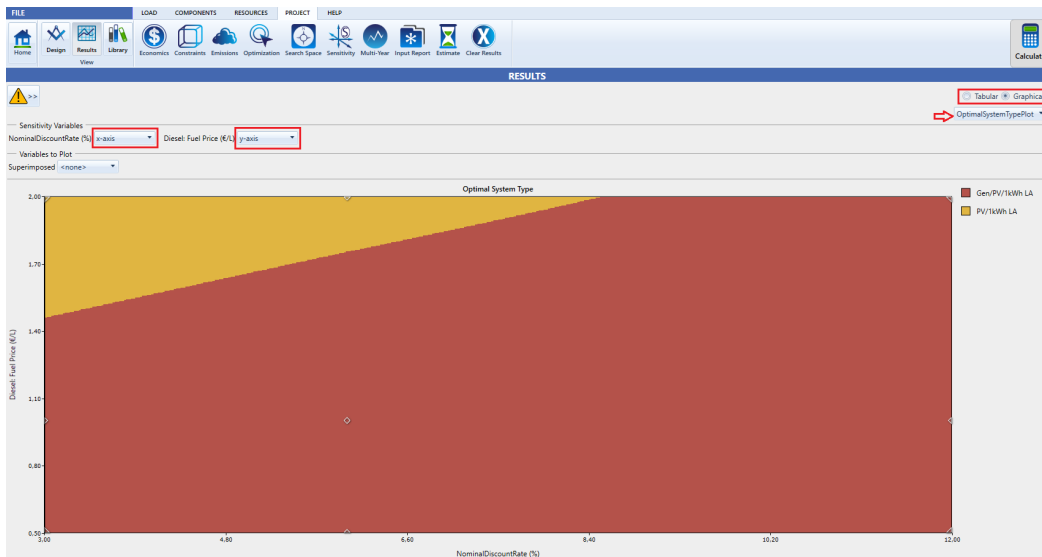
Sensitivity		Architecture				Cost				System				Gen				PV				1kWh LA		Rectifier
NominalDiscountRate (%)	Diesel Fuel Price (€/L)	Gen (MW)	1kWh LA	Converter (MW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€)	Initial capital (€)	Ren. Frac. (%)	Hours	Production (MWh)	Fuel (L)	O&M Cost (€)	Fuel Cost (€)	Capital Cost (€)	Production (MWh)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh)	Rectifier Mean Output (kW)	Inverter Mean Output (kW)			
12.0	0.500	1.11	2.30	4	0.093	CC	0.409 €	15 895 €	1 268 €	5 952 €	25.9	2 487	3 012	1 115	172	557	3 322	1 688	5.18	1 291	0.165	0.165		
3.00	0.500	1.00	2.30	10	1.36	CC	0.392 €	27 754 €	1 022 €	9 849 €	47.1	1 259	2 149	720	86.9	360	5 390	2 739	12.9	1 629	0.208	0.208		
6.00	0.500	1.23	2.30	4	0.095	CC	0.431 €	22 404 €	1 259 €	6 307 €	26.1	2 456	2 922	1 086	169	543	3 699	1 875	5.18	1 269	0.162	0.162		
12.0	1.00	1.19	2.30	4	0.073	CC	0.445 €	20 538 €	1 837 €	6 128 €	27.1	2 716	2 962	1 134	187	1 134	3 576	1 817	5.18	1 169	0.149	0.149		
3.00	1.00	2.27	2.30	12	0.864	CC	0.476 €	32 699 €	1 240 €	12 110 €	57.8	1 103	1 715	589	76.1	589	7 101	3 609	15.5	1 656	0.211	0.211		
6.00	1.00	2.32	2.30	10	0.839	CC	0.536 €	27 824 €	1 288 €	11 362 €	55.7	1 256	1 801	632	86.7	632	6 961	3 538	12.9	1 626	0.207	0.207		
12.0	2.00	2.30	2.30	12	0.962	CC	0.819 €	26 087 €	1 601 €	11 990 €	57.6	1 026	1 722	590	70.8	1 160	6 915	3 514	15.5	1 801	0.229	0.229		
3.00	2.00	2.12	2.30	25	2.12	CC	0.537 €	36 589 €	786 330 €	22 897 €	100						14 762	7 502	32.4	2 363	0.300	0.300		
6.00	2.00	4.41	2.30	29	2.16	CC	0.652 €	32 618 €	785 56 €	22 576 €	100						13 228	6 723	37.6	2 401	0.304	0.304		

Optimization Results
Left Double Click on a particular system to see to detailed Simulation Results

Architecture		Cost				System				Gen				PV				1kWh LA		Rectifier	Converter	
NominalDiscountRate (%)	Diesel Fuel Price (€/L)	Gen (MW)	1kWh LA	Converter (MW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€)	Initial capital (€)	Ren. Frac. (%)	Hours	Production (MWh)	Fuel (L)	O&M Cost (€)	Fuel Cost (€)	Capital Cost (€)	Production (MWh)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh)	Rectifier Mean Output (kW)	Inverter Mean Output (kW)	
12.0	0.500	1.23	2.30	4	0.095	CC	0.431 €	22 404 €	1 259 €	6 307 €	26.1	2 456	2 922	1 086	169	543	3 699	1 875	5.18	1 269	0.162	0.162
3.00	0.500	1.00	2.30	10	1.36	CC	0.392 €	27 754 €	1 022 €	9 849 €	47.1	1 259	2 149	720	86.9	360	5 390	2 739	12.9	1 629	0.208	0.208
6.00	0.500	1.23	2.30	4	0.095	CC	0.431 €	22 404 €	1 259 €	6 307 €	26.1	2 456	2 922	1 086	169	543	3 699	1 875	5.18	1 269	0.162	0.162
12.0	1.00	1.19	2.30	4	0.073	CC	0.445 €	20 538 €	1 837 €	6 128 €	27.1	2 716	2 962	1 134	187	1 134	3 576	1 817	5.18	1 169	0.149	0.149
3.00	1.00	2.27	2.30	12	0.864	CC	0.476 €	32 699 €	1 240 €	12 110 €	57.8	1 103	1 715	589	76.1	589	7 101	3 609	15.5	1 656	0.211	0.211
6.00	1.00	2.32	2.30	10	0.839	CC	0.536 €	27 824 €	1 288 €	11 362 €	55.7	1 256	1 801	632	86.7	632	6 961	3 538	12.9	1 626	0.207	0.207
12.0	2.00	2.30	2.30	12	0.962	CC	0.819 €	26 087 €	1 601 €	11 990 €	57.6	1 026	1 722	590	70.8	1 160	6 915	3 514	15.5	1 801	0.229	0.229
3.00	2.00	2.12	2.30	25	2.12	CC	0.537 €	36 589 €	786 330 €	22 897 €	100						14 762	7 502	32.4	2 363	0.300	0.300
6.00	2.00	4.41	2.30	29	2.16	CC	0.652 €	32 618 €	785 56 €	22 576 €	100						13 228	6 723	37.6	2 401	0.304	0.304

Joonis 47. Sensitivity & Optimization Results aken.

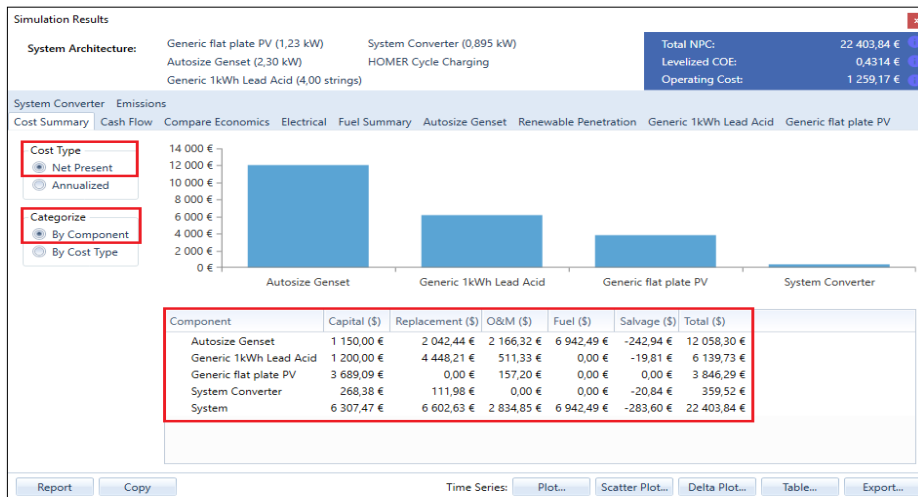
Selleks, et saada graafiline joonis, tuleb mudelis *Summary* aknas klikkida *Include Sensitivity Cases*, sest muidu ei ole piisavalt sisendmuutujaid. Saadud graafik illustreerib optimaalset tulemust antud mudeli muutujate suhtes. Süsteem annab automaatselt nendeks diskontomäära ja diiselkütuse hinna, mis on vastavalt x-teljel ja y-teljel. Graafikule peale klikkides näeb ka interpoleeritud väärtusi. Paremal pool on lahter, millele klikkides saab muuta tabeli tüüpi: *Surface Plot*, *Lineface Plot*, *Line Plot*, *Spider Plot*, *Optimization Plot*, *Optimization Surface Plot*. See annab võimaluse saadud tulemusi erineval moel esitleda.



Joonis 48. Optimal System Type Graph aken.

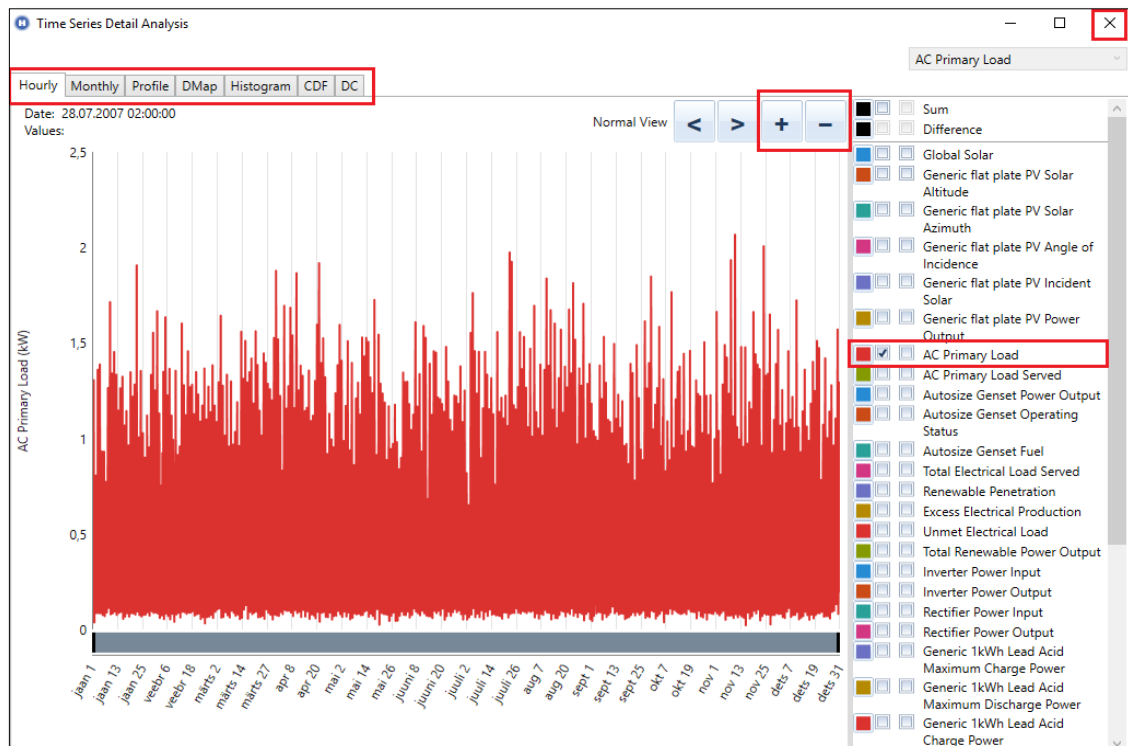
Simulation Results aknas on palju erinevaid diagramme (Joonis 49). Selle akna saab avada, kui ühel muutujuval vasak-topeltklakk teha *Optimization Results* tabelis. Esimene lahter on *Cost Summary* ja näitab *Net Present Cost* komponentide kaupa.

The Time Series Detail Analysis aknas (Joonis 50) avaneb kogu kronoloogiline simulatsioon. Alguses on aken väljasuunitud, aga saab ka väiksemaid perioode detailsemalt vaadelda +- nuppudega või klikkides diagrammi all asuval tumehallile



Joonis 49. *Simulation Results* aken.

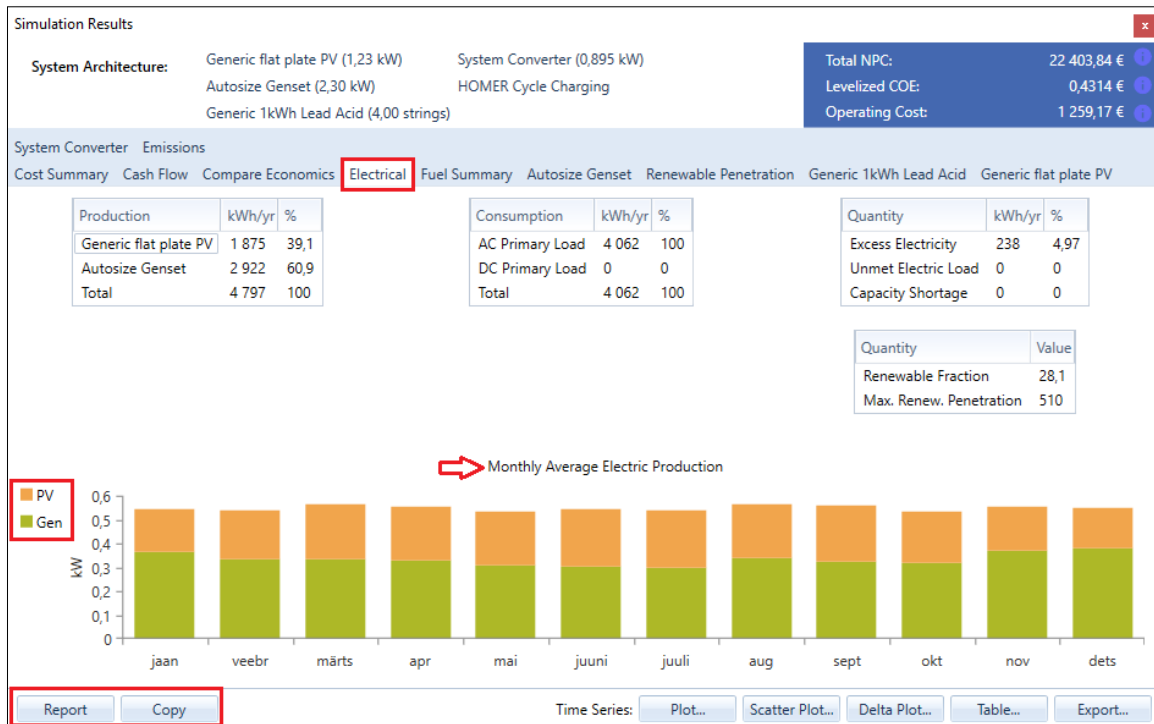
ribale. Paremalt pool saab valida, milliseid komponente diagrammil kuvada soovitakse, valida saab kuni kaks. Allpool oleval joonisel on valitud ainult *AC Primary Load*. Lisaks on ekraanil vasakul üleval lahtrid, millele vajutades saab tulemusi vaadata erinevates vormingutes: *Hourly, Monthly, profile, DMap, Histogram, CDF, DC*. Akna sulgemiseks vajutada X paremas ääres.



Joonis 50. *The Time Series Detail Analysis* aken.

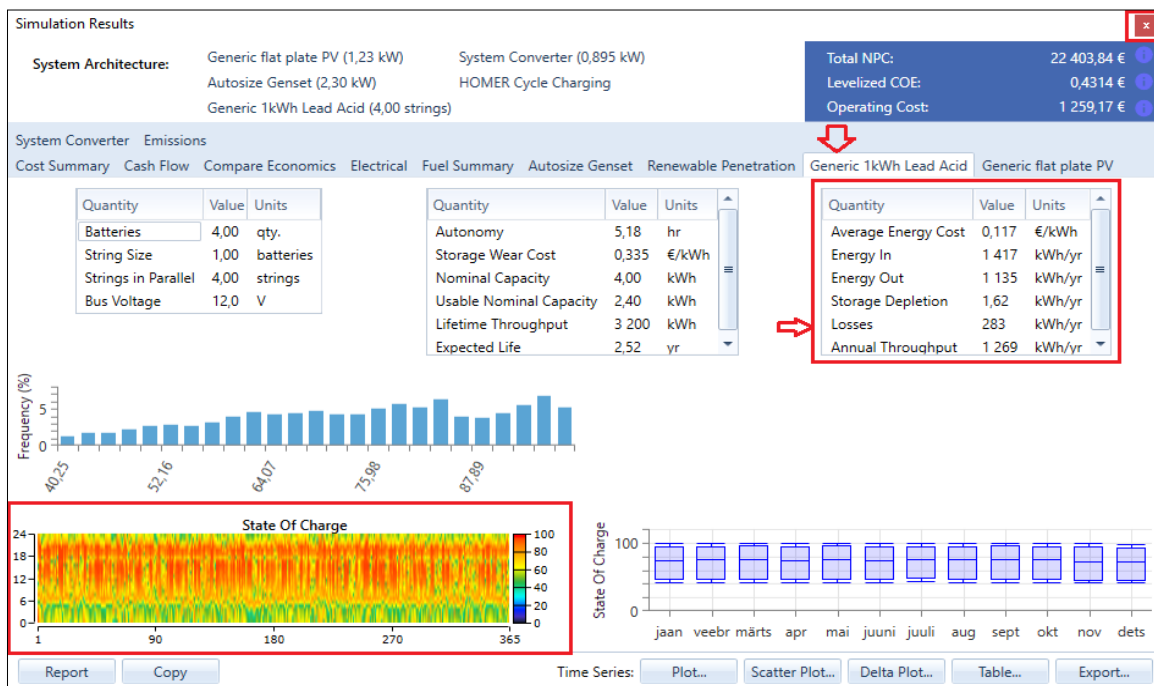
Simulations Results aknas on veel rohkem tulemuste analüüsi kui ainult *Cost Summary* vaheleht. Näiteks *Electrical* vaheaknas (Joonis 51), kus näeb elektritootmist, -tarbimist ja nii mõnigi muu graafik on kättesaadav. Seal on ka diagramm, mis illustreerib elektritootmist komponendi tüübi ja kuu lõikes. Diagrammi on võimalik kopeerida, edastada.

Kui eelnevalt vaatlesime *Simulations Results* aknas *Electrical* analüüsi võimalusi, siis nüüd vaatame aku informatsiooni (Joonis 52). All vasakul on *State of Charge Dmap*, mis näitab andmeid iga tunni kohta aasta lõikes. Seal diagrammil on horisontaalsis päevad aasta lõikes ja vertikaalteljel tunnid päevas. Värv näitab aku laadimise olekut iga ajahetke kohta, kus punane tähistab täislaetud akut ja roheline tühja akut. Klõkkides *Dmap*-ile saab ka värve vahetada. Tabel paremal sisaldab energia bilansi informatsiooni, sisaldades aku kadusid. Vajutada X üleval paremal, et sulgeda aken.



Joonis 51. More Simulations Results aken.

Väljatoodud analüüsivõimalused olid tehtud algandmete põhjal, kuid ikka juhtub nii, et tegemise käigus selgub, et tahaks andmeid muuta. Seepärast on HOMER Pro lihtne tarkvara, sest saab enda mudelit täiustada ja paremaks teha andmeid jooksvalt muutes.



Joonis 52. Aku informatsiooni aken.

5 LABORITÖÖDE JUHENDID

Alljärgnevad laboritööd on koostatud vastavalt õppekavas etteantud laboritöödeks kuluva ajaga. Praktikume aines „Energiahaldus elektri tarkvõrkudes“ on tudengitel 2 korda nädalas, kokku 16 nädalat. Kuna õppejõud on planeerinud HOMER Pro tarkvara kasutamisele 6-8 praktikumi aeg, koostati 3 ülesannet. Ajaliselt lähtuti sellest, et üks laboritöö ei tohiks olla üle 4 akadeemilise tunni ning tudengitel läheb lisanduvalt aega programmiga tutvumiseks ja vormistamiseks.

Laboritöid on kokku kolm. Esimene töö on lihtsaim - erinevate kaldenurkadega PV paneelide majandusliku tasuvuse arvutamine. Teiseks on PV paneelide majandusliku tasuvuse arvutamine kahe erineva tarbimismustri korral ja kolmas on kõige keerukam ehk PV süsteemi ja salvestiga analüüs ON-GRID lahenduses, sest vajab tudengilt rohkem eelteadmisi arvutuste jaoks.

5.1 Laboritöö „Erinevate kaldenurkadega PV paneelide majandusliku tasuvuse arvutamine“

Eesmärk: Analüüsida erineva kaldenurgaga päikesepaneelide majanduslikku tasuvust erinevate elektri võrku müügi hindade korral. Koostada majanduslik analüüs päikesepaneelidele, kui kaldenurgad on 10, 20, 30, 40, 50 ja üle jääv energia müüakse olemasolevasse võrku tagasi hinnaga 0.11, 0.12, 0.13, 0.14 €/kWh ja ostetakse 0.12 €/kWh. Järeldus koostada nüüdispuhaskulu NPC ja terviklahenduse elektrimaksumuse COE alusel.

Selgitus: TalTech klassiruumidesse on eelnevalt installeeritud vastav tarkvara. Klõkkides arvuti ekraanil HOMER Pro x64 avaneb *HOMER Pro Micrigrd Analysis Tool x64 3.10.3* (Pro Edition). Antud laboritöö eesmärgiks on analüüsida erineva kaldenurgaga päikesepaneelide majanduslikku tasuvust erinevate elektri võrku müügi hindade korral. Seejärel koostada majanduslik analüüs päikesepaneelidele, kui kaldenurgad on 10, 20, 30, 40, 50 ja üle jääv energia müüakse olemasolevasse võrku tagasi hinnaga 0.11, 0.12, 0.13, 0.14 €/kWh. Järeldus koostada nüüdispuhaskulu ehk NPC ja terviklahenduse elektrimaksumuse COE alusel.

Ülesannet võib lahendada mitut moodi, etteantud töö käik on üks mitmest võimalikust viisist, kuidas ülesandele läheneda. Näidislaboritöö on koostatud lähtuvalt kirjeldatud

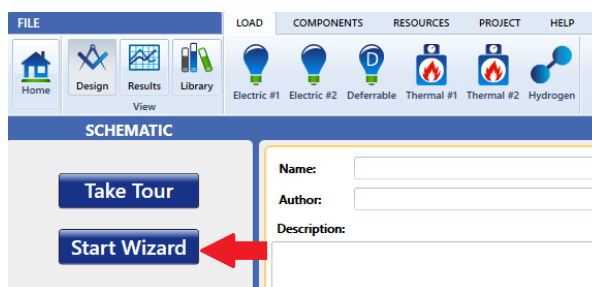
töökäigule. Alandmed jäetakse programmis vaikimisi ja kalkuleeritakse tulemus. Seejärel muuta sisestatud parameetreid. Koormuste modifitseerimiseks eemaldada üleliigsed koormused *SCHEMATIC* menüüst ja lisada võrguühendusmenüüst Grid komponent.

PV süsteemi parameetrid muuta aktuaalsemaks, kui süsteem vaikimisi annab. Klikkides *PV* ikoonile ja sealt *Generic flat plate PV* aknas muuta parameetreid. Võimsus (kW) muuta 1 pealt 15, kapital (\$) 3000 pealt 15000, asenduskulud (\$) 3000 pealt 1500, toimingud ja hoolduskulud aastas, mis hõlmavad kõiki teenuseid, mis tagavad fotogalvaanilise süsteemi maksimaalse efektiivsuse ja hoolduse (\$/aastas) 10 pealt 150. Mikrovõrgule elektri ostu- ja müügihinna määramiseks muuta võrgukomponent Grid parameetreid. Lülitada sisse *Net Metering* (netomõõtmine või ka netoenergiaarvestus), mis tähendab seda, et päikeseenergia kasutajatel ehk tarbijatel, kes toodavad osa või kogu oma elektrienergiast, saavad tasu võrku toodetud elektrienergia eest [58]. Elektri võrku ostuhinda saab muuta lahtris *Grid Power Price* (\$/kWh). Elektri võrku müügihinna muudeti lahtris *Grid Net Excess Price* (\$/kWh).

Et hinnata kaldenurkade mõju NPC-le ja COE-le, muuta kaldenurke *SCHEMATIC* aknas, valiti PV komponent ja klikiti lahtrile alalahtrile *Advanced Input*. Vaikimisi pandud kaldenurk 40.01 kraadi muuta ja lisada 10°, 20°, 30°, 40°, 50° etteantud lahtritesse ja klikkida *OK*. Majandusliku tasuvuse tulemuse saamiseks vajutada põhimenüü ribalt paremalt poolt *Calculate*.

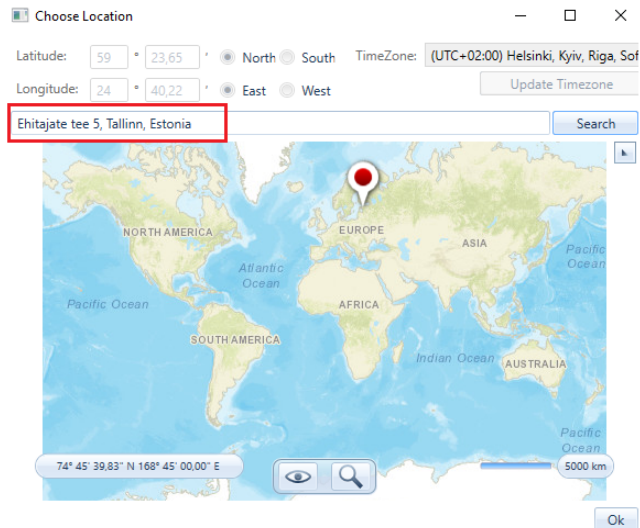
Töö käik:

1. Ava rakendus HOMER Pro ning vajuta ikoonile *Start Wizard* (Joonis 53)



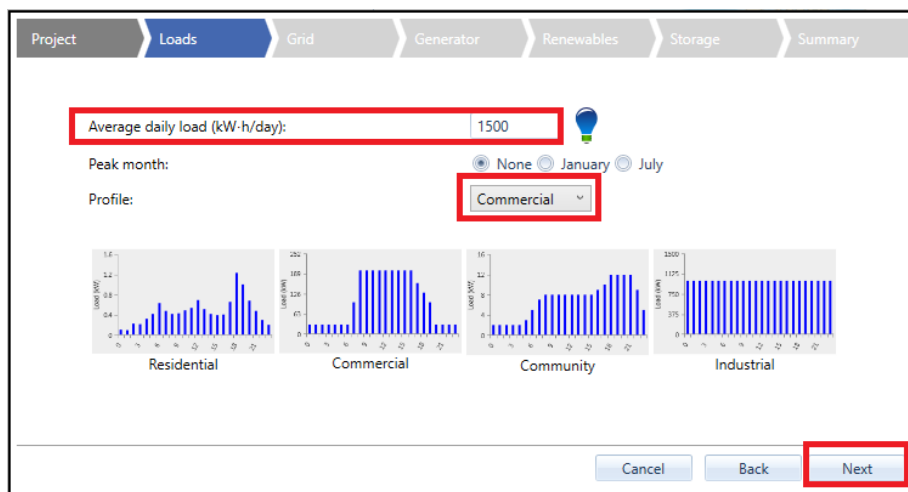
Joonis 53. *Start Wizard* aken.

2. Määrata oma asukoht. Selleks vajuta *Set Location*. Sisesta TalTech aadress ning vajuta *Search* nuppu (Joonis 54).



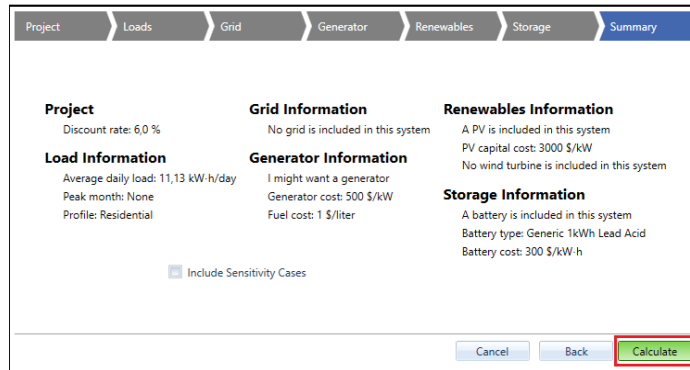
Joonis 54. Asukoha määramine.

- Järgmisena valida sobiv koormusmuster ja sisestada keskmine päevane tarbimine. *Loads* aknas määrata *Average daily load: 1500*, sest TalTech energeetikamaja keskmine päevane tarbimine on 1,5 MWh. Koormusmustriks valida „*Commercial*” (Joonis 55).



Joonis 55. Koormusmusteri valimine.

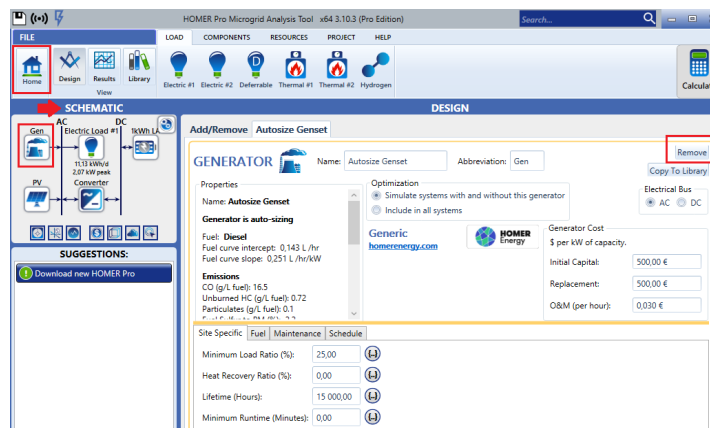
- Jäta vaikimisi sisestatud andmed ehk kliki nooltega *Next*. *Summary* lahtris vajuta *Calculate* (Joonis 56).



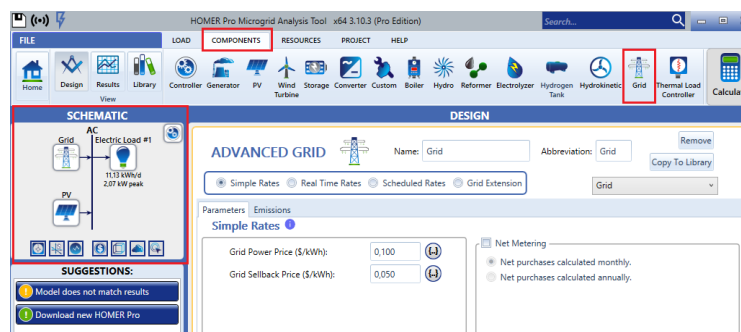
Joonis 56. Kokkuvõtte aken.

5. Kuna tegemist on võrguühendusega ehk OFF-GRID süsteemiga, kus elektrienergia saadakse PV süsteemist ja üle jääv energia müüakse edasi võrku, tuleb modifitseerida koormusi. Selleks:

- Vajuta ikoonile *Home*.
- Eemalda üleliigsed koormused *SCHEMATIC* menüüst klikkides komponendile ja seejärel klikkida nupule *Remove* (Joonis 57).
- Lisada puuduv komponent *Grid* (Joonis 58).



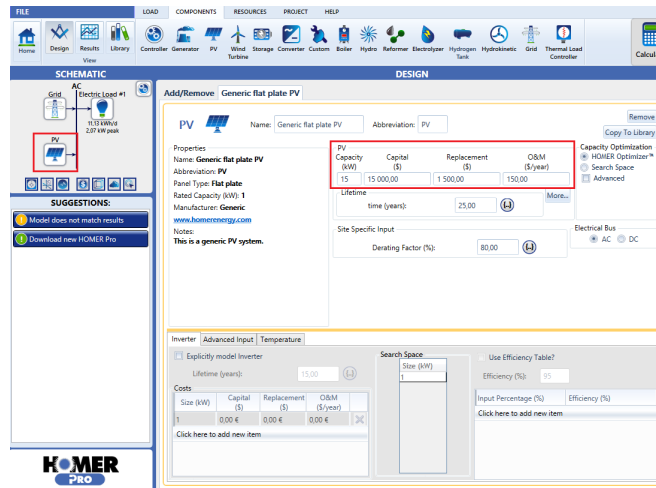
Joonis 57. Üleliigsete komponentide eemaldamine.



Joonis 58. Komponenti lisamine

6. PV-süsteemi parameetrite muutmiseks (Joonis 59):

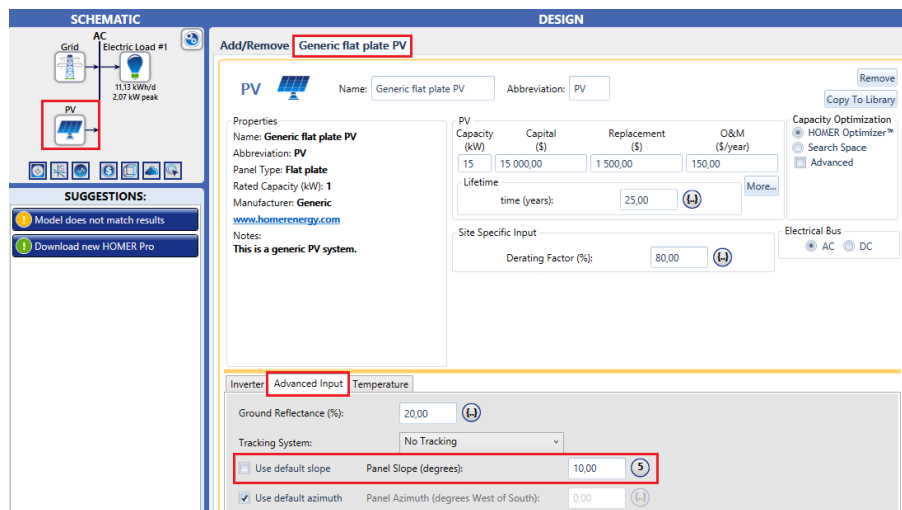
- a) SCHEMATIC -> PV -> Generic flat plate PV
- b) Muuta: Capacity (kW) 15, Capital (\$) 15000, Replacement (\$) 1500, O&M (\$/year) 150.



Joonis 59. PV-süsteemi parameetrite muutmise.

7. Kaldenurkade lisamine, hindamaks nende mõju NPC-le ja COE-le (Joonis 60).

- a) Avada aken SCHEMATIC -> PV -> Generic flat plate PV.
- b) Advanced Input aknas tühistada vaikimisi määratud kaldenurga valik ja vajutada Sensitivity Variable Editor.
- c) Lisa kaldenurgad 10°, 20°, 30°, 40°, 50° (PV Slope (°)).

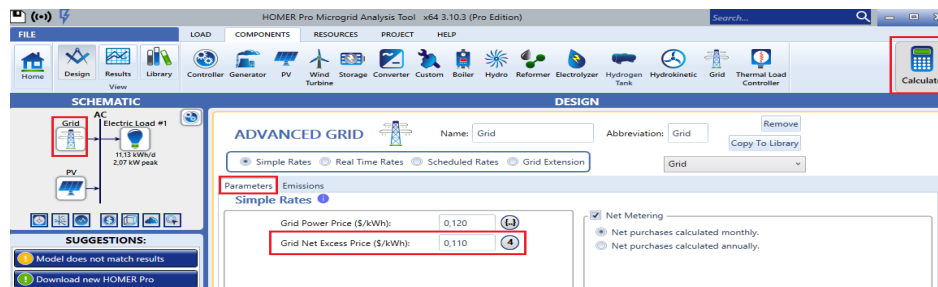


Joonis 60. Kaldenurkade lisamine.

8. Mikrovõrgule elektri ostu- ja müügihinna määramine (Joonis 61):

- a) Määrata SCHEMATIC -> Grid -> Parameters -> klikk Net Metering

- b) Valides menüüst *SCHEMATIC* -> *Grid* -> *Parameters* -> *Simple Rates* -> *Grid Power Price* (\$/kWh), määrata elektri võrgust ostuhinnaks 0.120 (€/kWh).
- c) Järgmisena valida menüüst *SCHEMATIC* -> *Grid* -> *Parameters* -> *Simple Rates* -> *Grid Net Excess Price* määrata elektri võrku müügihinnaks 0,110; 0,120; 0,130; 0,140 (€/kWh)
- d) Vajutada *Calculate* paremal nurgas.



Joonis 61. Elektri ostu- ja müügihinna määramine.

9. Koostada laboritöö aruanne, kuhu lisada lähteandmed, saadud tulemused panna tabelisse ning kirjutada järelduseks, milline on kõige optimaalsem lahendus.

Elektri müügihind (€/kWh)	Kaldenurgad (°)	NPC (€)	COE (€)
0.11	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
0.12	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
0.13	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
0.14	10		
	20		
	30		
	40		
	50		

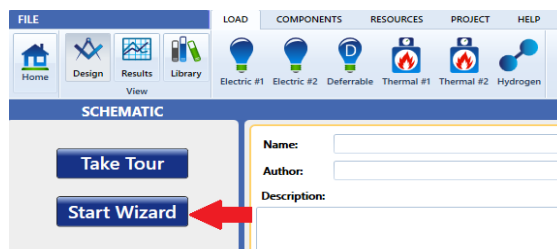
5.2 Laboritöö „ PV paneelide majanduslik tasuvus kahe erineva tarbimismustri korral“

Lähtuvalt päikesepaneelide suureneva populaarsusega uuritakse käesolevas töös, kuidas mõjutaks nende paigaldamine majanduslikku tasuvust kahe erineva tarbimismustri korral. Näidishoonekena kasutatakse TalTech energeetikahoone ja Kristiines asuvat korterelamut.

Eesmärk: Analüüsida päikesepaneelide majanduslikku tasuvust kahe erineva tarbimismustri jaoks. Üks on „Commercial“, mille objektiks valida TalTech energeetikaahoone. Teine on „Community“ ning selleks on objektiks ülesandes Kristiines asuv korterelamu. Hinnata tulemust lõuna, kagu ja edela suunal. Valida optimaalseim kaldenurk laboritööst „Erinevate kaldenurkadega PV paneelide majandusliku tasuvuse arvutamine“ saadud analüüsist ehk millise nurga all PV süsteem on kõige tasuvam. Järeldus koostada nüüdispuhaskulu NPC ja terviklahenduse elektrimaksumuse COE alusel. *Aastane tootlikkus peab olema samaväärne kui aastane tarbimine.

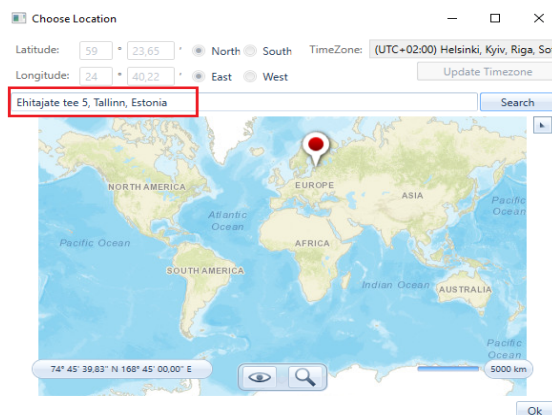
Töökäik tarbimismuster *Commercial* analüüsiks:

1. Ava rakendus HOMER Pro. Vajuta ikoonile *Start Wizard* (Joonis 62).



Joonis 62. *Start Wizard* aken.

2. Määra oma asukoht. Selleks vajuta *Set Location*. Sisesta TalTech aadress ning vajuta *Search* nuppu (Joonis 63).



Joonis 63. Asukoha määramine.

3. Järgmisena valida sobiv koormusmuster ja sisestada keskmine päevane tarbimine. *Loads* aknas määrata *Average daily load: 1500*, sest TalTech energeetikamaja keskmine päevane tarbimine on 1,5 MWh. Koormusmustriks valida „*Commercial*” (Joonis 64).

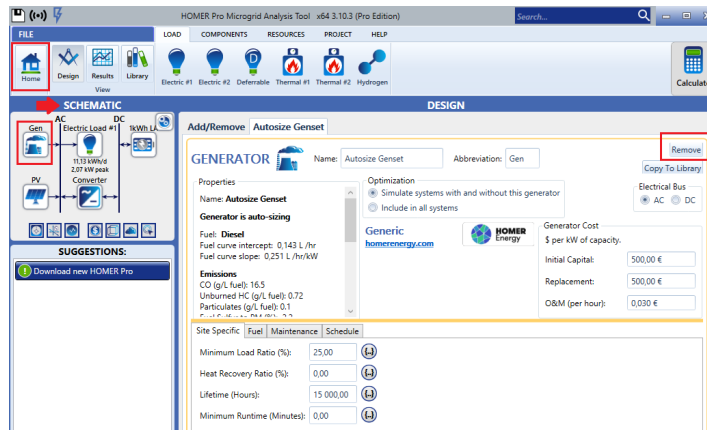
Joonis 64. Koormusmustrite valimine.

4. Jätta vaikumisi sisestatud andmed ehk klikkida nooltega *next*, kuni *Summary* aknani. *Summary* aknas vajutada *Calculate* (Joonis 65).

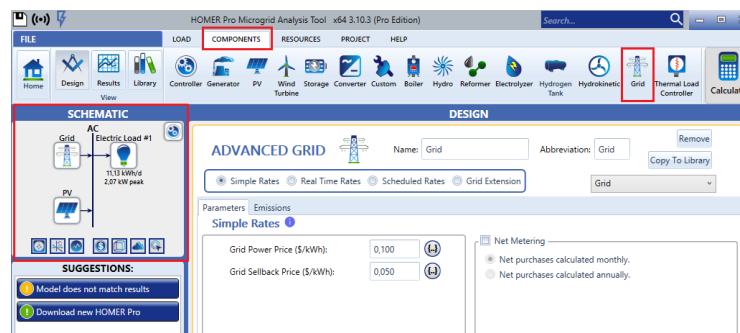
Project	Grid Information	Renewables Information
Discount rate: 6.0 %	No grid is included in this system	A PV is included in this system
Load Information	Generator Information	PV capital cost: 3000 \$/kW
Average daily load: 11,13 kW-h/day	I might want a generator	No wind turbine is included in this system
Peak month: None	Generator cost: 500 \$/kW	Storage Information
Profile: Residential	Fuel cost: 1 \$/liter	A battery is included in this system
<input type="checkbox"/> Include Sensitivity Cases		Battery type: Generic 1kWh Lead Acid
		Battery cost: 300 \$/kW-h

Joonis 65. *Summary* aken.

5. Kuna tegemist on võrguühenduseta ehk OFF-GRID süsteemiga, kus elektrienergia saadakse PV süsteemist ja üle jääv energia müüakse edasi võrku, tuleb modifitseerida koormusi. Selleks:
- Vajuta ikoonile *Home*
 - Eemalda üleliigsed koormused *SCHEMATIC* menüüst klikkides komponendile ja seejärel klikkida nupule *Remove* (Joonis 66).
 - Lisada puuduv komponent *Grid* (Joonis 67).



Joonis 66. Üleliigsete komponentide eemaldamine.

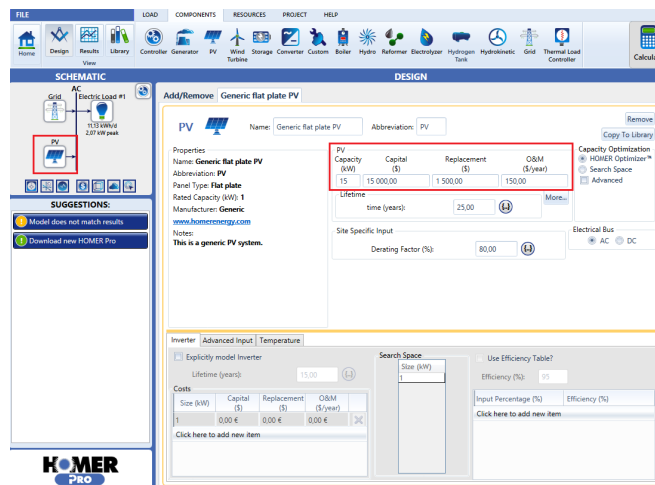


Joonis 67. Komponenti lisamine.

6. PV-süsteemi parameetrite muutmiseks (Joonis 68):

c) SCHEMATIC -> PV -> Generic flat plate PV

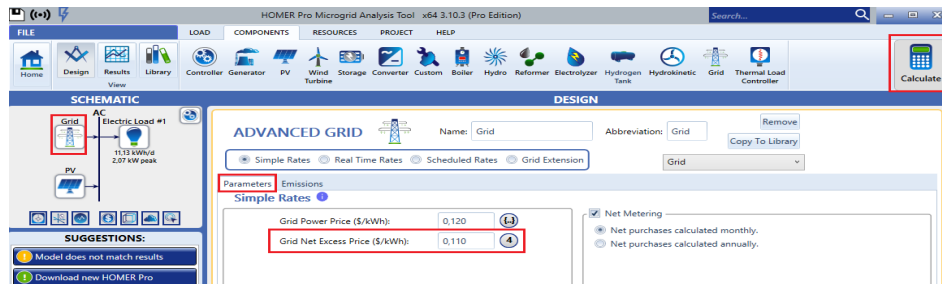
d) Muuta: Capacity (kW) 15, Capital (\$) 15000, Replacement (\$) 1500, O&M (\$/year) 150



Joonis 68. PV-süsteemi parameetrite muutmise.

7. Mikrovõrgule elektri ostu- ja müügihinna määramine (Joonis 61):

- a) Määrata *SCHEMATIC* -> *Grid* -> *Parameters* -> klikk *Net Metering*
- b) Järgmisena valides menüüst *SCHEMATIC* -> *Grid* -> *Parameters* -> *Simple Rates* -> *Grid Net Excess Price* määrata elektri võrku müügihinnaks 0.11 (\$/kWh).

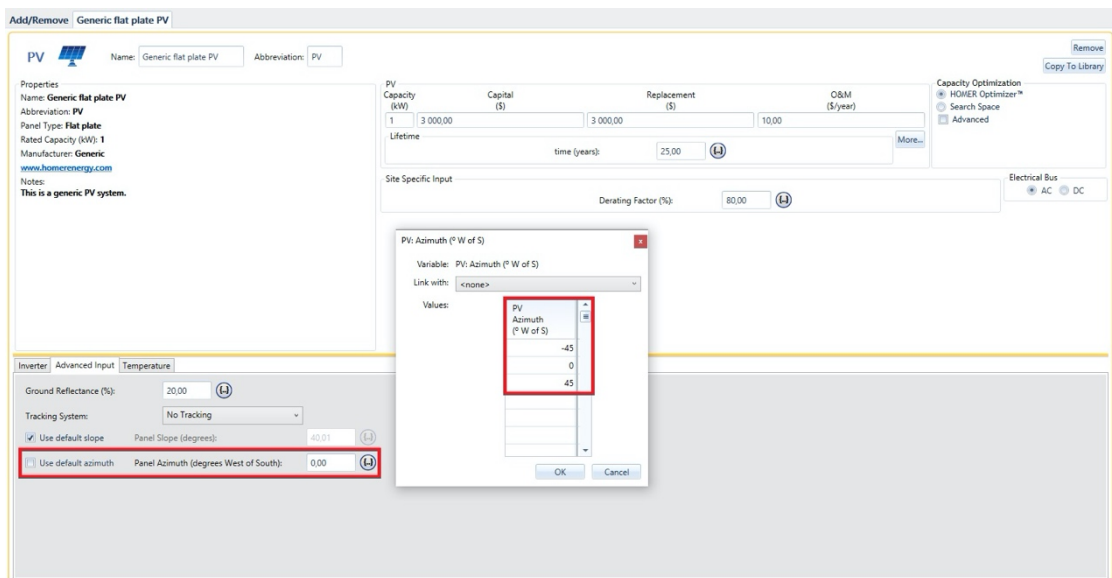


Joonis 69. Elektri ostu- ja müügihinna määramine.

8. Optimaalse kaldenurga lisamine: Avada aken *SCHEMATIC* -> *PV* -> *Generetic flat plate PV*. *Advanced Input* aknas tühistada vaikimisi määratud kaldenurga valik ja vajutada *Sensitivity Variable Editor*. **Lisa Laboritööst „Erinevate kaldenurkadega PV paneelide majandusliku tasuvuse arvutamine“ saadud optimaalseim kaldenurk või küsi õppejõult abi.**

9. Lõuna, kagu ja edela suundade määramine (Joonis 70):

- a) Määrata suunad *Panel Azimuth* lahtris lisades väärtused -45, 0, 45.



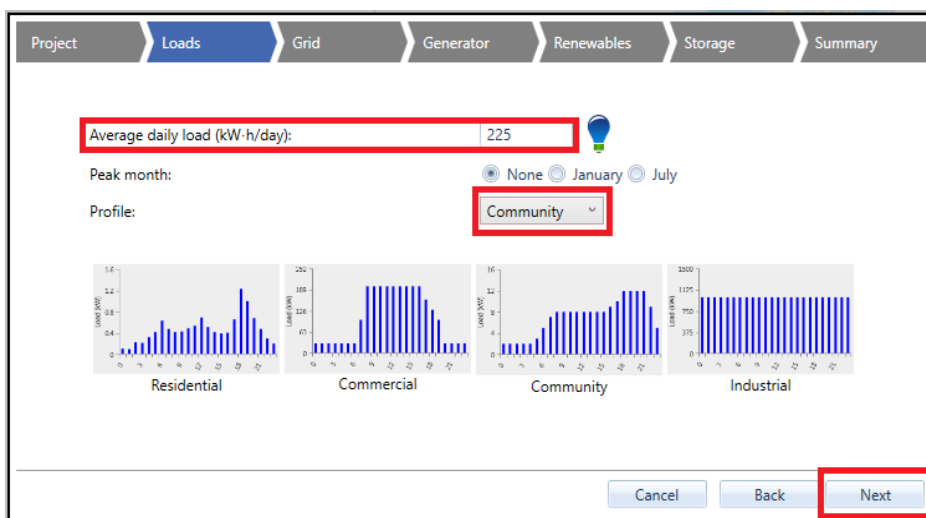
Joonis 70. Asimuudi määramine.

10. Vajutada *Calculate* ja lisa saadud tulemused tabelisse.

PV Azimuth (° W of S)	NPC (€)	COE (€)
0		
45.0		
-45.0		

Töökäik tarbimismuster «Community» analüüsiks:

1. Teha läbi sama töö kõik nagu tarbimismuster "Commercial" analüüsiks, aga muuta asukohaks Linnu tee, Kristiine, Estonia. Sarnaselt joonisele, mis toodud eelmises punktis.
2. Teine erinevus on aknas *Loads* määrata korterelamu päeva keskmiseks tarbimiseks 225 kWh ning koormusmustriks valida „Community” (Joonis 71).



Joonis 71. *Loads* aken

3. Teha läbi samad sammud nagu eelmise tarbimismustri puhul ja saadud tulemused lisada tabelisse:

PV Azimuth (° W of S)	NPC (€)	COE (€)
0		
45.0		

4. Koostada laboritöö aruanne, kuhu lisada lähteandmed, saadud tulemused ning kirjutada järelduseks, milline on kõige optimaalsem lahendus.

5.3 Laboritöö „PV süsteemi ja salvestiga analüüs OFF-GRID lahenduses“

Käesolev töö on valitud analüüsima ON-GRID lahendust, kus on PV süsteem ja salvesti, et uurida sellise lahenduse majanduslikku tasuvust. ON-GRID tähendab, et PV süsteem on seotud kohaliku tootmisega ja üle jääv elektrienergia on võimalik müüa võrku, mitte lasta raisku. Salvesti antud ülesandes on lisatud, et vältida olukorda, kus volukatkestuse tõttu puudub süsteemis pingekatvus.

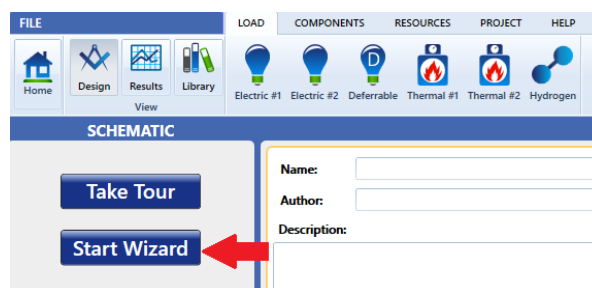
Eesmärk: Analüüsida ON-GRID lahendust, kus on kombinatsioon PV süsteemi ja salvestiga ning toimub volukatkestus. PV süsteem on määratud nii, et aastane tootlikkus peab olema samaväärne kui aastane tarbimine. Uurimisobjektiks on enda poolt valitud hoone, millel on teada aastased tarbimisandmed või õppejõult saadud eramaja näidis. Arvutada välja reserv, arvestades DoD näitusi. Eeldusel, et saame teisendada üks ühele 20kWh tarbimine ~ 20 kVAh.

Süsteem peab olema valmis katma 8,6 tundi pingekatvust. Süsteemi panna ka salvesti. Millise salvestiga on kasumlikum (pliiaku või liitium-ioonakuga)? Akude hinnad leiab õppematerjalidest: „Alternatiivsete tehniliste lahenduste kasutamine pingeprobleemide lahendamisel madalpingevõrgus“. Keskmine elektririkete ajaline kestus on 8,6h 2016.aastal ilmunud „Defektide ja rikete seoste analüüsi“ põhjal.

Algandmed: Võimalusel koostab tudeng ise faili või saab näidisfaili õppejõult. Faili nimi on OFF-GRID_algfail.txt

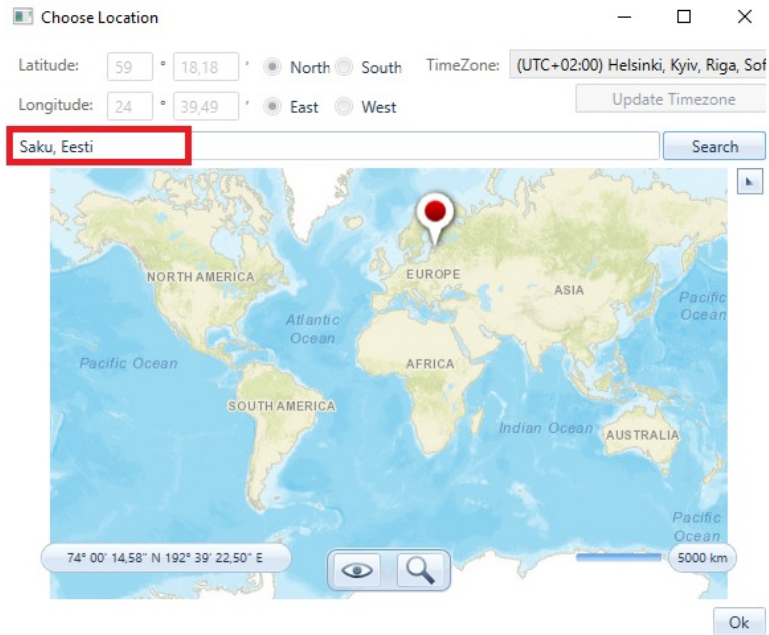
Töökäik ON-GRID süsteemi analüüsiks:

1. Ava rakendus Homer. Vajuta ikoonile *Start Wizard* (Joonis 72).



Joonis 72. Wizardi aken.

- Määra oma objekti asukoht. Selleks vajuta *Set Location*. Kui kasutad näidiselamu andmeid, määrata asukohaks Saku, Eesti (Joonis 73).



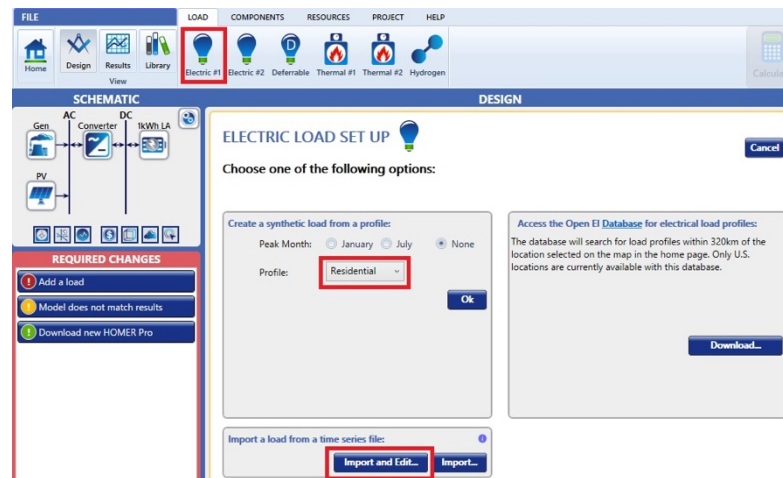
Joonis 73. Asukohta määramine.

- Jäta vaikimisi sisestatud andmed ehk kliki nooltega *next*. *Summary* lahtris vajuta *Calculate*.
- Vajuta *Home* ikoonile ja seejärel *Electric Load*, et eemaldada koormus (Joonis 74).



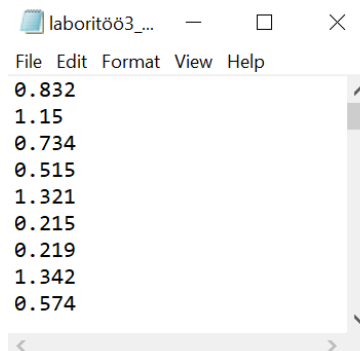
Joonis 74. *Electric Load* aken.

5. Seejärel klikkida ikoonile koormusmenüüs „Load“, et lisada oma tarbimisandmed aegreasse. Importimaks andmed, klikkida „Import and Edit“ (Joonis 75).



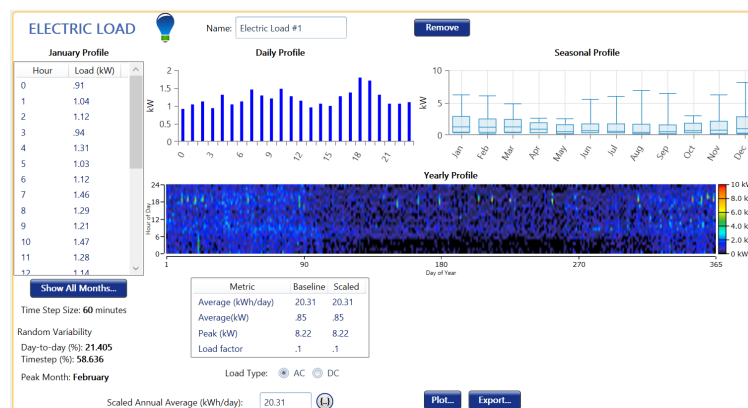
Joonis 75. Andmete lisamine.

- a) Sisestatavad andmed peavad olema kogu aasta tunni andmed ehk 8760 tunni andmed ning .txt failina (Joonis 76).



Joonis 76. Tunniandmete lisamine.

- b) Kuvatakse tarbimisandmete analüüs ja keskmine aastane tarbimine (kWh/day) (Joonis 77).



Joonis 77. Tarbimisandmete analüüs.

6. Arvutada välja mahutavus arvestades tühjendamissügavust pliiakul ja liitiumakul. Vaadata õppematerjalidest: „Alternatiivsete tehniliste lahenduste kasutamine pingeprobleemide lahendamisel madalpingevõrgus“ vajalikud andmed. Eeldame, et ei lähe üle 3kW.

$$E_{aku} = \frac{E_{p,k}}{DoD} \qquad L_{aku} = \frac{E_{aku}}{U}$$

$E_{p,k}$ = päeva keskmine tarbimine (Ah)

DoD = võimsus (%)

DoD arvutatakse selleks, et tagada teatud tsüklite arv.

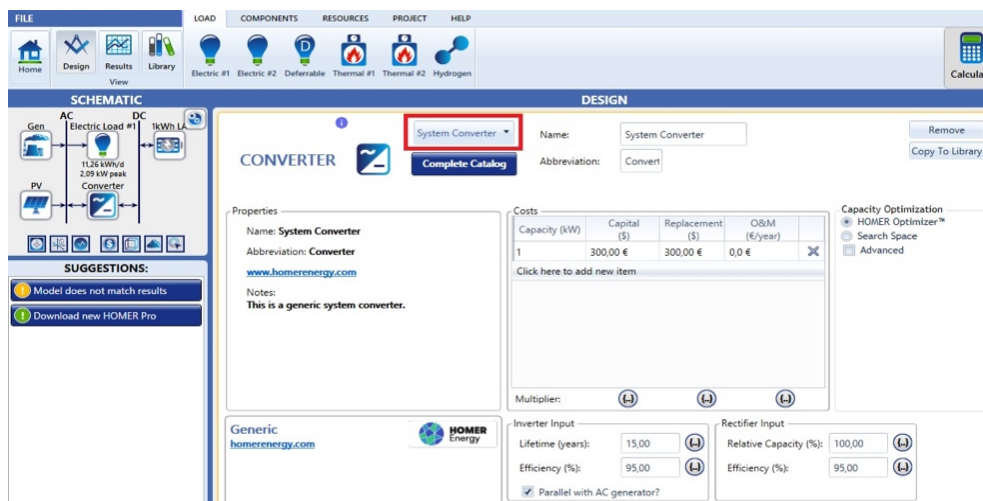
U = pinge (V)

8,6h elektrikatkestuse katmiseks:

Li-Ion Aku = Ah

Pb Aku = Ah

a) Arvutamaks Li-ioon aku ja Pb- aku kasutamise eelistusi, tuleb muuta akude tüüpi (Joonis 78).



Joonis 78. Aku tüübi vahetamine.

6 LABORITÖÖ NÄIDISARUANNE

Tiitelleht

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ERINEVATE KALDENURKADEGA PV PANEELIDE MAJANDUSLIKU
TASUVUSE ARVUTAMINE
Laboratoorne töö 1

Üliõpilane:

Õppejõud:

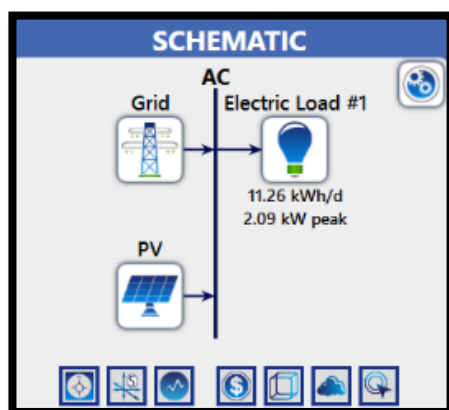
Tallinn 2020

Töö lühieesmärk

Analüüsida erineva kaldenurgaga päikesepaneelide majanduslikku tasuvust erinevate elektri müügihindade korral. Koostada majanduslik analüüs päikesepaneelidele, kui kaldenurgad on 40°, 50°. Ülejääv energia müüakse olemasolevasse võrku tagasi hinnaga 0.15, 0.16 €/kWh ja ostetakse 0.17 €/kWh. Järeldus koostada nüüdispuhaskulu NPC ja terviklahenduse elektrimaksumuse COE alusel.

Töö skeem

Skeemil on AC-siinile ehitatud päikesepaneeli lahendus, mis on võrku ühendatud (Joonis 79).



Joonis 79. Modelleeritava lahenduse põhiskeem.

Sisendandmed

Kaldenurgad (°)	40, 50
Elektri müügihind	0.15, 0.16 €/kWh
Elektri ostuhind	0.17 €/kWh

Tulemused

Elektri müügihind (€/kWh)	Kaldenurgad (°)	NPC (€)	COE (€)
0.15	40	-3,06 €M	-0,0482 €
	50	-3,04 €M	-0,0479 €
0.16	40	-3,63 €M	-0,0571 €
	50	-3,60 €M	-0,0568 €

Järeldused

Optimaalseim lahendus antud mudelis on 40° kaldenurga juures ja müügihinnaga 0,16 €/kWh.

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli anda ülevaade mikrovõrkudest ja koostada ainele „Energia haldus elektri tarkvõrkudes“ laboritööd, mida tudengid saaksid praktikumides kasutada. Kasutatav simulatsioon on Homer Energy poolt loodud HOMER Pro. Praktilised laboritööd aitavad tudengitel paremini koolis õpitut rakendada ja tulevikus töökohtades kasutada nagu Eesti Energia kasutas HOMER Pro tarkvara Ruhnu OFF-GRID lahenduse loomiseks.

Magistritöö käigus uuriti kirjandusest hajaasustuste rolli ja tähtsust tänapäevases maailmas, energiapoliitikat, tarkvõrkude olulisust praegu ja tulevikus. Kasutati TalTech andmebaase ja juhendaja soovitatud kirjandust.

Töö praktilise osana koostati laboritööde metoodilised juhendid ja näidislaboritöö kasutades HOMER Pro simulatsiooni tarkvara. Näidislaboritöö koostati esimese laboritöö põhjal, kuid erinevate andmetega. Laboritöid koostades lähtuti sellest, et tudengitel on esmane kokkupuude mainitud tarkvaraga. Sellest tulenevalt koostati juhendid samm-sammult selgitustega, lisaks põhjalikule HOMER Pro metoodilisele juhendile.

Järgmistes HOMER Pro tarkvara käsitlevates lõputöodes soovitab autor minna rohkem süvitsi OFF-GRID lahendustega, mida selle töö puhul eesmärgiks ei võetud.

SUMMARY

The aim of the master's thesis was to provide an overview of the microgrids and to prepare couple of laboratory works for the subject „Power management in Smart Grids“, which students could use as a practical part of this subject. The simulation that is used to make the laboratory assignments is HOMER Pro by Homer Energy software company. Practical assignments will help students to apply what they have learned at school and use it in their future workplaces.

During the master's thesis were studied the role and importance of sparsely populated areas in the modern world, energy policy, the importance of smart grids now and in the future. Literature recommended by the supervisor and Tallinn University of Technology's databases were big help for writing this master's thesis.

As a practical part of the thesis, methodological guidelines for laboratory work and sample laboratory work were prepared using HOMER Pro simulation software. The sample laboratory work was prepared on the basis of the first laboratory work but with different data. The laboratory work was done on the assumptions that the students had not used the mentioned software before. As a result, the guidelines were developed with step by step explanations, in addition to the comprehensive HOMER Pro methodological guide.

In the following theses on HOMER Pro software, the author suggests going into deeper with OFF-GRID solutions that were not intended for this work.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Kuus, I. Riik panustab tänavu hajaasustuse programmi 1,8 miljonit eurot. [WWW] <https://www.err.ee/918630/riik-panustab-tanavu-hajaasustuse-programmi-1-8-miljonit-eurot> (25.10.2019)
2. Eleringi kodulehekülg. Tarkvõrgu arendamine. [WWW] <https://elering.ee/tarkvorgu-arendamine> (27.09.2019)
3. Eleringi kodulehekülg. Elekrituru käsiraamat. [WWW] <https://elering.ee/sites/default/files/elektrituru-kasiraamat.pdf>
4. An official EU website. Climate Strategies & Targets. [WWW] https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en (09.12.2019)
5. The European Power Sector in 2018. [WWW] https://sandbag.org.uk/wp-content/uploads/2019/01/Sandbag_European-Power-Sector-2018.pdf
6. European Commission. IN-DEPTH ANALYSIS IN SUPPORT OF THE COMMISSION COMMUNICATION COM(2018) 773. [WWW] https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/pages/com_2018_733_analysis_in_support_en_0.pdf
7. Berke, J. (2018). One simple chart shows why an energy revolution is coming — and who is likely to come out on top. *Business Insider*. [WWW] <https://www.businessinsider.com/solar-power-cost-decrease-2018-5>
8. Hirsch, A., Parag, Y., Guerrero, J. (2018). Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 90, July 2018, Pages 402-411*. [Online] *ScienceDirect*. (27.09.2019)
9. NAVIGANT Research kodulehekülg (2018). Microgrid Enabling Technologies Market Overview. [WWW] <https://www.navigantresearch.com/reports/microgrid-enabling-technologies-market-overview> (27.09.2019)
10. Sanz, J. F., Matute, G., jt (2014). Analysis of European policies and incentives for microgrids. [WWW] <http://www.icrepq.com/icrepq'14/516.14-Sanz.pdf>
11. Taastuenergia aastaraamat 2017. Eesti Taastuenergia Koda. [WWW] <http://www.taastuenergeetika.ee/taastuenergia-aastaraamat-2017-2/>
12. Pikner, R. (2010). Uue põlvkonna elektrisüsteem ja selle komponendid. Projekt „Mõistlik Maamuna keskkonna- ja energeetikamaastikul“. [WWW] http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/AAV0160/Uue_p_lvkonna_elektris_steen_ja_selle_komponendid__t_isversioon__Rando_Pikner.pdf
13. Halu, A., Scala, A., Khiyami, A., jt. (2016). Data-driven modeling of solar-powered urban microgrids. *Vol. 2, no.1, e1500700* [Online] *ScienceAdvances*. (12.10.2019) <https://advances.sciencemag.org/content/2/1/e1500700>
14. Sterling, L. Taveter, K. (2009). The Art of Agent-Oriented Modeling.

- [Online] The MIT Press. (12.10.2019)
<https://pdfs.semanticscholar.org/5095/45c07f8a5894785ecce1f0745f988f55ddef.pdf>
15. Sujil, A., Agarwal, S. K., Kumar, R. (2014). Centralized multi-agent implementation for securing critical loads in PV based microgrid. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy volume 2, pages 77–86 (2014)*. [Online] (13.10.2019)
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40565-014-0047-1>
 16. Fusheng, L., Ruisheng, L. (2016) Chapter 2 – Composition and classification of the microgrid. *Microgrid Technology and Engineering Application. 2016, Pages 11-27*. [Online] Academic Press (14.10.2019)
 17. Gonen, T. (2005) 6 – Power Distribution. *The Electrical Handbook, Pages 749-759*. [Online] Academic Press (14.10.2019)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780121709600500554>
 18. Electrical Engineering Portal (2016). What is distribution substation and its main components? [WWW] <https://electrical-engineering-portal.com/distribution-substation> (18.10.2019)
 19. *United States Department of Labor* kodulehekülg. Occupational Safety and Health Administration. [WWW] (18.10.2019)
https://www.osha.gov/SLTC/etools/electric_power/illustrated_glossary/transmission_lines.html
 20. Hyland, M. J. (2019) Microgrids: Back to the Future? *IEEE Standards Association* [WWW] https://standards.ieee.org/content/dam/ieee-standards/standards/web/documents/presentations/nesc_workshop_microgrids-back_to_the_future.pdf
 21. Diaz, L. M. (2017). State of the Art for the Design and Sizing of Electric Microgrids. *Department of Electrical Engineering, School of Engineering, University of Seville*. [WWW] http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/71032/fichero/TFM_LMD.pdf
 22. Agabus, H., Kull, K. (2018) Elektrivõrkude ja teiste infrastruktuuride haldamise vormidest täna ja tulevikus. *Elektrilevi* [WWW] https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/ettevottest/uuringud/elektriv%C3%B5rkude_ja_teiste_infrastruktuuride_haldamise_vormidest.pdf
 23. Rosin, A. (2017). Alternatiivsete tehniliste lahenduste kasutamine pingeprobleemide lahendamisel madalpingevõrgus. *Elektrilevi* [WWW] https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/ettevottest/uuringud/pingeprobleemid_madalpingevorgus.pdf
 24. Lilienthal, P. (2013) How to Classify Microgrids: Setting the Stage for a Distributed Generation Energy Future. *Homer Microgrid News*. [WWW] <https://microgridnews.com/how-to-classify-microgrids-setting-the-stage-for-a-distributed-generation-energy-future/> (20.10.2019)

25. Microgrids, Chapter 3. *Shodhganga: a reservoir of Indian theses* [WWW] <https://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/142737/3/12.%20chapter%203.pdf> (20.10.2019)
26. Mouneir, B. (2014). Control Methods and Objectives for Electronically Coupled Distributed Energy Resources in Microgrids: A Review. *Researchgate* [Online] https://www.researchgate.net/publication/259697514_Control_Methods_and_Objectives_for_Electronically_Coupled_Distributed_Energy_Resources_in_Microgrids_A_Review (22.10.2019)
27. Justo, J.J., Mwasilu, F., Lee, J., Jung, J.W (2013). AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 24, 2013, Pages 387-405* [Online] (25.10.2019)
28. Faizan, A. Typical structure of an AC microgrid. *Avada* [WWW] <http://electricala2z.com/electrical-power/microgrid-advantages-structure-applications/attachment/typical-structure-of-an-ac-microgrid/> (22.10.2019)
29. Arif, M., Hasan, A. M. (2018) 2 – Microgrid architecture, control, and operation. *Hybrid – Renewable Energy Systems in Microgrids. Pages 23-37.* [Online] *ScienceDirect* (28.10.2019)
Jerin, A.R.A, Prabakaran, N., Kumar, N.M., Palanisamy, K. (2018) 10 – Smart grid and power quality issues. *Hybrid – Renewable Energy Systems in Microgrids. Pages 195-202.* [Online] *ScienceDirect* (28.10.2019)
30. Nejabatkhah, F., Li, Y.W., Tian, H. (2011) Power Quality Control of Smart Hybrid AC/DC Microgrids: An Overview. *IEEE Explore* [WWW] <https://ieeexplore.ieee.org/document/8694999%20> (30.10.2019)
31. Jayachandran, M., Ravi, G. (2017). Design and Optimization of Hybrid Micro-Grid System. *Energy Procedia Volume 117, Pages 95-103.* [Online] *ScienceDirect* (30.10.2019)
32. Shuai, Z., Sun, Y., Shen, J., jt. (2016). Microgrid stability: Classification and a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 58, Pages 167-179.* [Online] *ScienceDirect* (30.10.2019)
33. A. Algaddafi, J. A. (2016). *COMPARING THE IMPACT OF THE OFF-GRID SYSTEM AND ON-GRID SYSTEM ON A REALISTIC LOAD.* Allikas: Researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/308379644_COMPARING_THE_IMPACT_OF_THE_OFF-GRID_SYSTEM_AND_ON-GRID_SYSTEM_ON_A_REALISTIC_LOAD
34. Algaddafi, A., Alshahrani J., jt. (2016) Comparing the impact of the OFF-GRID system and ON-GRID system on a realistic load. *Research Gate* [Online] <https://www.energy.gov/energysaver/grid-or-stand-alone-renewable-energy-systems> (02.11.2019)

35. Kebja, R. (2019). Päikeseenergia tänased väljakutse ja tulevikusuunad. *Energiasüsteemi Strateegiline arendamine loengusari*.
36. ERR kodulehekülg. (2018) Solar Power plant completed on island of Ruhnu. [WWW] <https://news.err.ee/848962/solar-power-plant-completed-on-island-of-ruhnu> (02.11.2019)
37. Vincent, R., Houari, A., jt. (2019). Residential microgrid energy management considering flexibility services opportunities and forecast uncertainties. *Research Gate* [WWW] https://www.researchgate.net/publication/334679671_Residential_microgrid_energy_management_considering_flexibility_services_opportunities_and_forecast_uncertainties (03.11.2019)
38. Sanchez, L. (2019) Grid-tied Distributed Energy Systems for Commercial & Industrial (C&I) Customers. *Homer Microgrid News*. [WWW] <https://microgridnews.com/grid-tied-distributed-energy-systems-for-commercial-customers/> (03.11.2019)
39. Heinrich, M., Valanko, R. (2019). *Microgrids for Commercial and Industrial companies*. [WWW] (20.11.2019) https://docs.wbcsd.org/2017/11/WBCSD_microgrid_INTERACTIVE.pdf
40. Rosin, A. (2018) Energiahaldus elektri tarkvõrkudes. (TalTech sisedokument)
41. Rosin, A. (2019) Energiahaldus elektri tarkvõrkudes [WWW] https://www.ttu.ee/public/e/elektroenergeetika-ja-mehhatroonika-instituut/Oppetoo/Energiahaldus_tarkvorkudes_opik_final.pdf
42. Radiators UK kodulehekülg. [WWW] <https://www.bathroomradiatorsuk.com/phoenix-nicole-white-4-column-radiator.html> (05.11.2019)
43. Juniik kodulehekülg. [WWW] <https://juniik.ee/wp-content/uploads/2019/02/Laelamp-traadist-kuplitega-5-G9241481.jpg> (05.11.2019)
44. Kaur, A., Kaushal, J., Basak, P. (2016). A review on microgrid central controller. *Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 55, Pages 338-345*. [Online] *ScienceDirect* (06.11.2019)
45. *Fortune Business Insights* kodulehekülg. Generators Sales Market Size, Share and Industry Analysis By Fuel Type ... (2019). [WWW] <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/generator-sales-market-100492> (11.12.2019)
46. *Logical Shopping* kodulehekülg. 10 Best 2000 Watts Generators – 2019 Reviews & Comparisons [WWW] <https://logicalshopping.com/best-2000-watts-generators/> (18.11.2019)

47. *Honda* kodulehekülg. How much power do I need? [WWW] (18.11.2019)
<https://powerequipment.honda.com/generators/generator-how-much-power>
48. GSES kodulehekülg. Recycling PV modules (2019) [WWW] (18.11.2019)
<https://www.gses.com.au/technical-articles/recycling-pv-modules/>
49. *Energysage* kodulehekülg. Find the Best Solar Panels for your home. [WWW]
<https://news.energysage.com/best-solar-panels-complete-ranking/> (18.11.2019)
50. Energiaagentuur, Tartu Regioon. 2018. „Energilised Inimesed. 6 energiapäevikut“
51. Newkirk, M. (2014). How Solar Power Works - ON-GRID, OFF-GRID And Hybrid Systems. [WWW] <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works> (20.11.2019)
52. Zeb, K., Khan, I., Uddin, W., jt. (2018) A Review on Recent Advances and Future Trends of Transformerless Inverter Structures for Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic Systems. *Research Gate* [WWW] (18.11.2018)
https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-H5-SMA-Inverter-43-56_fig2_326709333
53. *Thermodyne* kodulehekülg. What is Boiler? Boiler Components & Application of Boiler System (2019). [WWW] <http://www.thermodyneboilers.com/what-is-boiler/> (19.11.2018)
54. *Forbes Marshall* kodulehekülg. What is a Boiler: Introduction to Boilers. [WWW]
<https://www.forbesmarshall.com/Knowledge/SteamPedia/Boilers/What-is-a-Boiler-Introduction-to-Boilers> (22.11.2019)
55. Harju Elekter kodulehekülg. Soovitud boileri valikul. [WWW]
<https://www.harjuelekter.ee/et/content/soovitud-boileri-valikul> (22.11.2019)
56. *EnergyStar* kodulehekülg. ENERGY STAR Most Efficient 2020 – Boilers. [WWW]
https://www.energystar.gov/products/most_efficient/boilers (22.11.2019)
57. *Seia* kodulehekülg. Net Metering. [WWW] <https://www.seia.org/initiatives/net-metering> (22.11.2019)

LISAD

Lisa 1

Välja toodud tüüpilised näited AC mikrovõrkude süsteemidest, sisaldades komponente, pingetaset, sagedust (Hz) ja võimsust (W). [27]

AC microgrid components	Voltage level	Frequency (Hz)	Capacity
PV arrays, diesel generator, battery banks—Kythnos, Greek Island [101]	1—phase LVAC	50	12 kWp from PV system, 85 kWh from battery bank
PV arrays, wind turbines, controllable digester gas engines and lead acid battery banks—Hachinohe, Japan [102]	Not specified	50	Demand=610 kW; power generated by PV arrays and wind turbine=150 kW, digester gas engine=510 kW, battery=100 kW.
PV arrays & BESS—rural areas in Senegal [66]	220 V	50 Hz	0.5–10 kW per household
Two steam turbines, two diesel generators and converter-interfaced source [69], [73]	94 V (pk), 115 V _{LL} (rms)	60 Hz	3 MW
Gas engines (GEs), wind turbine (WT), EDLC and BESS, Japan [8]	110, 230, 240 V	50, 60 Hz	50 kW–2MW
Fuel cells, PV arrays, WTs, ESSs and AC utility; Porto, Portugal [77]	400 V	50 Hz	50–200 kW
More other studies are in [2], [8], [39], [40],			

Tabel 2 Näited AC mikrovõrgust komponentidest. [27]

DC microgrid components	Voltage range	Capacity
Sweden UPN AB [103] for Data center IBM	24–350/380 LVDC (bipolar DC-link)	≥5 MW
Japan NTT Group [103] for data centers	380/400 LVDC (bipolar DC-link)	≥5 MW
New Zealand Telecom NZ [103] for data centers	220 LVDC (bipolar DC-link)	0.5–5 MW
US Intel Corp. [103] for data centers	400 LVDC (bipolar DC-link)	≥5 MW
For general case [75]	187.8 V—450 LVDC	600– 2100 W
Two Steam turbines-Testing prototype [77]	800 V—1200 LVDC	4.8– 18 kW
PV arrays, BESS & AC utility system [9]	180–210 V LVDC (system model)	150– 945 W
	360 V—420 LVDC (for experiment prototype)	
PMSG WTs, BESS & AC utility system [10]	1200 LVDC	0.9– 3.5 MW
Gas engine cogeneration, EDLC, BESS, PV arrays & AC system [12]	±170 V, 340 LVDC (bipolar DC-link)	700– 2700 W
For general case [45] testing prototype	200, 400, 415 LVDC	5 kW, 15 kW

Tabel 3. Näited DC mikrovõrgu komponentidest. [27]

Lisa 2

Välja on toodud 2019. aasta parimad päikesepaneelide tootjad. [49]

MANUFACTURER	EFFICIENCY RANGE	TEMPERATURE COEFFICIENT RANGE	MATERIALS WARRANTY
Solaria	19.4% to 19.8%	-0.39 to -0.39	25 years
Panasonic	19.1% to 20.3%	-0.26 to -0.26	25 years
Solartech Universal	19% to 19.9%	-0.26 to -0.26	15 years
Trina Solar	19% to 19%	-0.39 to -0.39	10 years
LG	18.4% to 21.7%	-0.36 to -0.3	25 years
Mission Solar Energy	18.05% to 18.95%	-0.38 to -0.38	12 years
Silfab	17.8% to 20%	-0.42 to -0.38	12 years
LONGi Solar	17.4% to 19.3%	-0.38 to -0.37	10 years
Winaico	17.13% to 19.4%	-0.43 to -0.38	15 years
Hanwha Q CELLS	17.1% to 19.6%	-0.4 to -0.37	12 years
Talesun	16.9% to 17.5%	-0.39 to -0.39	10 years
Suniva Inc	16.66% to 17.65%	-0.42 to -0.42	10 years
Peimar Group	16.6% to 19.05%	-0.43 to -0.4	20 years
SunPower	16.5% to 22.8%	-0.29 to -0.29	25 years
REC Group	16.5% to 21.7%	-0.37 to -0.26	10 years
Upsolar	16.5% to 19.4%	-0.43 to -0.4	12 years
Boviet Solar	16.5% to 17.5%	-0.4 to -0.4	12 years
Mitsubishi Electric	16.3% to 16.9%	-0.45 to -0.44	10 years
Grape Solar	16.21% to 17.64%	-0.5 to -0.4	10 years
Hyundai	16.2% to 18.9%	-0.41 to -0.4	10 years
Trina Solar Energy	16.2% to 18.6%	-0.41 to -0.39	10 years
Recom Solar	16% to 19.07%	-0.4 to -0.39	12 years
GCL	16% to 17%	-0.41 to -0.41	10 years
Neo Solar Power	16% to 17%	-0.42 to -0.42	10 years
Canadian Solar	15.88% to 18.33%	-0.41 to -0.39	10 years
ET Solar	15.67% to 17.52%	-0.44 to -0.41	10 years
Seraphim	15.67% to 17.52%	-0.43 to -0.42	10 years
Phono Solar	15.66% to 18.44%	-0.45 to -0.4	12 years
S-Energy	15.61% to 18.46%	-0.4 to -0.39	10 years
Heliene	15.6% to 19.3%	-0.43 to -0.39	10 years
RGS Energy	15.6% to 17.1%	-0.45 to -0.45	11 years
JinkoSolar	15.57% to 19.55%	-0.4 to -0.37	10 years
BenQ Solar (AUO)	15.5% to 18.3%	-0.42 to -0.39	10 years
CertainTeed Solar	15.4% to 19.4%	-0.45 to -0.37	10 years
Axitec	15.37% to 17.9%	-0.44 to -0.4	12 years

Lisa 3

Välja on toodud näidismüügipakkumine päikesepaneelide paigaldamiseks eramajale, koos koostatud tasuvusarvestuse ja paigaldavate seadmetega.

MÜÜGIPAKKUMINE

Kuupäev: 12. detsember 2019. a.

Klient: [REDACTED]

Objekt: [REDACTED], Juuliku, Saku vald



Elektrivõrguga ühendatud PV paneelide süsteem 8 390 W (6 031 kWh aastas)

Renusol S10 10° paigalduslahendus lamekatusele: ridasid 5 tk

Seadmed ja paigaldustarvikud	Kogus	Hind	Kokku
Võrguinverter SMA STP 8.0 (3 faasi, 8 kW IP65)	1	1 518,00 €	1 518,00 €
PIKO Solar portaalis tootmisandmete kajastamine	1	0,00 €	0,00 €
Q-CELLS Päikesepaneel Q.PEAK G7 325	20	109,60 €	2 192,00 €
Renusol S10 10° ballastraam	20	29,00 €	580,00 €
Module clamp 33 mm (paneeli kinnitusklamber)	52	1,66 €	86,32 €
Paneelide kinnitussüsteem seinale 6 paneelile	7	33,00 €	231,00 €
MC4 plug + socket type 4/6II D 5.5-9.0 mm (UV kindla kaabli pistikute komplekt)	12	3,00 €	36,00 €
Suncable 1x4 mm² special solar cable (kaabel paneelide taga ja ridade vahel)	20	0,90 €	18,00 €
Suncable 1x4 mm² special solar cable (kaabel paneelide ja inverteri vahel)	40	0,90 €	36,00 €
kilbi tarvikud	1	14,00 €	14,00 €
Q-CELLS Päikesepaneel Q.PEAK G7 315	6	109,60 €	657,60 €

Seadmete maksumus: 5 368,92 €

Päikesepaneelide paigaldamine	Kogus	Hind	Kokku
Päikesepaneelide paigaldamine	26	14,50 €	377,00 €
Renusol S10 kinnitusraami paigaldus	26	9,50 €	247,00 €
Inverteri paigaldamine ja ühendamine elektrikiilbiga	1	55,00 €	55,00 €
Inverteri ja peakilbi vaheline kaabel (ühik: m)	2	1,42 €	2,84 €
Inverteri ja kilbi vahelise kaabli paigaldamine	1	15,00 €	15,00 €
Inverteri häälestamine	1	210,00 €	210,00 €
Projektijuhtimine	1	116,00 €	116,00 €
Kaupade ja töötajate transport (ühik: km)	15	0,40 €	6,00 €
Upitaja Rent	1	45,00 €	22,50 €

Paigaldusteenus: 1 051,34 €

Elektritootjana liitumise vormistamine*	Kogus	Hind	Kokku
Elektritootja liitumistaotlus	1	0,00 €	0,00 €
Elektripaigaldise põhimõtteskeem	1	0,00 €	0,00 €
Tootmiseseadme kaitsesätete seadistamise protokoll	1	5,00 €	5,00 €
Elektrijaama elektriosa projekt	1	28,00 €	28,00 €
Elektripaigaldise nõuetekohasuse deklaratsioon	1	25,00 €	25,00 €
Elektrotehniline kontrollmõõtmine ja nõuetekohasuse tunnistus - peakaitse < 35A	1	80,00 €	80,00 €
Elektripaigaldise nõuetekohasuse teatis	1	0,00 €	0,00 €
Otsellini seadmed (Pistrik OÜ)	0	0,00 €	0,00 €

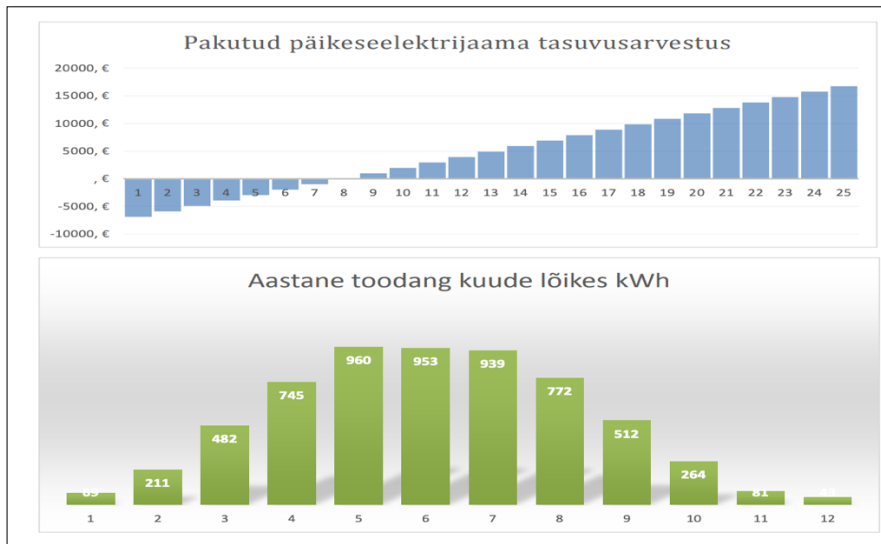
Liitumise vormistamine: 138,00 €

KOKKU (seadmed; paigaldus; liitumine): 6 558,26 €

Käibemaks 20%: 1 311,65 €

Summa + KM 20%: 7 869,91 €

(päikesepaneelid: 0,325 €/W +km; elektrijaam kokku: 1,075 €/W +km)



Joonis 80. Päikeseelektrijaama tasuvusarvestus konkreetsele eramajale.

Q.ANTUM DUO

Q.PEAK DUO-G7
325-335
ENDURING HIGH PERFORMANCE

Q.ANTUM TECHNOLOGY: LOW LEVELED COST OF ELECTRICITY
Higher yield per surface area, lower BOS costs, higher power classes, and an efficiency rate of up to 20.2%.

INNOVATIVE ALL-WEATHER TECHNOLOGY
Optimal yields, whatever the weather with excellent low-light and temperature behaviour.

ENDURING HIGH PERFORMANCE
Long-term yield security with Anti-LiD Technology, Anti-PID Technology, Hot-Spot Protect and Traceable Quality Tra Q™.

EXTREME WEATHER RATING
High-tech aluminum alloy frame, certified for high snow (5400 Pa) and wind loads (4000 Pa).

A RELIABLE INVESTMENT
Inclusive 12-year product warranty and 25-year linear performance warranty*.

STATE OF THE ART MODULE TECHNOLOGY
Q.ANTUM DUO combines cutting edge cell separation and innovative wiring with Q.ANTUM Technology.

* APT test conditions according to IEC TS 62804-1:2015, method B (+350V, 18h)
* See data sheet on rear for further information.

THE IDEAL SOLUTION FOR:

- Roofing areas on residential buildings
- Roofing areas on commercial/industrial buildings

Engineered in Germany

MECHANICAL SPECIFICATION

Format	1685mm x 1000mm x 32mm (including frame)
Weight	18.7kg
Front Cover	3.2mm thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Composite film
Frame	Black anodized aluminum
Cell	6 x 20 monocrystalline Q.ANTUM solar half cells
Junction box	53-325mm x 52-605mm x 15-18mm Protection class (IP): with bypass diodes
Cable	4-core Solar cable, (s) x 1100mm, (c) x 1100mm
Connector	Stäubli MCA, PE8

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

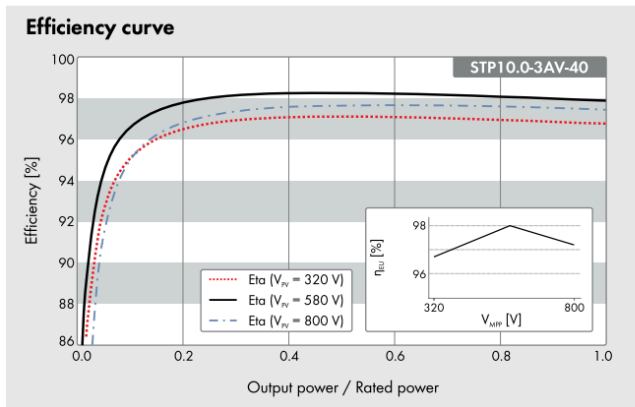
POWER CLASS	325	330	335			
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC* (POWER TOLERANCE +5 W / -0 W)						
Power at MPP	P_{MPP} [W]	505	530	535		
Short Circuit Current	I_{sc} [A]	10.10	10.35	10.21		
Open Circuit Voltage	V_{oc} [V]	40.36	40.62	40.89		
Current at MPP	I_{mp} [A]	9.61	9.67	9.72		
Voltage at MPP	V_{mp} [V]	33.81	34.14	34.47		
Efficiency	η [%]	19.3	19.6	19.9		
MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NMOT*						
Power at MPP	P_{MPP} [W]	243.4	247.1	250.9		
Short Circuit Current	I_{sc} [A]	8.14	8.18	8.22		
Open Circuit Voltage	V_{oc} [V]	38.06	38.31	38.55		
Current at MPP	I_{mp} [A]	7.57	7.61	7.65		
Voltage at MPP	V_{mp} [V]	32.37	32.48	32.79		
<small>* Measurement tolerance $P_{MPP} \pm 3\%$, I_{sc}, $V_{oc} \pm 5\%$ at STC 1000W/m², 25±2°C, AM 1.5 according to IEC 60904-3 + BOD/WHI, NMOT spectrum AM 1.5</small>						
Q CELLS PERFORMANCE WARRANTY		PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE				
<p>At least 99% of nominal power during first year. Thereafter max. 0.54% degradation per year. At least 91.5% of nominal power up to 10 years. At least 85% of nominal power up to 25 years.</p> <p>All data within measurement tolerance. Full warranty in accordance with the warranty terms of the Q CELLS sales organization of your respective country.</p>		<p>Typical module performance under low irradiance conditions in comparison to STC conditions (25°C, 1000W/m²).</p>				
TEMPERATURE COEFFICIENTS						
Temperature Coefficient of I_{sc}	α [%/K]	+0.04	Temperature Coefficient of V_{oc}	β [%/K]	-0.27	
Temperature Coefficient of P_{MPP}	γ [%/K]	-0.35	Normal Module Operating Temperature	NMOT [°C]	43±3	
PROPERTIES FOR SYSTEM DESIGN						
Maximum System Voltage	V_{sys} [V]	2000	Safety Class	E		
Maximum Reverse Current	I_r [A]	50	Fire Rating based on ANSI/UL 1703	C/TYPE 2		
Min. Design Load, Push/Pull	[N]	3800/2887	Permitted Module Temperature on Continuous Duty	-40°C - +85°C		
Max. Test Load, Push/Pull	[N]	5400/4000				
QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES			PACKAGING INFORMATION			
<p>VDE Quality Tested, IEC 61215:2016, IEC 61730:2016, Approver Class II This data sheet complies with DIN EN 50380.</p>			<p>Number of Modules per Pallet</p>			32
			Number of Pallets per Trailer (24)			30
			Number of Pallets per 40' HC-Container (28.5)			26
			Pallet Dimensions (L x W x H)			1780 x 1150 x 1180mm
			Pallet Weight			642kg

Note: Installation instructions must be followed. See the installation and operating manual or contact our technical service department for further information on approved installation and use of this product.

Hannover Q CELLS GmbH
Sommerstraße 17-21, 38106 Starkefeld-Strößen, Germany | TEL: +49 (0)304 66 99 23444 | FAX: +49 (0)304 66 99 23000 | EMAIL: sales@q-cells.com | WEB: www.q-cells.com

Engineered in Germany

Joonis 81. Paigaldatavate päikesepaneelide tutvustus.



Accessories (optional)

TS4-R-X

- M: Monitoring
- S: Shutdown
- O: Optimization

Gateway (GTWY)

SMA Energy Meter

Standard features
 Optional features
 - not available
 Data in nominal conditions
 Last updated: 04/2019

Technical data	Sunny Tripower 8.0	Sunny Tripower 10.0
Input (DC)		
Max. PV array power	15000 Wp	15000 Wp
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range	260 V to 800 V	320 V to 800 V
Rated input voltage	580 V	
Min. input voltage / initial input voltage	125 V / 150 V	
Max. input current input A / input B	20 A / 12 A	
Max. DC short-circuit current input A / input B	30 A / 18 A	
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A;2; B:1	
Output (AC)		
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	8000 W	10000 W
Max. apparent AC power	8000 VA	10000 VA
Nominal AC voltage	3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V	
AC voltage range	180 V to 280 V	
AC grid frequency / range	50 Hz / 45 Hz to 55 Hz 60 Hz / 55 Hz to 65 Hz	
Rated grid frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	
Max. output current	3 x 12.1 A	3 x 14.5 A
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.8 overexcited to 0.8 underexcited	
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	
Efficiency		
Max. efficiency / European efficiency	98.3 % / 97.7 %	98.3 % / 98.0 %
Protective devices		
Input-side disconnection point	•	
Ground fault monitoring / grid monitoring	• / •	
DC reverse polarity protection / AC short circuit current capability / galvanically isolated	• / • / -	
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	•	
Protection class (according to IEC 61140) / surge category (according to IEC 60664-1)	I / III	
General data		
Dimensions (W / H / D)	460 mm / 497 mm / 176 mm (18.1 inches / 19.6 inches / 6.9 inches)	
Weight	20.5 kg (45.2 lbs)	
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)	
Noise emission, typical	30 dB(A)	
Self-consumption (at night)	5.0 W	
Topology / cooling method	Transformerless / convection	
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%	
Features		
DC connection / AC connection	SUNCLIX / AC connector	
Display via smartphone, tablet, laptop	•	
Interfaces: WLAN / Ethernet / RS485	• / • / •	
Communication protocols	Modbus (SMA, Sunspec), Webconnect, SMA Data, TS4-R	
Shade management: OptiTrac Global Peak / TS4-R	• / •	
Warranty: 5 / 10 / 15 years	• / • / •	
Certificates and permits (more available upon request)	AS 4777.2, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438, G59/3-4, G83/2-1, DIN EN 62109 / IEC 62109, NEN-EN50438, ÖVE/ÖNORM E 8001-4-712 & TOR D4, PPC, PPDS, RD1699, SI4777, TR3.2.1, UTE C15-712, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1, VFR 2014, RfG compliant	
Certificates and approvals (planned)	DEWA, IEC 61727, IEC 62116, IEC-EN50438, MEA, NBR16149, NT_Ley20.571, PEA, TR3.2.2	
Country availability of SMA Smart Connected	AU, AT, BE, CH, DE, ES, FR, IT, IL, NL, UK	
Type designation	STP8.0-3AV-40	STP10.0-3AV-40

Tabel 4. Efektivsuse kõver ja tehnilised andmed.

Lisa 4

Välja on toodud Tallinn-Harku meteoroloogia jaama andmed päikesepaiste kestuse kohta, tundides (Andmed saadud päringuna Keskkonnaagentuurist 2019).

aasta	kuu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2019	1	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	4,5	0,0	0,0	0,1
2019	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	0,0	6,2	2,5
2019	3	6,3	6,2	4,5	0,2	0,7	8,0	0,0	3,2	5,1	4,6	1,4	2,0	4,5	0,5	0,0
2019	4	12,6	11,7	12,7	12,7	12,4	12,8	8,5	0,0	0,1	0,0	9,8	13,1	5,4	10,6	13,4
2019	5	12,1	0,0	3,5	6,0	11,4	11,9	5,3	7,8	15,1	1,9	0,0	10,7	0,0	9,7	15,6
2019	6	9,5	5,4	14,6	15,8	16,1	14,6	9,2	12,6	11,7	11,5	6,2	12,2	3,9	0,1	11,9
2019	7	13,6	9,4	8,0	9,9	5,8	9,1	8,7	13,0	0,7	10,0	3,1	14,3	11,8	12,0	8,9
2019	8	14,8	12,9	11,9	12,2	14,6	2,9	8,1	3,8	7,4	6,7	2,1	4,0	7,9	8,6	9,2
2019	9	13,1	8,2	7,6	6,6	7,3	9,2	7,5	0,3	6,3	10,5	1,9	3,9	2,0	8,1	1,0
2019	10	4,7	0,1	4,9	0,2	3,8	2,1	3,5	0,3	0,1	0,3	1,1	1,6	3,5	0,0	4,0
2019	11	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	5,2
2019	12	1,8	2,9	0,9	2,1	0,0	0,0	0,0	2,1	0,5	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0

aasta	kuu	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	kuu summa
2019	1	2,0	0,0	0,8	0,5	0,1	4,9	5,7	0,0	0,4	0,0	4,6	4,8	0,0	0,0	0,9	0,0	36,5
2019	2	8,0	8,3	4,4	0,0	0,0	8,3	9,1	0,0	0,2	8,1	1,6	0,2	3,3				70,1
2019	3	0,0	0,0	0,9	0,0	4,5	1,5	11,7	1,1	11,8	9,1	11,6	9,7	11,9	11,8	9,4	2,5	144,7
2019	4	13,4	13,4	13,4	12,6	8,9	13,6	12,9	13,6	13,6	1,1	2,5	13,8	14,2	14,1	14,0		310,9
2019	5	15,6	15,7	15,7	11,7	8,1	13,3	15,4	10,5	3,8	4,4	2,9	0,0	6,8	10,7	14,6	10,7	270,9
2019	6	17,0	13,6	17,0	16,5	11,4	16,5	13,5	14,1	14,8	10,9	0,1	3,3	16,4	9,7	12,5		342,6
2019	7	3,7	15,3	15,8	15,8	15,9	15,4	1,1	15,2	15,7	15,7	14,7	15,5	14,6	12,5	7,2	9,0	341,4
2019	8	6,5	7,4	10,6	2,7	8,4	1,1	11,2	6,0	13,2	13,4	12,6	10,1	13,0	11,3	4,0	9,5	268,1
2019	9	3,6	9,5	5,4	7,5	7,0	0,3	7,9	6,5	4,2	4,6	0,7	10,9	9,1	1,9	2,0		174,6
2019	10	0,0	0,0	0,0	1,7	0,2	0,0	0,0	0,2	2,8	0,1	0,0	0,0	2,8	3,3	5,5	1,8	48,6
2019	11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6		21,6
2019	12	0,1	0,2	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4	15,3