

Energiatehnoloogia instituut

## **TALTECH PÄIKESEENERGIALABORI KONTSEPT**

### **TALTECH SOLAR ENERGY LAB CONCEPT**

#### **BAKALAUREUSETÖÖ**

Üliõpilane: Kätlin Smirnov

Üliõpilaskood 206673EACB

Dr.sc.ing. Anna Volkova,

Juhendaja: professor, uurimisrühma juht

*(Tiitellehe pöördel)*

## **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.

“30” mai 2023

Autor: Kätlin Smirnov

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“30” mai 2023

Juhendaja: Anna Volkova

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees Oliver Järvik

/ allkirjastatud digitaalselt /

# **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Kätlin Smirnov (sünnikuupäev: 11.01.2001)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „TalTech päikeseenergia labori kontsept“, mille juhendaja on Anna Volkova,
  - 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup>*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

/ allkirjastatud digitaalselt /

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Kätlin Smirnov, 206673 (nimi, üliõpilaskood)

Õppekava, peeriala: EACB, Keskkonna-, energia- ja keemiatehnoloogia (kood ja nimetus)

Juhendaja(d): Dr.sc.ing. Anna Volkova, professor ja uurimisrühma juht

Konsultant: PhD Sreenath Sukumaran, järeldoktorant

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) TalTech päikeseenergialabori kontsept

(inglise keeles) TalTech Solar Energy Lab Concept

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade päikesesoojusest ja selle kasutusest kaugküttes
2. Tuua välja kuulsate päikeseenergialaborite lühikirjeldused
3. Viia läbi osakomponentide turu-uuring TalTech päikeseenergialabori jaoks ja analüüsida tulemusi ning anda ülevaade rajatava päikeseenergialabori kontseptist

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Päikesesoojuse ja selle kasutuse kaugküttes ülevaate koostamine	07.05
2.	Euroopa erinevate päikeseenergialaborite uurimine	21.05
3.	Osakomponentide turu-uuringu läbiviimine ja järelduste tegemine	26.05
4.	Lõputöö vormistamine	29.05

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "30" mai 2023a

**Üliõpilane:** Kätlin Smirnov "30." mai 2023a

/ allkirjastatud digitaalselt /

**Juhendaja:** Anna Volkova "30." mai 2023a

/ allkirjastatud digitaalselt /

**Programmi juht:** Oliver Järvik ".....".....202.....a

/ allkirjastatud digitaalselt /

# SISUKORD

EESSÕNA .....	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU.....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1. PÄIKESESOOJUS .....	9
1.1 Päikesekollektorid .....	11
1.2.1 Lame-paneelkollektor .....	12
1.2.2 Hüperboolne parabool kollektor .....	12
1.2 Päikesesoojus maailmas .....	13
2. KAUGKÜTE JA PÄIKESESOOJUS .....	15
2.1 Erinevad süsteemid .....	17
2.1.1 Tsentraliseeritud süsteemid .....	17
2.1.2 Detsentraliseeritud süsteemid .....	17
2.1.3 Teised süsteemid.....	17
2.2 Lisakomponendid .....	18
2.2.1 Soojuse salvestamine .....	18
2.2.2 Soojuspumbad .....	19
2.3 Plussid ja miinused.....	19
2.4 Kasutus maailmas .....	20
2.4.1 Taani.....	20
2.4.2 Hiina .....	22
2.4.3 Läti .....	23
3. PÄIKESEENERGIALABORID .....	24
3.1 Päikesenergia-süsteemide Labor (Läti) .....	24
3.2 Säästvate Soojusenergia Tehnoloogiate Labor (Suurbritannia) .....	25
3.3 Archimedes Päikeseenergialabor (Küpros) .....	27
4. TALTECH PÄIKESESOOJUSE LABOR .....	30
4.1 Soojus .....	33
4.2 Elekter .....	33
4.3 Ilmajaam.....	34
4.4 Osakomponentide turu-uuring .....	35
4.4.1 Ilmajaam .....	36
4.4.2 Päikesekollektorid ja paneelid .....	37
KOKKUVÕTE .....	38
SUMMARY .....	39
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	40

## **EESSÕNA**

Autor soovis oma bakalaureusetööd siduda taastuenergiaallikatega ja Igor Krupenski edastas 2023. aasta veebruaris info, et TalTech on rajamas oma päikeseenergialaborit, mille uurimisrühma juhib Anna Volkova. Sealt edasi pandi juba paika kava ja eesmärgid, ning hakkas pihta turu-uuring. Paralleelselt toimus teooria ülevaate kirjutamine, mille andmed pärinevad kirjandusest, mis on toodud välja töö lõpus.

Autor soovib tänada lõputöö juhendajat Anna Volkovat, meeldiva koostöö ja kannatliku suhtumise eest ning lõputöö konsultanti, kelleks oli Sreenath Sukumaran, lisaks kõiki teisi isikuid, kes olid toeks töö valmimisel.

Päikeseenergialabor, päikesesoojus, kaugküte, bakalaureusetöö

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

GWt, TWt –energia, mida toodab/tarbib ühtlasel võimsusel üks gigavatt/teravatt töötav seade ühe tunni jooksul

GWth, TWth - soojus, mida toodab/tarbib ühtlasel võimsusel üks gigavatt/teravatt töötav seade ühe tunni jooksul

PV paneel – fotogalvaaniline päikesepaneel

PV/T paneel – fotogalvaaniline/päikesesoojuspaneel

TalTech – Tallinna Tehnikaülikool

TW, GW – mõõtühik, mis tähistab võimsust, mida tarbib või toodab elektriseade

## SISSEJUHATUS

Päikeseenergia on maailma vanim energiaallikas, mida kasutati juba iidsete tsivilisatsioonide poolt toidu kuivatamiseks. Üllatavalt hakati esimese tehnoloogiana kasutama kontsentreeritud päikesekollektoreid, mis on oma ehituse poolest üsna keerulised. Need tootsid soojust ahjudele, et sulatada erinevaid metalle ja seda juba 18. sajandil. Järgnevalt leiutati päikeseenergial töötavad aurumootorid, mida kasutati enamasti Euroopas ja Aafrikas ning sealt edasi hakati juba arendama veeboilereid. [1]

Vaatama pikale ajaloole toodeti 2019. aastal 84% maailma primaarenergiast fossiilkütustest, mis ei ole globaalselt enam jätkusuutlik arvestades energianõudluse kasvu, suureneva rahvastiku ja tööstusliku arengu tõttu [2], [3]. Seega on päikesest saanud käesolevas energiakriisis maailma jaoks tähtis taastuvenergiaallikas, eriti tänu selle tõhususele ja kättesaadavusele [3].

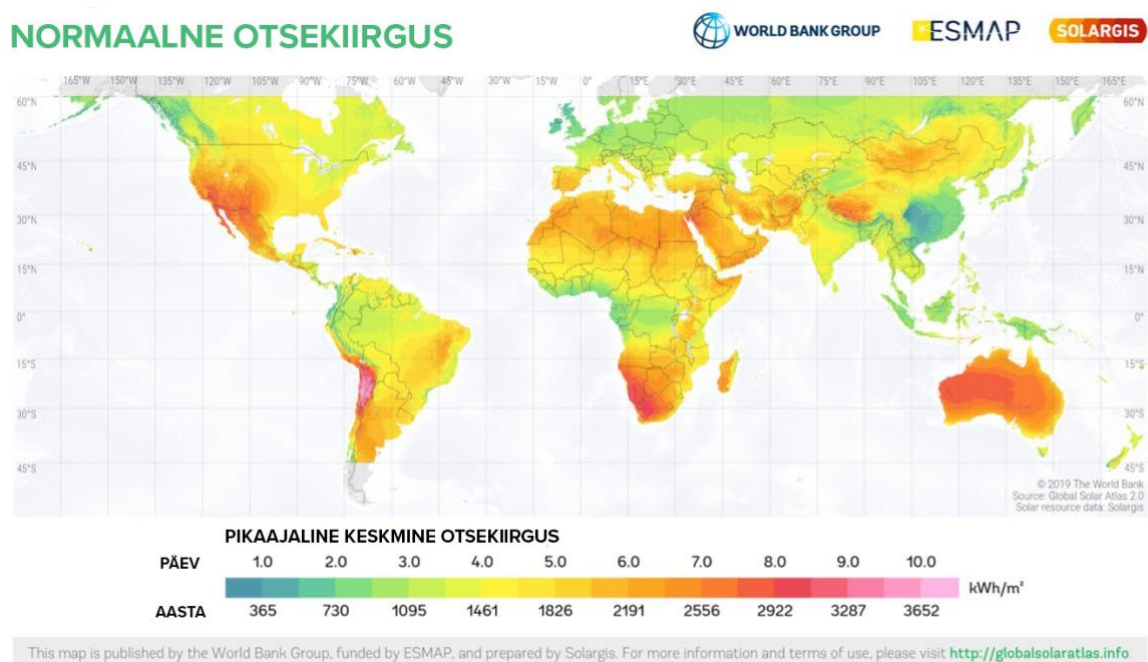
Teema valiti kuna päikesesoojuse kasutuselevõtt muutub üha populaarsemaks ja vajalikumaks kliimaeesmärkide saavutamiseks. Seda saab ka teha Eestis, kuna kaugküte on üks levinumaid soojustootmise viise ja päikesekiirguse hulk on piisav. Efektivsemate tehnoloogiate arendamiseks on vaja aktuaalset ülevaadet sektorist, mis oli selle bakalaureusetöö üheks eesmärgiks. Teiseks oli koostada TalTechi rajatava päikesenergialabori osakomponentide turu-uuring ja anda ülevaade labori kontseptist.

Täpsemalt antakse ülevaade päikesesoojuse sektorist ja selle kasutusest maailmas. Miks ja kuidas kasutatakse seda kaugküttes nii Euroopas kui ka mujal maailmas ja mis põhikomponentidest päikesesoojuse osakaaluga kaugküttesüsteem koosneb. Lisaks milleks on vajalikud ülikoolides päikeseenergialaborid ja nende lühikirjeldused. Viimaks on välja toodud TalTech labori põhikomponentide kirjeldused ja nende jaoks tehtud turu-uuringu tulemused ning analüüs.



# 1. PÄIKESESOJUS

Päikesekiirgust saab püüda ja muuta kasulikeks energialiikideks nagu soojus ja elekter [4]. Maakerale jõuab 84 minuti jooksul piisavalt päikesekiirgust, et katta ära inimkonna aastane energiavajadus, kuid spetsiifilise asukoha kiirguse hulk sõltub geograafilisest asukohast, hooajast, kellajast, maastikust ja kohalikust ilmast [1], [5]. Joonis 1.1 näitab päikesekiirguse jaotumust maailmas.

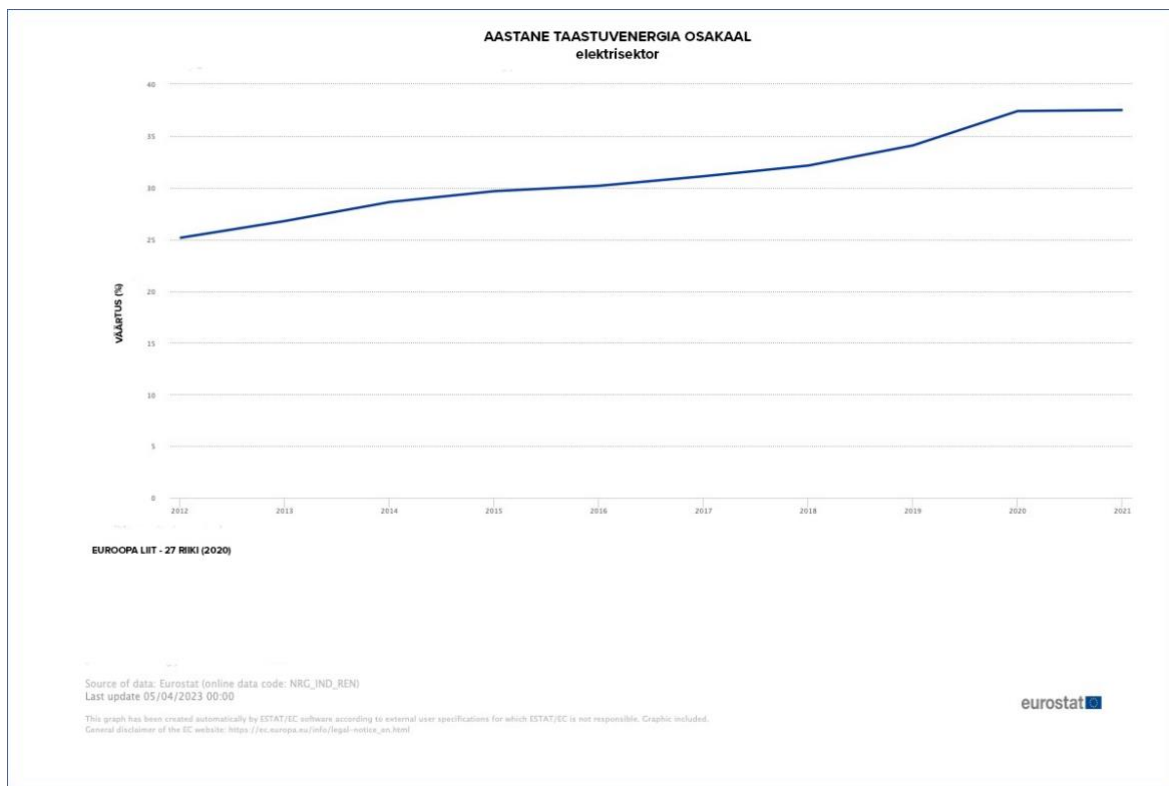


Joonis 1.1 Otsese päikesekiirguse jaotumus maailmas [6]

Elektri tootmiseks kasutatakse peamiselt fotogalvaanilisi ja kontsentreeritud päikeseenergia süsteeme. Esimese põhimõtte seisneb päikesevalguse otsesel muundamisel elektrienergiaks, kasutades pooljuhtmaterjale. 2020. aasta lõpus ulatus selle meetodi koguvõimsus maailmas 710 GW-ni. Viimasel kümnendil on päikesepaneelide tootmiskulud langenud lausa kuni 93%, mis teeb selle tasukohaseks ja odavaks lahenduseks. [7]

Kontsentreeritud meetod kasutab päikesekiirte koondamiseks peegleid, mis omakorda soojendavad vedelikku, et toota auru ja panna käima turbiini, mis elektrit toodab. 2020. aasta lõpuks oli selle meetodi koguvõimsus üleilmsetelt 7 GW. Suurim eelis võrreldes fotogalvaaniliste süsteemidega on salvestuse kasutamine, mis võimaldab elektrit toota ka pärast päikese loojumist. [7]

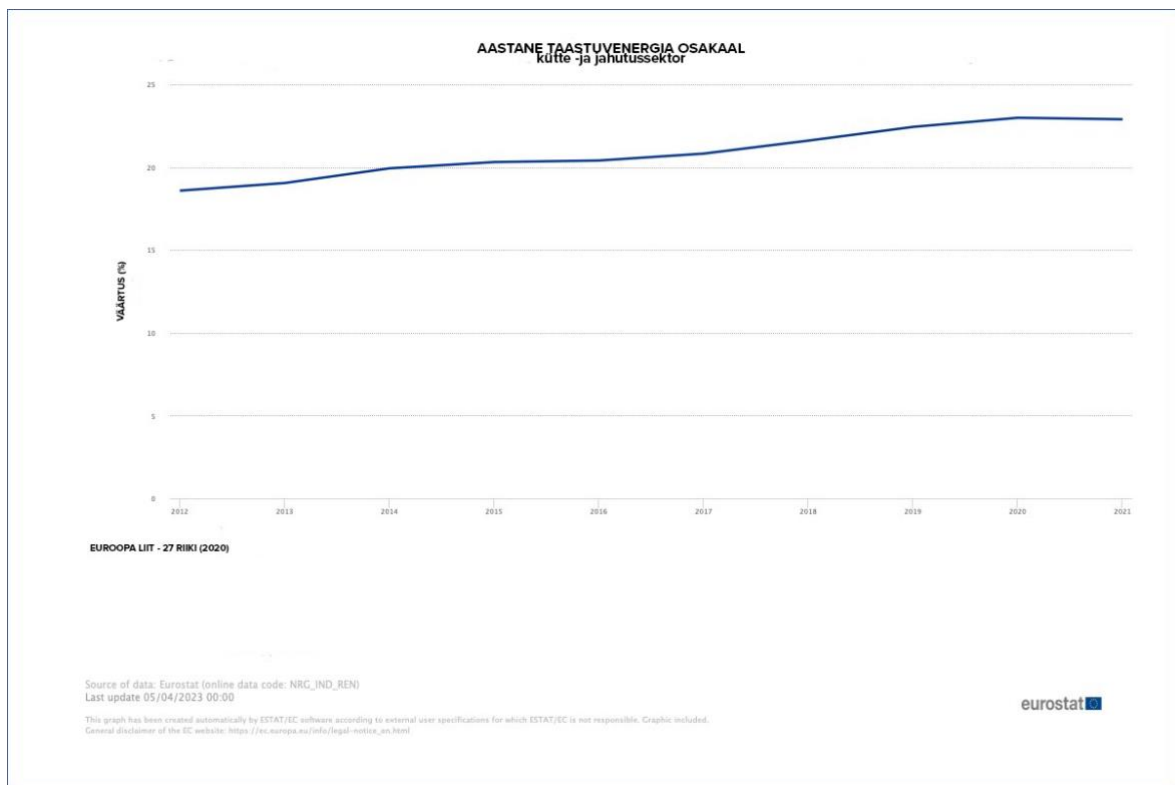
Euroopa Liidus oli taastuvenergiaallikate kasutamine sektoris kasvutrendis, kuid pärast koroonakriisi on see stabiliseerinud ja 2021. aastal jäi 37,5 protsendi juurde, Joonis 1.2 [8].



Joonis 1.2 Taastuvenergia osakaal elektrisektoris [9]

Päikeseenergia maailmas enimlevinud viis, kuidas tarbevett soojendada ja esimene päikeseenergia baasil veeboiler leiutati juba 1891. aastal insener Clarence Kemp poolt. Kuni 1930ndateni olid need väga populaarsed, kuid siis langes energia hind ja eelistati pigem fossiilkütusel põhinevaid veesoojenditeid, sest algkapitali vajadus oli väiksem. 1970ndatel tekkis aga vastupidine probleem, sest energia oli kallid ja veesoojendid võtavad eramajas enda alla 20-30% kogu energiatarbimisest, seega tekkis ostubuum enamuses riikides, eriti Barbadoses, Küprosel ja Iisraelis, kus on tänaseks 90 protsendil kodudest päikeseenergia veesoojendid. [10]

Kütte-, ventilatsiooni- ja kliimaseadmed moodustavad Euroopas 51% energiatarbimisest ja umbes 27% süsinikdioksiidi heitkogustest [11], [12]. Taastuvenergiaallikate kasutusele võtt on soojuse valdkonnas olnud palju aeglasem kui elektritootmises, hetkel olles vaid 22,9%, Joonis 1.3. Üle poole on osakaal Euroopa Liidu riikidest vaid Rootsis, Eestis, Lätis ja Leedus. [13] Käesolevas töös keskendume just ruumikütte valdkonnale.



Joonis 1.3 Taastuenergia osakaal soojus- ja jahutussektoris [9]

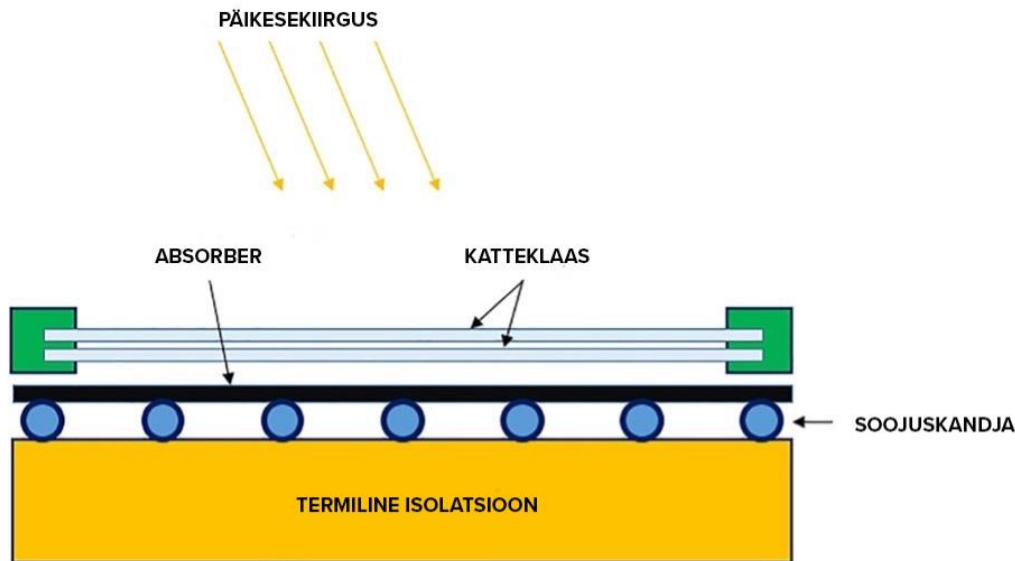
Päikesekollektorite kasutamine soojuse tootmiseks on tänu tõhususe ja kulutasuvuse tõttu üsnagi populaarseks saanud. Lisaks saab neid kasutada piirkondades, kus on madal päikese intensiivsus ja halvad ilmastikutingimused. See süsteem koosneb kolmest mehhanismist, milleks on valguse neeldumine, muundamine ja salvestamine. [3]

## 1.1 Päikesekollektorid

Iga päikeseküttesüsteemi põhikomponendiks on kollektor, mille eesmärk on absorbeerida peale langevat päikesekiirgust ja muundada see soojuseks, mis kantakse üle kollektorit läbivale soojuskandjale, milleks on tavaliselt vesi või õhk [1]. See on protsessi primaarne etapp, edasi kantakse soojus sekundaarselt kas kohe kasutamiseks või soojussalvestisse, kus seda hoiustatakse [14]. Järgnevates punktides on toodud välja ülevaade kollektoritest, mis kuuluvad TalTech päikeseenergialabori varustusse.

### 1.2.1 Lame-paneelkollektor

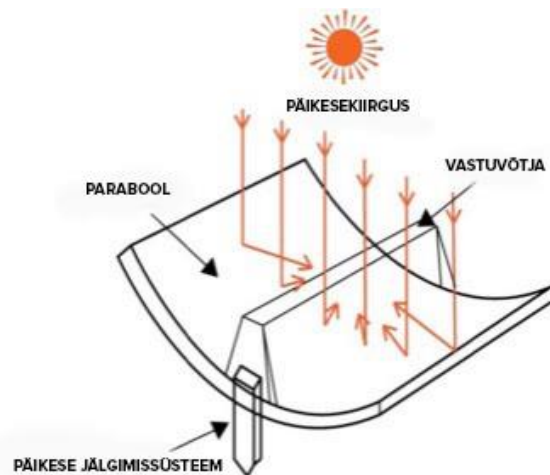
Üks maailmas enim kasutatav kollektortüüp, kuna omab odavat hinda ja tootmiskulusid, lisaks kogub nii hajutatud kui ka otsest kiirgust. Päikesekiirgus langeb läbipaistvale pealiskihi adsorberile, mis on valgust neelavast materjalist, ei puudu ka isolatsioonikiht, mis aitab soojuskadusid vähendada. Edasi antakse energia soojuskandjale, kas salvestamiseks või kasutamiseks. [1] Eluiga on üle 25 aasta ja hoolduse vajadus on lihtsa ehituse tõttu minimaalne, ehitust on näha Joonis 1.4 [15].



Joonis 1.4 Lame-paneelkollektori ehitus [16]

### 1.2.2 Hüperboolne parabool kollektor

Tegemist on päikest järgiva kontsentreeritud kollektoriga, mis tähedab, et süsteem liigutab selle asendit vastavalt päikese liikumisele. Hea lahendus, mis on odav ja efektiivne ning suudab saavutada temperature 50-400°C. Koosneb peegeldavast materjalist, mis on painutatud parabooli kujuliseks. Kiirguse vastuvõtjaks on must metalltoru, omakorda kaetud klaasiga, mis asub fookuskeskmes, et saavutada maksimaalne efektiivsus ja soojendada vedelikku, muundades kiirguse kasulikuks soojuseks.[1]



Joonis 1.5 Hüperboolse parabool kollektori ehitus [17]

## 1.2 Päikesesoojus maailmas

Aastaks 2021 oli maailma päikesesoojusturu võimsus 522 GWth, mis võtab päikesekollektorite näol enda alla 746 miljonit m<sup>2</sup> ja toodeti rekordiliselt 425 TWh soojust. Selle tulemusel välditi 147,5 miljonit tonni süsinikdioksiidi heitmeid, mis näitab kui oluline on päikesesoojusse investeerimine. Aastaga kasvas installeeritud koguvõimsusele 21 GWth võrra, mis võrdus kolme protsendilise tõusuga pärast seitsme aasta pikkust langust. Rajati 44 uut suuremahulist päikeseküttesüsteemi - 20 neist asusid Hiinas, 14 Euroopas, 7 Türgis ja 3 Mehhikos. Kõige suuremad neist olid 5,6 MWth võimsusega Taanis ning kaks 4,0 MWth võimsusega Austrias ja Saksamaal. [18]

Kokku on aktiivses kasutuses 109 miljonit päikeseküttesüsteemi, suurimat installeeritud võimust omavad Hiina, Türgi ja Ameerika Ühendriigid, kuid kui võrrelda *per capital* andmeid on esikolmik Barbados, Küpros ja Iisrael [18].

Vaadates turu jaotuvust võtavad väiksemahulised päikeseküttesüsteemid enda alla umbes 60%. Neid kasutatakse enamasti eramajade, korterite, avalike hoonete vee kütteks ja teatud määral ka ruumi kütmiseks. Suuremahuliste süsteemide turg oli 1980. aastate algusest kuni 2016. aastani peaaegu eranditult koondunud Euroopasse. [18]

Maailma tasemel on kõige populaarsemad vaakumtoru kollektorid, umbes 60% ja lame-paneelkollektorid, umbes 34%. Euroopas eelistakse aga lame-paneelkollektoreid, umbes 71% ja vaakumtoru kollektorid on teisejärgulised, umbes 28%. Umbkaudne

maailmaturu maksumus oli 2020. aastal 17 miljard eurot ja see pakub tööd 380 000-le töötajale. [18]

## 2. KAUGKÜTE JA PÄIKESESOOJUS

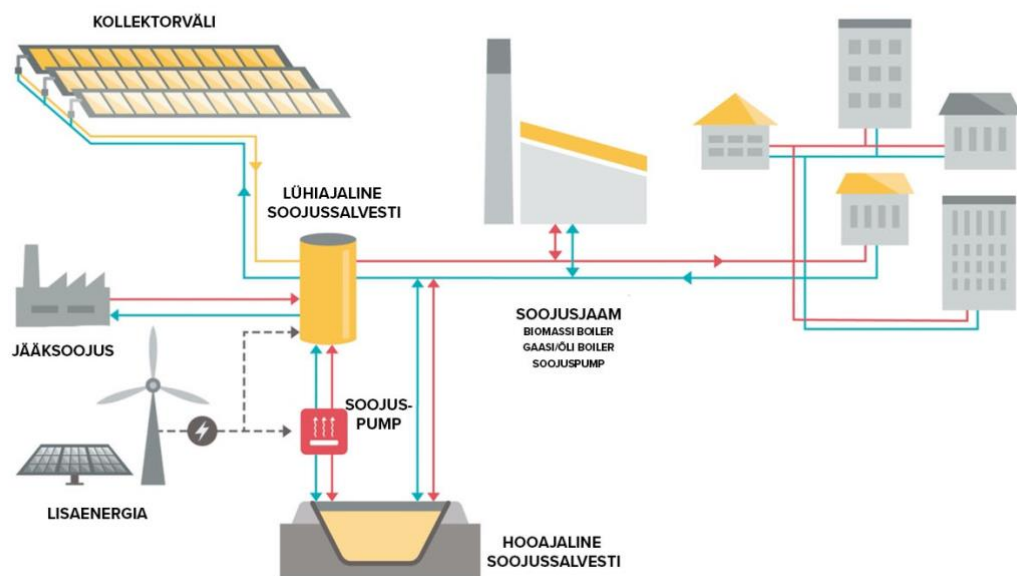
Kaugkütet on soojuse tootmiseks ja jaotamiseks kasutatud juba sajandeid, vanim kaugküttesüsteem, mis töötab juba alates 14. sajandist asub Prantsusmaal Chaudes-Aigues külas. Esimesed kaugküttesüsteemid paigaldati Euroopas 1920ndatel, eesmärgiga vähendada kütuse nõudlust ja tarnida soojust tõhusamalt ja veelgi enam kogus populaarsust 1970ndatel naftakriisi ajal. Siiski moodustas kaugküte 2021. aastal ainult 8% kogu soojuse lõpptarbimisest, lausa 90% sellest oli toodetud fossiilkütustest. [19], [20]

Kaugkütte kontseptsiooniks on soojuse ringlussevõtt, mis muidu läheks raisku, võimaldades loodusvarade tõhusat kasutamist. Sel põhjusel on see suuresti kasutusel riikides nagu Rootsi ja Saksamaa, sest seal on palju energiamahukaid tööstusi. Samuti kasutatakse traditsiooniliselt kaugkütet riikides, mis sõltuvad fossiilkütuste impordist. Ida-Euroopas on see populaarne Nõukogude Liidu mõju tõttu, kuna kaugküte oli tähtis osa plaanimajandusest. [20]

Sajandiga on tehnoloogia oluliselt arenenud. Esimese generatsiooni kaugküttesüsteemidel oli soojuskandjaks aur, mille temperatuurid võisid ulatuda kuni 200°C. Järgmisena võeti kasutusele süsteemid, kus soojust transpordib üle 100°C rõhu all olev ülekuumendatud vesi, mis võimaldas tõhusalt ära kasutada elektrijaamade heitsoojust ning sellega suurenes tööohutus, soojusjaotus kui ka efektiivsus. [21] Kolmandat generatsiooni tutvustati 1970ndatel, uueks faktoriks olid materjali – ja tööjõusäästlikud komponendid, mille kasutustemperatuurid jäid alla 100°C. Soojuskandjaks kasutati endiselt surve all olevat vett. Seega tõsis järelegi oluliselt energiatõhusus ja langesid investeringu- ja kasutuskulud ja hakati fossiilkütuseid kombineerima taastuvenergiaga. Neljas ja viies generatsioon omab võtmetähtsust, et saavutada taastuvate energiaallikate suurem osakaal kaugküttes. Selleks on aga vaja välja töötada viis, et süsteemid töötaks veelgi madalamal pealevoolutemperatuur, et suurendada efektiivsust ja paindlikkust, et kombineerida erinevate energiaallikatega. [22]

Päikesekollektorite toodetud soojuse kasutamist kaugküttes on üsnagi uus meetod, varem on piirdunud enamasti ainult tarbevee soojendamisega. Esimest korda võeti aga kasutusele Skandinaavia riikides, täpsemalt Rootsis, kus valmisid esimesed suuremahulised päikeseenergia kaugküttesüsteemid 1979. ja 1980. aastal ja pärast seda pärast seda kiirendasid teised riigid oma tehnoloogilist arendust. [23]

Päikeseenergia kaugküttejaamadele toodavad soojust suured päikesekollektorite väljad, mis tavaliselt paigaldatakse kas vabale maapinnale või katusele [24]. Suurem osa süsteeme kasutavad lame-paneelkollektoreid kuna neil on kõrge efektiivsus ja pikk eluiga ning suurte moodulitega vähendatakse paigalduskulusid, kuid nendega on maksimaalne saavutatav temperatuur 80°C. Kõrgetemperatuuriliste süsteemide jaoks kasutatakse hüperboolseid parabool kollektoreid, mis suudavad saavutada 70-150°C. [23], [14] Tavaliselt paigaldatakse kuni 20 kollektorit paralleelselt ja ühe ruumala jääb 10-15 m<sup>2</sup>. Maa-ala valides kehtib reegel, et 1 m<sup>2</sup> kollektorpinna jaoks on vaja 3-4 m<sup>2</sup> maad. Päikeseenergia ebastabiilsuse tõttu kombineeritakse päiksega tavaliselt erinevaid soojusallikaid nagu biomass, heitsoojus ja soojuspumbad ja päikeseosakaal jääb tavaliselt Taani näitel 16- 24 protsendi juurde. [23], [25]



IEA SHC TASK 55

Joonis 2.1 Päikeseenergia osakaaluga kaugküttesüsteemi ehitus [26]

Joonis 2.1 on näha päikeseosakaaluga kaugküttesüsteemi põhikomponente, milleks on kollektorväli, tsirkulatsioonipumpad, sojussalvesti, soojusjaotusvõrk, alajaamad ja täiendav soojusallikas [15]. Keskmise kollektorvälja efektiivsus Taani põhjal on 40% [27].



Süsteemide maksumus tuleneb suuresti asukohast ja tehnoloogia kvaliteedist, kuid Euroopas suurte süsteemide puhul võivad investeerimiskulud ulatuda vahemikku 315 kuni 930 eurot/kWth ja energia maksumus jääb 35 kuni 135 EUR/MWhth juurde [28].

## **2.1 Erinevad süsteemid**

Päikesekollektorite väljaga kaugküttesüsteemide jaotatakse tavaliselt tsentraliseeritud või detsentraliseeritud süsteemideks, lähedamalt järgnevates punktides.

### **2.1.1 Tsentraliseeritud süsteemid**

Päikesekollektorite väli on paigaldatud peamise kaugküttega läheduses olevale maalale ja need lisatakse tavaliselt juba olemasolevatele süsteemidele, et vähendada fossiilkütuste kasutamist ja soojus antakse otse peajaama. Euroopas on turg domineeritud lame-paneelkollektoritest, mis võtavad enda alla 90%. Juhul kui kollektorväli ei suuda tagada vajalikku temperatuuri on jaam varustatud lisaenergiaallikaga, mis tõstab temperatuuri vajatud tasemele. [20], [28]

### **2.1.2 Detsentraliseeritud süsteemid**

Päikesekollektorid, mis on tavaliselt paigutatud vabale katusepinnale, erandjuhul ka maapinnale ühendatakse kaugküttevõrguga väljaspool peajaama ja ei kasutata salvestamist. Süsteem ühendatakse võrku, kas tagasivoolu vett soojendades ja pumbades see tagasi toitetorusse, mis ei nõua lisatööd või paigaldatakse eraldi kolmas toru, mis viib päikeseenergiaga soojendatud vee tagasivoolutorusse, kuid see tõstab tagasivoolu temperatuuri, seega on mittesoovituslik enamus süsteemides. [20]

### **2.1.3 Teised süsteemid**

Kvartalsüsteemid hõlmavad väikseid kaugküttesüsteeme, mis on kulutõhusad ja on kasutuses enamasti uutes elamupiirkondades, kus kollektorid paigutatakse juba maju

ehitades. Tüüpiline võimsus jääb 50 kW kuni 10 MW juurde ja päikeseenergia osakaal jääb umbes 20 protsendi juurde. [20]

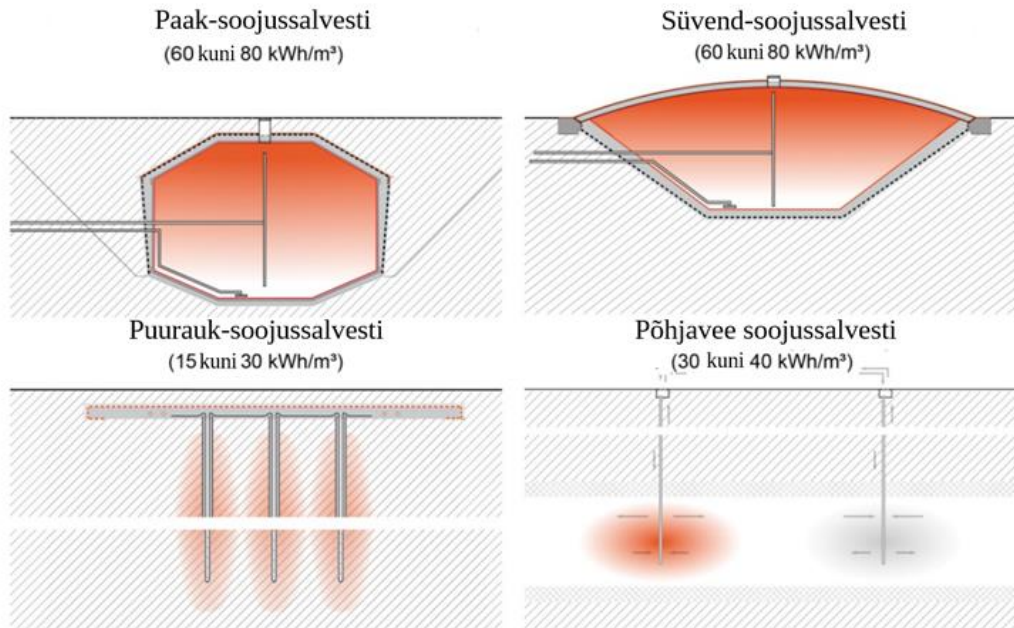
## **2.2 Lisakomponendid**

Selleks, et süsteemi päikeseosakaal saaks ületada 20% ja efektiivsus tõuseks samuti, on vaja installeerida lisakomponendid [20].

### **2.2.1 Soojuse salvestamine**

Päikesekiirgus on teadavasti suurim päevasel ajal kuid soojuskoormuse tippaeg on vastupidi õhtul, seega peab soojust salvestama, et suurendada küttesüsteemi potentsiaali. Lühiajaliseks ehk maksimum paaripäevaseks ladustamiseks kasutakse terasest või betoonist valmistatud akumulatsioonipaake, mis on tavaliselt parema isolatsiooni tagamiseks vähemalt osaliselt maa sisse kaevatud. Tavaliselt jääb selliste süsteemide päikese osakaal alla 30 protsendi. Päevase päikesesoojuse koguse jaoks on vaja 50 -100 liitrit vett kollektorpinna kohta ja vee temperatuur peab jääma alla 100°C. [20], [15]

Veel suurem päikese osakaal on saavutatav hooajalise soojussalvestusega, mille käigus salvestatakse suvel üleliigset päikesesoojust, et kasutada hilisemal perioodil, selleks on aga vaja 3500 – 4000 l/m<sup>2</sup>. Peamised neli salvesti tüüpi on: paagid, süvendid, puuraugud ja põhjaveekihid, vaata Joonis 2.3. Esimene variant on kõige mitmekülgsem, sest paake kasutatakse ka lühiajalisel salvestamisel. Veesüvendeid kasutatakse enamasti kui on vajalik väga suurt soojusmahutavust, põhimõte on sama, mis paakidel. Süvendid kaevatakse maasse ja muudetakse veekindlaks ning kaetakse kaanega, mis on salvesti kõige keerukam ja kulukam komponent. Temperatuur jääb 80-90°C vahemikku kuna voodermaterjalid ei talu kõrgemaid temperatuure. Puurauk-soojussalvesti valmistatakse puurides sügavaid vertikaalseid auke maapinna sisse ja sisestakse ja sisestakse soojusvahetid, mille kaudu saab soojust laadida või tühendada. Selle meetodi puuduseks on madal soojusmahutavus ja soojusvahetite ning soojuspumpade vajadus. Kõige odavamaks tehnoloogiaks on kasutada põhjaveekihte, ehitades kaevud ja laadimisel külm põhjavesi tõmmatakse üles ja kuumutatakse ning lastakse sooja kaevu ning tühjendamisel toimub protsess vastupidi. Selleks on vaja spetsiifilisi hüdrogeoloogilisi tingimusi, sest põhjavesi peab olema ümbritsetud vett mitte läbilaskvate kihtidega. [20], [29]



Joonis 2.3 Enim kasutatavad soojussalvesti tüübid [29]

## 2.2.2 Soojuspumbad

Soojuspump on seade, mis muudab madalatemperatuurilise soojuse kõrgetemperatuuriliseks. Soojuspumbad on kõrge efektiivsusega, sest toodavad soojust kolm kuni viis korda rohkem kui ise elektrit tarbivad. [30] Päikesekütteüsteemid sisaldavad tihti soojuspumpa, mis on oluliseks komponendiks energiasüsteemis, kuna võimaldab protsessi stabiilsemaks teha ja suurendab varustuskindlust. Enamasti kasutatakse koos hooajalise salvestusega, kus viimane toimib kui madalatemperatuurine soojusallikas. See on hea viis kompenseerida hooajalist erinevust soojusnõudluse ja päikesekiirguse hulgal. [31] Kaugkütte sektoris on levinud vesi-vesi soojuspumbad, kuna need toodavad kõige tõhusamalt madalakvaliteediga soojusest kõrge temperatuuriga vett [29].

## 2.3 Plussid ja miinused

Päikesenergia kasutamise kaugküttes suurimad eelised on:

- heitmevaba ja 100% taastuvenergia;
- stabiilne hind;
- varustuskindlus;
- positiivne majanduslik mõju; [32]

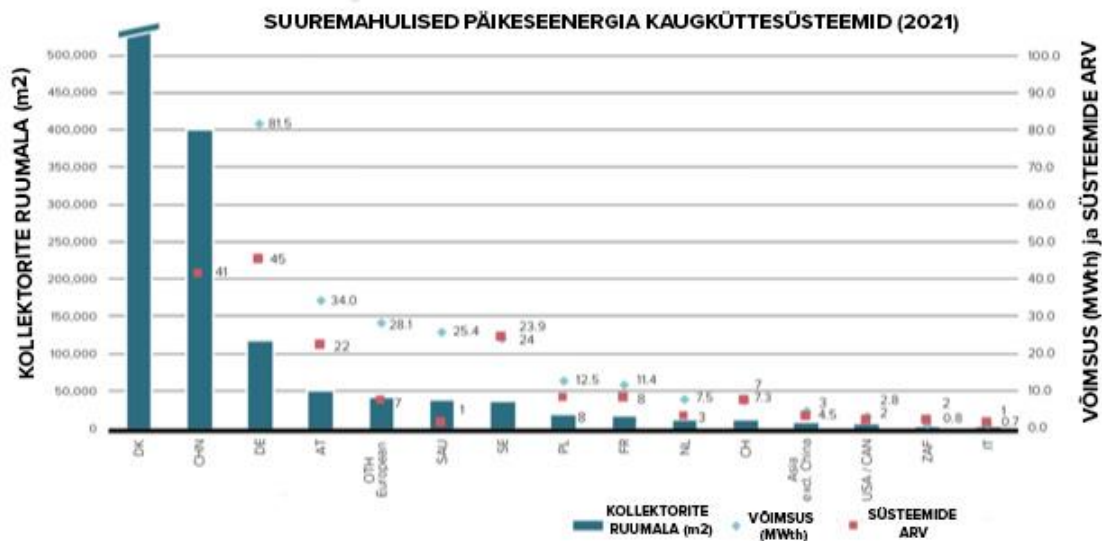
- madalad opereerimiskulud;
- madal investeermisrisk. [33]

Puudusteks on aga:

- kõrged finantseerimiskulud;
- sobilike maa-alade puudus;
- pikk tagasimakseae. [33]

## 2.4 Kasutus maailmas

2021. aasta lõpuks oli töös 299 suuremahulist päikeseenergia põhist kaugküttesüsteemi, koguvõimsusega 1645 MWth. Juhtivad riigid maailmas on Taani 125 süsteemiga, Hiina 41 süsteemiga, Saksamaa 45 süsteemiga ja Austria 22 süsteemiga, Joonis 2.4. [18]



Joonis 2.4 Juhtivad riigid päikeseenergia kasutamisel kaugküttes [18]

### 2.4.1 Taani

Alates 2016. aastast on maailma suurim päikeseenergia kaugküttesüsteem Taanis Silkeborgi linnas ja selle kogu võimsus on 110 MWth ning ruumala 156 694 m<sup>2</sup>. Jaam koosneb 12 436 paneelkollektorist, kattes 20% 44 000 elanikuga linna kaugküttevõrgustiku soojusvajadustest ja kogu suvise koormuse, kollektorvälja paigutus on näha Joonisel 2.5. [34], [35]

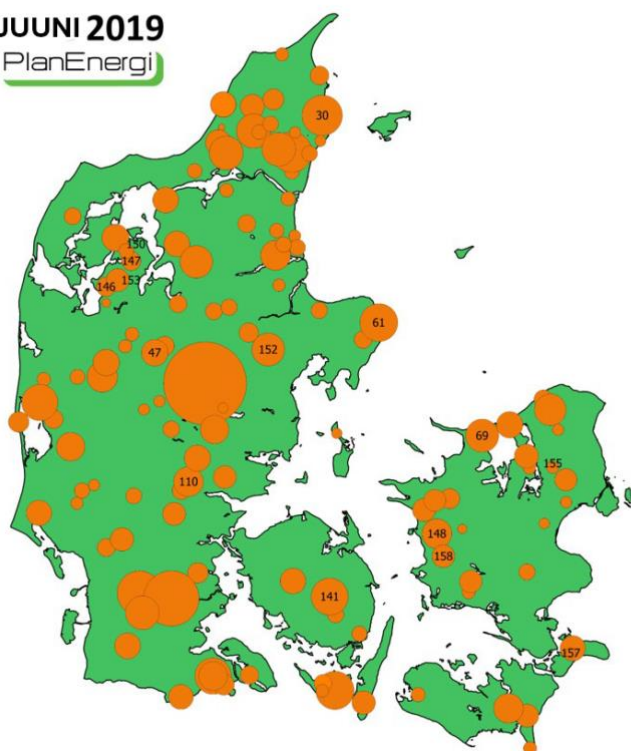


Joonis 2.5 Silkeborg kollektorväli [34]

Taani on üleüldse kõige suurem päikesesoojuse kasutaja kaugküttes, omades pikka ajalugu, esimene siiani töötav süsteem rajati juba 1988. aastal ja 2021. aasta lõpuks oli neid kokku 125, koguvõimusega üle 1 GW [36], [18]. Päikese kasutamiseks selles sektoris on soodsad tingimused, sest 60% kogu riigi soojustootmisest moodustab kaugküte ja süsteemi temperatuurid on mõõdukad, 75-85 °C pealevoolul ja 35-45 °C tagasivoolul [36].

Tüüpiline päikeseenergia kaugküttesüsteem Taanis toodab soojust keskmiselt 4000 elanikuga linnale kuna väiksemates linnades on soojushinnad kõrgemad ja turg on alles välja arenemas. Ruumalalt jäävad päikesekollektorväljad enamasti alla 25 000 m<sup>2</sup> ja maksumus 200-250 €/m<sup>2</sup>. Hind on viimastel aastatel vähenenud just betoonplokkide asendamise terasprofiilidega, rohkem suuremahuliste süsteemide ehitamisega ja tehnoloogilise arengu tõttu. Kollektorite poolest kasutatakse enim lame-paneelkollektoreid, mõnes kohas on ka kasutusel kontsentreeritud kollektorid ja hooajaliseks energiasalvestamiseks kasutatakse veesüvendeid. Primaarkütusena on enamus kaugküttejaamades rakenduses maagaas või biomass, vähim aastaringne päikese osakaal on 0,4 ja suurim 43%. [25] Arvestades eluiga, milleks on 25 aastat ja intressimäär 3%, jääb Taanis soojuse hind 20-30 €/MWth juurde [36]. Päikeseosakaaluga kaugküttejaamade jaotumust Taanis on näha Joonis 2.6.

JUUNI 2019  
PlanEnergi



KÖIGE UUEMAD

#	JAAM	KOLLEKTORITE KOUMALA (m <sup>2</sup> )
30	Sæby	(11921)+25313
47	Karup	(8000)+8127
61	Grenaa	(12096)+20673
69	Nykøbing Sjælland	(20084)+4914
110	Jelling	(15290)+4835
141	Ringe	31224
146	Remsing-Lem-Lihme	8537
147	Roslev	8455
148	Høng	20160
150	Durup	5040
152	Hadsten	24517
153	Balling-Rødding	12020
155	Egedal	3458
157	Lendemarke	2304
158	Halskov	11733

OPEREERIVAD  
KOLLEKTORITE KOGURUUMALA 1 581 716 m<sup>2</sup>

Joonis 2.6 Taani päikesesoojuse osakaaluga kaugküttejaamad [37]

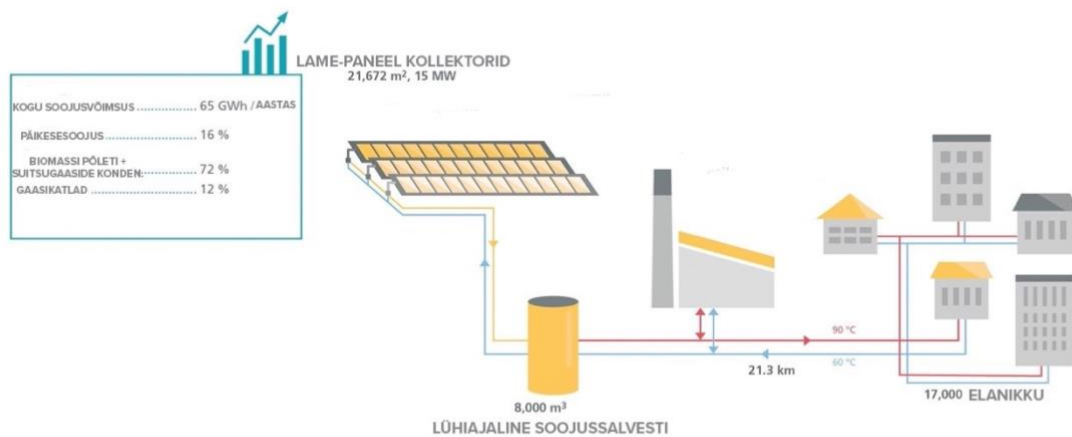
## 2.4.2 Hiina

Väikesemahuliste päikesesoojussüsteemide turu liider on aastaid juba Hiina olnud, moodustades sellest 2016. aasta lõpuks 89%, kuid suuremahulisi on hakatud intensiivsemalt rajama suure soojusvajaduse ja päikesekiirguse tõttu alles viimastel aastatel. Hiinas on praegu taastuenergiaga osakaal kaugküttes väga väike, moodustades ainult umbes ühe protsendi. Enamus soojusest tarnitakse söekateldega, mis on talvise õhusaaste peamine allikas, kuid on võetud suured eesmärgid seda vähendada, pannes just rõhku päikesesoojusele. [36]

Hiinas asub suuruselt teine päikeseküttesüsteem maailmas, Baotou linna lähedal. See võtab enda alla 93 000 m<sup>2</sup> ja on võimsusega 65 MWth ning seal kasutati lame-paneelkollektorite asemel kontsentreeritud kollektoreid. Kokku tagab jaam soojuse 500 000 m<sup>2</sup> eraelamutele, naabruses asuvale tööstustsoonile ja päikeseküttega kaubanduskeskusele. [35]

### 2.4.3 Lāti

Baltimaade suurim ja ainus suuremahuline päikeseenergia kaugküttesüsteem opereerib alates 2019. aasta septembrist Salaspils linna lähedal Lätis. Projekt oli kavas alates 2014. aastast, et vähendada õhusaastet ja fossiilkütuste kasutust, võttes eeskujuks Taani. Ettevõtte Salaspils Siltums paigaldas 21 672 m<sup>2</sup> ruumalaga kollektorvälja, mis koosnes 1729 lame-paneelkollektorist. Väljaga ühendati 8000 m<sup>3</sup> paak-soojussalvesti ja lisaenergia jaoks installiseeriti hakkepuidu katla, joonis 2.7. Projekti lõppmaksumus oli umbes seitse miljonit eurot ja kokku tarnib võrk 17 000 elanikuga linnale aastas 65 GWh, päikesesoojus moodustab sellest 20%. Suure plussina aitas päikeseosakaalu lisamine vähendada kaugküttetariifi vähemalt 5%. [38], [39]



Joonis 2.7 Salaspils kaugküttesüsteemi skeem [32]

Lätil on aastas 1700 kuni 1900 päikesepaistelisi tundi, mis on võrreldes Eestiga isegi natuke vähem, kuna siin on keskmine 1700-2000 h aastas, mis näitab, et päikeseenergia kasutamine kaugküttes oleks edukas [14], [40].

### 3. PÄIKESEENERGIALABORID

Päikeseenergiyalaboreid on rajatud teadustöö jaoks ülikoolidesse üle Euroopa, põhilise eesmärgiga uurida, simuleerida ja arendada päikesekütte- ja jahutussüsteeme [41].

#### 3.1 Päikesenergiaüsteemide Labor (Läti)

Eestile seni lähim päikeseenergiyalabor asub Riia Tehnikaülikoolis, kuid eelkõige keskendutakse seal just päikesesoojuse uuringutele. Labori varustuse hulka kuulub päikesekollektoritega eksperimentaalne hüdrostsüsteem, mida on näha Joonis 3.1, lisaks veel akumulatsioonipaagid, soojuspump, koormust imiteerivad komponendid ja tehnika andmete kogumiseks ning süsteemi juhtimiseks. [41]



Joonis 3.1 Läti Tehnikaülikooli päikeseenergiyalabori hüdrostsüsteem [41]

Labori katusel on erinevat tüüpi kollektoreid ja paneele, esindatud on lame-paneelkollektorid, vaakumtoru kollektorid, PVT paneelid ja ka PV-paneelid, Joonis 3.2. Lisaks on paigaldatud ka Onset HOB0 ilmajaam, mis mõõdab peamiselt temperatuuri, niiskust, tuule kiirust ja suunda ning päikesekiirgust. Teiseks labori tegutsemissuunaks



on matemaatiline modelleerimine, milleks kasutatakse tarkvarasid nagu TRNSYS, Polysun ka CFD. [41]



Joonis 3.2 Läti Tehnikaülikooli päikeseenergialabori lame-paneelkollektorid ja PV-paneelid [41]

Labori umbkaudne kogumaksumus oli 213 000 eurot ja ehituselt see on kõige sarnasem TalTechi plaanitavale päikesesoojuslaborile [41].

### **3.2 Säätvate Soojusenergia Tehnoloogiate Labor (Suurbritannia)**

Suurbritannia kliimaeesmärkide saavutamiseks rajati päikeseenergialabor ka Warwicki Ülikooli, kus tehakse koostööd erinevate tööstustega, et keskenduda mitmele valdkonnale nagu uuenduslike soojuspumbasüsteemide, päikeseküttesüsteemide ja salvestustehnoloogiate välja töötamine. Päikesesoojuse arengu labor võimaldab uurida ja hinnata päikesepaneelide, kollektorite efektiivsust ja päikesekiirgust üldiselt. Lisaks testitakse ka materjale valguse läbilaskvuse hindamiseks. [42]

Eraldi on ka veel päikesesüsteemide labor, mis hindab eelkõige paneelide ja kollektorite jõudlust, sisaldades ka katusele paigaldatud kollektoreid ja paneele koos ilmajaamaga ning ka päikesesimulaatorit, Joonis 3.3 [42]. Simulaatorit, mille ruumalaks on lausa 3,2

m<sup>2</sup> ja mille kiirgust saab muuta nii horisontaalseks kui ka vertikaalseks, et jäljendada looduslikku konvektsiooni kasutatakse päikesekollektorite ja -paneelide jõudluse ning iseloomuomaduste uurimiseks. Lisaks uuele tehnoloogiale uuritakse ka juba kasutuses olevaid kommertssüsteeme. [43] Suurimad projektid on keskendunud eelkõige soojussalvestite ja soojuspumpade arendamisele [44].



Joonis 3.3 Warwick Ülikooli päikeseenergialabori päikesesimulaator [43]

Uudse tehnoloogiana on ehitatud ka kambrid, kus on reguleeritud niiskus ja temperatuur ning neid saab kasutada soojuspumpade, kütte- ja jahutusseadmete soojustõhususe hindamiseks. Lisaks testitakse ka kuni 2m x 2m suurusi hoone fassaadielemente, Joonis 3.4. [45]



Joonis 3.4 Warwicki ülikooli päikeseenergialabori kambrid [45]

### 3.3 Archimedes Päikeseenergialabor (Küpros)

Kolmas tuntud labor nimega Archimedes asub Küprose Tehnikaülikoolis. Seal keskendutakse kogu päikeseenergia valdkonnale. Täpsemalt uuritakse kuidas:

- arendada kontsentreeritud kollektoreid;
- rakendada süsteemis tehisintellekti;
- parandada süsteemide jõudlust;
- kasutada vesinikku soojuskandjana;
- tõsta hoonete energiatõhusust. [46]

Labor hõlmab enda all umbes 200 m<sup>2</sup> ja on varustatud seadmetega nagu püranomeeter, ilmajaam ning temperatuuri ja vooluhulga mõõtesensorid, eraldi ruumis on paigaldatud 20-lambiga päikese simulaator, Joonis 3.5. Laboratoorium sisaldab katusele paigaldatud paneel-lame-paneelkollektoreid, akumulatsioonipaake, hüperboolseid parabool kollektoreid. Lisaks on katsete jaoks mitmesugused päikesepaneelid ja vesinikuseadmed. Parameetrite jälgimiseks kasutatakse Flir termokaamerat ja

ilmajaam, Joonis 3.6. Simulatsiooniuuringute läbiviimiseks kasutatakse tarkvarasid nagu TRNSYS, F-Chart, EnergyPlus, Homer jne. [47]



**PÄIKESESIMULAATOR**

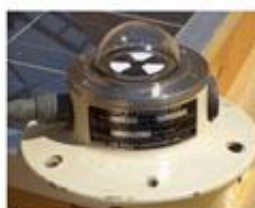


**PARABOOLNE HÜPERBOOL KOLLEKTOR**

Joonis 3.5 Archimedes päikeseenergia labori päikese simulaator ja hüperboolsed parabool kollektorid [47]



**PÄIKESEPANEELID**



**MÕÖTESEADMED**

Joonis 3.6 Archimedes päikeseenergia labori päikese paneelid ja teised mõõteseadmed [47]

Labori poolt on läbiviidud või on hetkel käimas projektid teemadel:

- hoonete klassifitseerimine Küprosel nende energiatõhususe alusel (lõpetatud);
- hüperboolsete parabool kollektorite absorbermaterjalide arendamine (lõpetatud);
- järgmise põlvkonna kulutõhusad faasimuutumismaterjalid suurenenud energiatõhususe saavutamiseks hoonetes;
- integreeritud kiudtugevdatud päikeseenergia tehnoloogia ja päikese soojussüsteemide integreerimine hoonetesse. [48]

## 4. TALTECH PÄIKESESOOJUSE LABOR

Kliima eesmärkideni jõudmiseks on taastuenergia süsteemidel tulevikus suur osakaal, kuid selleks on vaja väljaõpetatud insenere, kes oskaks neid arendada, paigaldada ja hooldada. Hetkel on aga olukord, kus vananeva inseneritööjõu tõttu võib tulevikus teadmistest puudu tulla, selle probleemi leevendamiseks tuleks luua tudengitele ülikoolidesse päikeseenergia laboreid, et siduda teooriat praktiliste oskustega. [49]

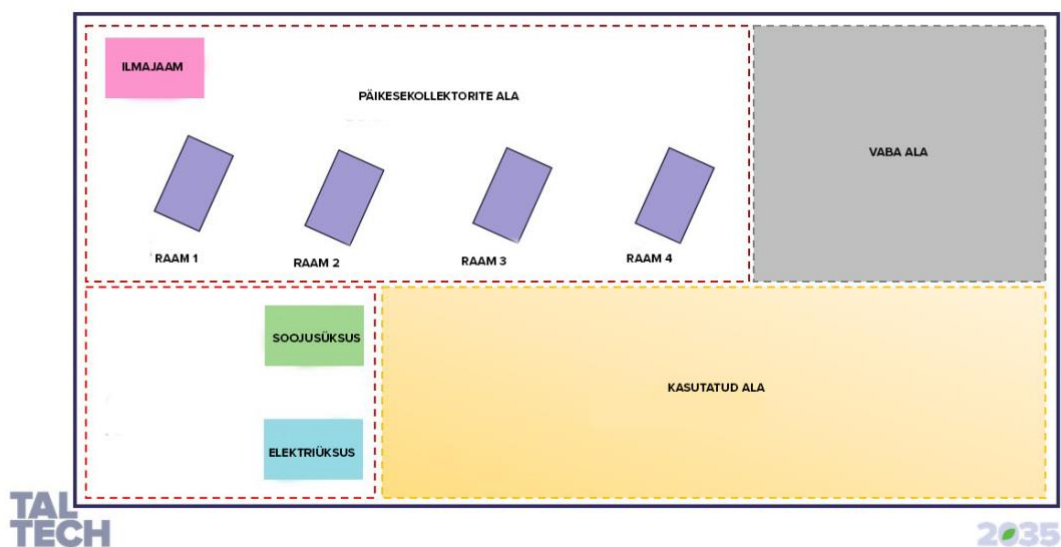
TalTech päikeseenergia labori põhieesmärgid on järgnevad:

1. suurendada tudengite teadmiste pagasit päikeseenergiast üldiselt ja päikeseenergia kasutamisest kaugküttes;
2. uurida ja analüüsida kogutud andmeid ning arendada teadustööd;
3. edendada TalTechi rohepöoret ja vähendada CO<sub>2</sub> jalajälge.

Päikeseenergia laboreid, mis keskenduvad päikeseenergiale on Euroopas vähe, kuid kuna järjest enam hakatakse suurendama päikeseenergia alu Balti ja Skandinaavia riikide kaugküttesüsteemides, et jõuda kliimaeesmärkideni, siis on teadustöö arendamine esmatähtis. [50]

TalTech peamaja hoone kuuenda korpuse katusele paigaldatakse päikeseenergia kollektorid ja -paneelid koguruumalaga 32m<sup>2</sup>, ilmajaam ja teised vajalikud komponendid, asetuse plaani on näha Joonis 4.1 Raamid on hetkel katusel olemas, sest varasemalt asus seal materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituudi labor, kus kasutati uurimistööks päikeseenergia paneele ja see vähendas päikeseenergia labori lisainvesteeringuid oluliselt, Joonis 4.2. Katusel on ka kasutatud ala, millele puudub ligipääs, sest see toimib kui avariikatuse, mis avaneb õnnetusjuhtumi korral.

## TALTECH 6. KORPUSE PÄIKESEENERGIALABORI PEALTVAADE



Joonis 4.1 TalTech päikeseenergiabori pealtvaade [50]

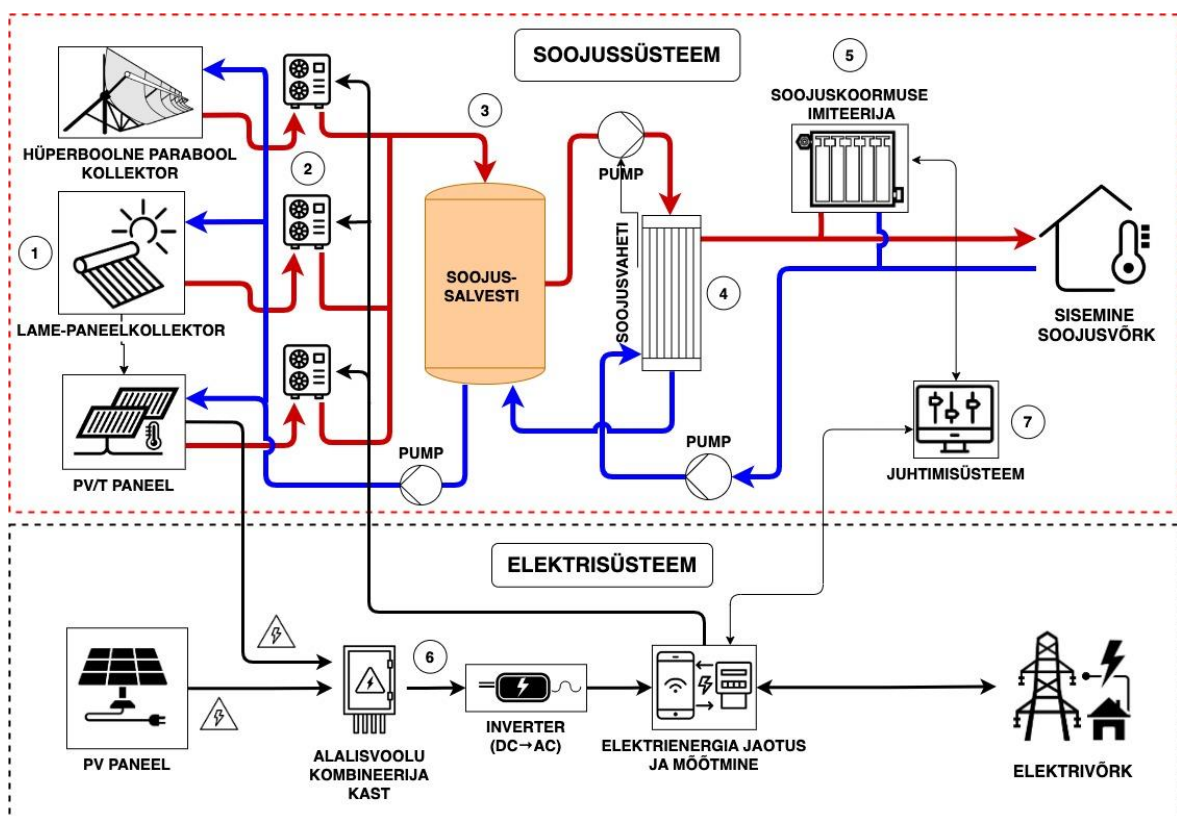


Joonis 4.2 Katusel paiknevad raamid [50]

TalTech peamaja 6. korpuse päikeseenergiabori tehnilist skeemi on näha Joonis 4.3, kus on arusaadavuse huvides lisatud ka numbrid. Täpsemalt kuulub labori varustuse hulka:

1. Päikesoojust tootvad lame-paneelkollektorid, hüperboolsed parabool kollektorid ja PV/T paneelid ning elektrit tootvad päikesepaneelid, need kõik komponendid olid osa turu-uuringust.

2. Soojuspumbad, mis talvisel perioodil või halva ilma puhul tõstavad kollektoritest tuleva soojuse temperatuuri.
3. Akumulatsioonipaak, mis võimaldab lühiajaliselt soojust salvestada, et võimaldada selle kasutust soojuskoormuse tipphetkedel kui koheselt kättesaadava päikesesoojuse hulk on väike.
4. Soojusvaheti, mis võimaldab süsteemi ühendada soojusvõrguga.
5. Soojuskoormuse imiteerijaga, mis võimaldab jäljendada hoone reaalset soojuskoormust ja muutuvaid soojuskadusid ning temperatuure.
6. Alalisvoolu muundamiseks pealisvooluks tuleb kasutada inverterit.
7. Protsessi jälgimiseks ja arusaamiseks kasutatakse digitaalseks juhtimissüsteemi, mis kogub andmeid reaalajas.



4.3 TalTech päikeseenergiaalabori tehniline skeem [50]

1 – päikesepaneelid ja -kollektorid, 2 – soojuspump, 3 – soojussalvesti, 4 – soojusvaheti

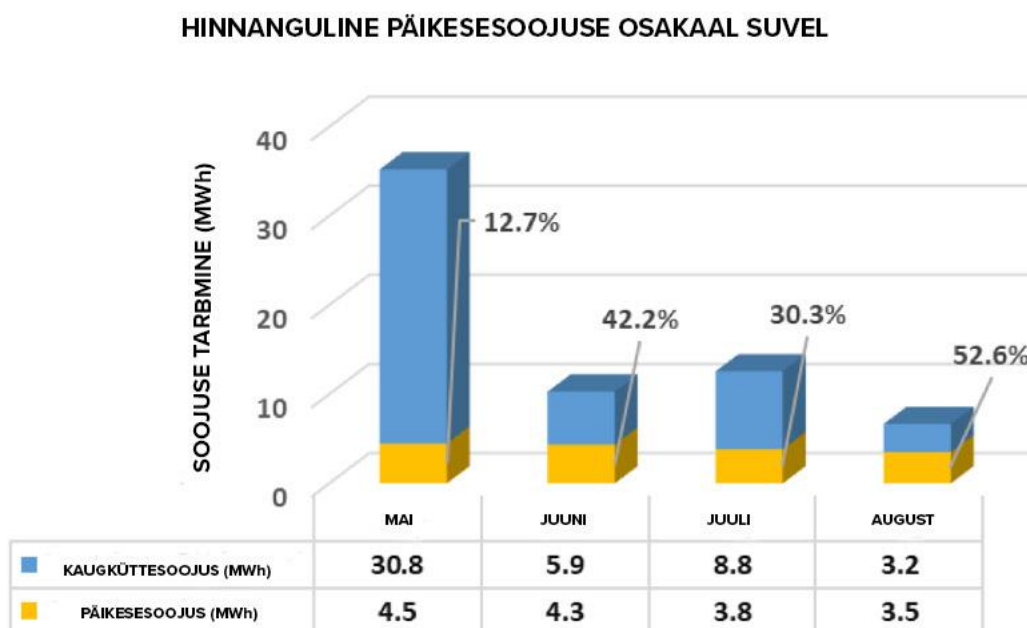
5 – soojuskoormuse imiteerija, 6 – inverter, 7 - juhtimissüsteem



## 4.1 Soojus

Nagu eelnevalt mainitud, siis on labori põhiohk päikesesoojusel. Selleks paigaldatakse lame-paneelkollektorid, hüperboolsed parabool kollektorid ja PV/T paneelid ja kõiki paigaldatakse 4 tükki. Kuigi labor on teadusliku eesmärgiga, toodab see ka arvestatava koguse soojust TalTech kuuendale korpusele. Labori umbkaudne kogu soojusvõimsus on 17 KWth ja kõige suurema osakaaluga on see just suvel kui soojuskoormus on väike, sest ei toimu maja kütmist ja õppetöö on peatatud, Joonis 4.4. Sel perioodil on aga suur jahutuskoormus ja tulevikus on uurimiserühmal kavas uurida päikesesoojuse kasutamise võimalust jahutamiseks. [51], [55]

Lühiajalise soojussalvesti suurus arvutati välja järgmise loogikaga – 1 m<sup>2</sup> kollektorpinna kohta on vaja 50-80 liitri jagu vett soojussalvestis. TalTech päikesenergialabori kollektorite ruumala on kokku 32 m<sup>2</sup>, seega on vaja soojussalvestit mahuga 1600-2560 liitrit ehk 1,6 kuni 2,56 m<sup>3</sup>. [52]



Joonis 4.4 Päikesesoojuse võimetus suvisel perioodil [50]

## 4.2 Elekter

Päikesepaneel koosneb päikseelementidest ehk fotogalvaanilistest elementidest, mis suudavad päikesekiirguse otse muundada elektrienergiaks. Väljundvoolu

suurendamiseks ühendatakse need suuremateks üksusteks, mida nimetatakse mooduliteks ja tavaliselt need ühendatakse veel omakorda, et moodustada paneelid. Paneelid toodavad alalisvoolu ja selle muundamiseks on vaja kasutada inverterit. [53] Peale langevast päikesekiirgusest kasutatakse ära vaid 20%, ülejäänud paiskub soojusena tagasi keskkonda [54].

PV/T paneel ehk fotogalvaaniline/fototermiline paneel on uudne hübriid tehnoloogia, mis kombineerib elektri- ja soojustoomise. Koosneb päikesepaneelist, mille tagaküljele on kinnitatud tekkinud jääsoojuse eemaldamiseks absorberplaat ja veetorud. Seadmel on kaks eesmärki – jahutada päikesepaneeli, parandades seeläbi elektritoomise efektiivsust ja koguda toodetud soojust, mis oleks muidu raisku läinud. Jõudlus jääb 60-70 protsendi vahemikku. [54]

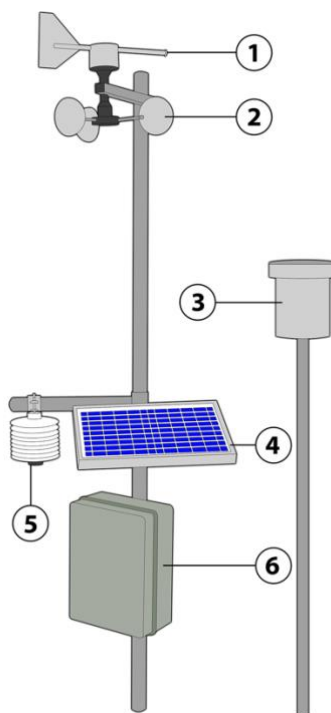
Labori umbkaudne elektrivõimsus on 3,5 KWe. Toodetud elektrit kasutatakse soojuspumpade vooluallikana või suunatakse otse võrku [55].

## 4.3 Ilmajaam

Päikesenergialaboris on vaja kindlasti mõõta ilma parameetreid nagu temperatuur, niiskus, tuule kiirus ja suund, päikesekiirgus, õhurõhk. Kindlate intervallide tagant kogutud andmetele saab ligi läbi arvuti kohapeal või kaudselt Wi-Fi, mobiiliside abil [56].

Valitud ilmajaam peaks sisaldama:

- termomeetrit;
- hügromeetrit;
- anemomeetrit;
- tuule lippu;
- baromeetrit;
- püranomeetrit
- sademetemõõturit.



Joonis 4.4 Võimaliku ilmajaama skeem [57]

1 – tuulelipp, 2 – anemomeeter, 3 – sademetemõõtja, 4 – päikesepaneel,  
5 – õhusensorid, 6 - andmetekoguja

## 4.4 Osakomponentide turu-uuring

Osakomponentide turu-uuringu eesmärgiks oli uurida eelarve koostamiseks järgnevate esemete maksumust ja omadusi:

- imajaam;
- lame-paneelkollektor;
- hüperboolne parabool kollektor;
- PV paneel;
- PV/T paneel.

Selle teostamiseks võttis autor meili teel ühendust kokku 20 erineva ettevõttega üle Euroopa, uurimisrühma järgmiseks etapiks on jätkata turu-uuringut teiste komponentide jaoks.

#### 4.4.1 Ilmajaam

Ilmajaama hinnapakumise ja info jaoks kontakteeruti 14 ettevõttega, kõik väljaspool Eestit. Positiivne vastus saadi viielt asutuselt, eitav ühelt ja ülejäänutega ei õnnestunud ühendust saada. Esmane omaduste analüüs tehti kodulehtede andmete põhjal ja kontaktisiku käest küsiti hinnapakumine ning puuduv info. Positiivselt vastanute andmed on toodud välja Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Ilmajaamade info

Riik	Türgi	Saksamaa	Saksamaa	USA	Prantsusmaa
<b>Ettevõte</b>	SEVEN Sensor Solutions	Lufft	METER Group	Columbia Weather System	Pulsonic
<b>Toode</b>	Sungrow	WS80S 41W	ATMOS 41W	Pulsar	Pulsia Synop
<b>Päikesekiirus</b>	JAH	JAH	JAH	JAH	JAH
<b>Tuulekiirus ja suund</b>	JAH	JAH	JAH	JAH	JAH
<b>Temperatuur</b>	JAH	JAH	JAH	JAH	JAH
<b>Niiskus</b>	JAH	JAH	JAH	JAH	JAH
<b>Õhurõhk</b>	JAH	JAH	JAH	JAH	JAH
<b>Lisa</b>	NA	Välgu-tuvastus	Max tuulekiirus	Välgu-tuvastus	Radiatsioon, maapinna temp
<b>Andmete kogumiskiirus (sek)</b>	NA	0	0	0	0
<b>Üleslaadimis-kiirus</b>	NA	1 sek	5 min	5 sek	15 min
<b>Võrgu-ühendus</b>	NA	NA	Mobiilne internet	Võrgu-kaabel	Wi-Fi, mobiilne internet
<b>Tarkvara</b>	NA	Met/Hydro-met	Zentra	Weater Master	Pulsobserver
<b>Vooluallikas</b>	NA	Elekter	Patareid	Elekter	Päike
<b>Hind (EUR/USD)</b>	2000 EUR	3290 EUR	2579 EUR	9469,3 USD	9053,01 EUR
<b>Hind (USD)</b>				8770,94 EUR	

Turu-uuringu põhjal võib öelda, et kõikide ilmajaamade varustus on piisavalt hea, et põhilisi parameetreid mõõta, enamustel on Wi-Fi ühenduse võimalus ja vooluallikana kasutatakse elektrit. Kokkuvõttes on autori hinnangul usaldusväärse, omaduste ja hinna poolest parim valik WS800-UMB.

#### 4.4.2 Päikesekollektorid ja paneelid

Info kogumiseks kontakteeruti viie Eesti ettevõttega, kuid neljaga neist ei saadud ühendust ja asutus BestAir vastas negatiivselt. See raskendas andmete kogumist oluliselt, tabelis välja toodud speifikatsioonid on pärit kodulehtedelt.

Tabel 4.3 Päikesekollektorite ja PV paneelide andmed ja hinnad

Riik	Ettevõte	Toode	Mõõtmed	Võimsus	Efektiivsus (%)	Hind (EUR)
Eesti	BestAir	Monokristalne PV paneel	NA	NA	NA	NA
Eesti	InterEuro	Monokristalne PV paneel	NA	75 W	20	318
Eesti	SigmaSystems	PV paneel ja päikesekollektor	NA	NA	NA	NA
Eesti	Akrom	Monokristalne PV paneel	1903x1134x30mm	460 W	NA	238,8
Eesti	Smart AC	Lame-paneel kollektor	1,82 – 2,36 m <sup>2</sup>	NA	75,3-82,7	444-587
Türgi	Solimpeks	PV/T paneel	NA	325 W	NA	365

Turu-uuringu käigus selgus, et Eestis on saadaval lame-paneelkollektorid hinnavahemikus 444-587 eurot ja päikesepaneelid maksumusega 200-350 eurot, oleneb mõõtmetest ja materjalidest. Hüperboolseid parabool kollektoreid ja PV/T paneele ei ole riigisiselt saadaval, seega võttis autor ühendust kolme välismaa ettevõttega, infot saadi PV/T paneeli kohta ja selle maksumus jääb samuti 400 euro vahemikku. Nende hindadega tuleks labori eelarve planeerimisel esialgu arvestada, kuid väikese tellimismahu puhul oleks vaja pöörduda otse tootjate poole.

Kirjanduse andmete põhjal on 2020-2030. aastatel keskmine kollektorite investeerimiskulu 184-190 €/m<sup>2</sup> [27].

## KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli anda ülevaade päikesesoojusest ja selle kasutusest kaugküttes, koostada lühikirjeldused valitud olemasolevatest päikeseenergialaboritest ja viia läbi TalTech osakomponentide turu-uuring.

Töö esimeses peatükis on antud põhjalik ülevaade päikesesoojuse ajaloost ja selle kasutamisest nii elektri kui ka soojustootmiseks. On toodud välja töö jaoks aktuaalsed kollektortüübid ehk need, mis tulevad kasutusse TalTech päikeseenergialaboris – lame-paneelkollektor ja hüperboolne parabool kollektor. Alapeatükis on välja toodud päikesesoojusturu maailma võimsus ja suurimad kasutajad.

Teises peatükis on antud ülevaade kaugkütte üldisest ajaloost ja kuidas sai alguse päikesesoojuse kasutamine selles sektoris. Välja on toodud päikeseenergia kaugküttesüsteemi tavapärane ehitus ja komponendid ning kuidas jaotuvad tsentraliseeritud ja detsentraliseeritud süsteemid, ning mis kasulikke lisakomponente kasutatakse. Samuti on alapeatükis ülevaade suurimates päikesesoojuse kasutajatest kaugküttes – Taani ja Hiina ning ka meie naaberriigist Lätist, mis tõestab, et ka Eestis on sektoril potentsiaali.

Kolmas peatükk koosneb päikeseenergialaborite kirjeldusest kolmes erinevas ülikoolis – Riia Tehnikaülikool, Warwick Ülikool ja Küprose Tehnikaülikool.

Neljandas peatükis on toodud välja TalTech päikeseenergialabori rajamise eesmärgid ja tehniline skeem, koos põhikomponentide ning elektri- ja soojussüsteemi kirjeldusega. Alapeatükis on osakomponentide turu-uuringu tulemused. Sobilikumaks ilmajaamaks osutus Saksamaa ilmajaam WS800-UMB, mis on maksumusega 3290 eurot. Päikesepaneelide ja -kollektorite turu-uuring oli esialgu Eesti sisene, kuid ei saadud kontakti ühegi ettevõttega. Analüüsi kodulehtedelt kättesaadavaid andmeid, kuid neid oli kesiselt. Päikesepaneelide hinnad Eestis on alates 200 eurot ja päikesekollektorite maksumus algab 400 eurost. Hüperboolsete parabool kollektorite ja PV/T paneelide jaoks võeti ühendust välismaa asutusega ning selle info põhjal jääb PV/T paneelide hind samuti 400 euro juurde ja esimese kohta ei saadud kahjuks õigeks ajaks infot. Järgmiseks sammuks on TalTech päikeseenergialabori uurimisrühmal turu-uuringu jätkamine.

Töö eesmärgid võib lugeda autori hinnangul täidetuks.

## SUMMARY

The aim of this bachelor's thesis was to provide an overview of solar heat and its use in district heating, also brief descriptions of selected existing solar energy laboratories and to conduct a market survey of TalTech sub-components.

The first chapter of the work provides an overview of the history of solar heat and its use for both electricity and heat production. Also of collector types that will be used in the TalTech solar energy laboratory - flat-panel collector and parabolic trough collector. The sub-chapter outlines the global capacity and major leaders of the solar thermal market.

The second chapter provides an overview of the general history of district heating and how the use of solar heat in this sector began. The conventional structure and components of a solar energy based district heating system are outlined, as well as how centralized and decentralized systems are divided, and which additional components are used. The subsection also contains an overview of the largest users of solar heat in district heating - Denmark and China, as well as our neighboring country Latvia, which proves that the sector also has potential in Estonia.

The third chapter consists of a description of solar energy laboratories in three different universities - Riga Technical University, Warwick University and Cyprus University of Technology.

The fourth chapter presents the objectives and technical scheme of the construction of the TalTech solar energy laboratory, together with a description of the main components with the electrical and thermal system. The sub-chapter contains the results of the sub-components market research. The German weather station WS800-UMB, which costs 3290 euros, turned out to be the most suitable weather station. The market research of solar panels and collectors was initially within Estonia, but no company was successfully contacted. The available data from the websites were analyzed, but they were scarce. The prices of solar panels in Estonia start from 200 euros, and the cost of solar collectors starts from 400 euros. For parabolic trough collectors and PV/T panels, a foreign company was contacted, and based on this information, the price of PV/T panels also remains at 400 euros, and unfortunately no information was received about the parabolic trough collectors. The next step is for the TalTech Solar Lab research team to continue their market research for other components.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] S. Kalogirou, *Solar Energy Engineering-Processes and Systems*. Elsevier, 2009.
- [2] M. R. and P. R. Hannah Ritchie, „Energy“. [Online]. Loetud aadressil: <https://ourworldindata.org/energy>. Kasutatud: 10.03.2023.
- [3] N. Kannan ja D. Vakeesan, „Solar energy for future world: - A review“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, kd 62, lk 1092–1105, sept 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.05.022.
- [4] U.S Department of Energy. *Solar Radiation Basics*. [www] <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics>. Kasutatud: 10.03.2023.
- [5] M. Thirugnanasambandam, S. Iniyan, ja R. Goic, „A review of solar thermal technologies“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, kd 14, nr 1, lk 312–322, jaan 2010, doi: 10.1016/j.rser.2009.07.014.
- [6] Global Solar Atlas, „World“, 2019. [Online]. Loetud aadressil: <https://globalsolaratlas.info/download/world> Kasutatud: 15.03.2023.
- [7] International Renewable Energy Agency. *Solar energy*. [www] <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy> Kasutatud: 15.03.2023.
- [8] Eurostat. *Share of energy from renewable sources*. [www] Loetud aadressil: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_IND\\_REN\\_\\_custom\\_6031553/default/line?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_REN__custom_6031553/default/line?lang=en). Kasutatud: 15.03.2023.
- [9] Eurostat. *Share of energy from renewable sources*. [www] Loetud aadressil: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_IND\\_REN\\_\\_custom\\_6031553/default/line?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_REN__custom_6031553/default/line?lang=en). Kasutatud: 15.03.2023.
- [10] M. Thomas, „90% of Homes in Israel Have A Solar Water Heater. Why Don't More Americans Use Them?“, [Online]. Loetud aadressil: <https://www.distilled.earth/p/90-of-homes-in-israel-have-a-solar>, 2023. Kasutatud: 18.03.2023.



- [11] T. S. Ge *et al.*, „Solar heating and cooling: Present and future development“, *Renew Energy*, kd 126, lk 1126–1140, okt 2018, doi: 10.1016/j.renene.2017.06.081.
- [12] Solar Heat Europe, „Solar Heat Markets in Europe“, 2021.
- [13] Eurostat. *Renewable energy statistics*. [www] Loetud adressil: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics#Over\\_one\\_fifth\\_of\\_energy\\_used\\_for\\_heating\\_and\\_cooling\\_from\\_renewable\\_sources](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Over_one_fifth_of_energy_used_for_heating_and_cooling_from_renewable_sources). Kasutatud: 25.03.2023.
- [14] I. Polikarpova, R. Kakis, I. Pakere, ja D. Blumberga, „Optimizing Large-Scale Solar Field Efficiency: Latvia Case Study“, *Energies (Basel)*, kd 14, nr 14, lk 4171, juuli 2021, doi: 10.3390/en14144171.
- [15] „Solar District Heating in the People’s Republic of China:“, Manila, Philippines, juuli 2019. doi: 10.22617/TCS190028-2.
- [16] R. Dobriyal, P. Negi, N. Sengar, ja D. B. Singh, „A brief review on solar flat plate collector by incorporating the effect of nanofluid“, *Mater Today Proc*, kd 21, lk 1653–1658, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.11.294.
- [17] M. U. H. Joardder, P. K. Halder, M. A. Rahim, ja M. H. Masud, „Solar Pyrolysis“, *Clean Energy for Sustainable Development*, Elsevier, 2017, lk 213–235. doi: 10.1016/B978-0-12-805423-9.00008-9.
- [18] W. Weiss ja M. Spörk-Dür, „Edition 2022 Global Market Development and Trends 2021 Detailed Market Figures 2020 SOLAR HEAT WORLD WIDE“, doi: 10.18777/ieashc-shw-2022-0001.
- [19] International Energy Agency. *District Heating*. [www] Loetud adressil: <https://www.iea.org/reports/district-heating>, 2022. Kasutatud: 25.03.2023.
- [20] N. Perez-Mora *et al.*, „Solar district heating and cooling: A review“, *International Journal of Energy Research*, kd 42, nr 4. John Wiley and Sons Ltd, lk 1419–1441, 25. märts 2018. doi: 10.1002/er.3888.

- [21] Danfoss. *District heating generations explained*. [www]. Loetud aadressil: <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/articles/dhs/district-energy-generations-explained/>. Kasutatud: 27.03.2023.
- [22] J. Thorsen, O. Gudmundsson, M. Brand ja A. Dyrelund, „Distribution of district heating: 3rd Generation“.
- [23] J. Huang, J. Fan, ja S. Furbo, „Feasibility study on solar district heating in China“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, kd 108, lk 53–64, juuli 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.03.014.
- [24] T. Pauschinger, „Solar thermal energy for district heating“, *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*, Elsevier, 2016, lk 99–120. doi: 10.1016/B978-1-78242-374-4.00005-7.
- [25] D. Trier, F. Bava, C. Kok, S. Simon, ja S. Sørensen, „Solar District Heating Trends and Possibilities-Characteristics of Ground-Mounted Systems for Screening of Land Use Requirements and Feasibility Subtask B report in the IEA SHC Task 52 Programme“, 2018.
- [26] International Energy Agency. *Integrating Large SDH Systems into DCH Systems*. [www] Loetud aadressil: <https://task55.iea-shc.org>. Kasutatud: 04.04.2023.
- [27] Danish Energy Agency, „Technology Data - Energy Plants for Electricity and District heating generation“, 2016.
- [28] Solar Heat Europe. *Solar District Heating*. [www] Loetud aadressil: <http://solarheateurope.eu/about-solar-heat/solar-district-heating/>. Kasutatud: 04.04.2023.
- [29] TalTech. *Jätkusuutlik kaugküte*. [www] Loetud aadressil: <https://kaugkute.taltech.ee/soojuse-tootmine/>. Kasutatud: 04.04.2023.
- [30] Danish Energy Agency, „Technology Data for Individual Heating Plants and Energy Transport“, 2016.

- [31] R. Marx, D. Bauer, ja H. Drueck, „Energy Efficient Integration of Heat Pumps into Solar District Heating Systems with Seasonal Thermal Energy Storage“, *Energy Procedia*, kd 57, lk 2706–2715, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.302.
- [32] „Solar Heat for Cities, Towns and Energy Communities Introduction to solar district heating by the IEA SHC Task 68-Efficient Solar District Heating Systems“. [Online]. Loetud aadressil: <https://task68.iea-shc.org/> Kasutatud: 05.04.2023.
- [33] R.-R. Schmidt, P. Leoni, ja H. Aghaie, „Task 55 Towards the Integration of Large SHC Systems into DHC Networks“, 2020. [Online]. Loetud aadressil: <https://task55.iea-shc.org/fact-sheets> Kasutatud: 10.04.2023.
- [34] Solar District Heating, „Silkeborg gets the world largest solar thermal plant“, 2016. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.solar-district-heating.eu/silkeborg-gets-the-world-largest-solar-thermal-plant/> Kasutatud: 20.04.2023.
- [35] Solar District Heating, „World ´s largest solar district heating plant with concentrating collectors“, 2020. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.solar-district-heating.eu/worlds-largest-solar-district-heating-plant-with-concentrating-collectors/> Kasutatud: 25.04.2023.
- [36] Tschopp, D., Tian, Z., Berberich, M., Fan, J., Perers, B., & Furbo, S. (2020). Large-scale solar thermal systems in leading countries: A review and comparative study of Denmark, China, Germany and Austria. *Applied Energy*, 270, 114997. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114997>
- [37] PlanEnergy, „1 GW Solar District Heating in Denmark“, [Online]. Loetud aadressil: <https://planenergi.eu/en/1-gw-sdh-in-dk/>. Kasutatud: 04.05.2023.
- [38] Solarthermalworld.org, „Salaspils in Latvia plans 15 MW solar district heating project“, [Online]. Loetud aadressil: <https://solarthermalworld.org/news/salaspils-latvia-plans-15-mw-solar-district-heating-project/>, 2018. Kasutatud: 04.05.2023.

- [39] Solarthermalworld.org, „15 MW SDH plant inaugurated in Latvia“, [Online].  
Loetud aadressil: <https://solarthermalworld.org/news/15-mw-sdh-plant-inaugurated-latvia/>, 2019. Kasutatud: 04.05.2023.
- [40] M. T. Airika Harrik, „Sun worth chasing in Estonia“, [Online]. Loetud aadressil:  
<https://news.err.ee/1608863810/sun-worth-chasing-in-estonia>, 2023.  
Kasutatud: 10.05.2023.
- [41] Riga Technical University, „Solar energy system Laboratory description“,  
unpublished.
- [42] Warwick University. *Sustainable Thermal Energy Technologies Laboratory*.  
[www] Loetud aadressil:  
[https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/grouplist/sustainableenergy/sustainable\\_thermal\\_energy\\_technologies\\_for\\_the\\_future\\_leaflet.pdf](https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/grouplist/sustainableenergy/sustainable_thermal_energy_technologies_for_the_future_leaflet.pdf). Kasutatud:  
10.05.2023.
- [43] Warwick University. *Solar Laboratory*. [www] Loetud aadressil:  
<https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/grouplist/sustainableenergy/facilities/solar>. Kasutatud: 10.05.2023.
- [44] Warwick University. *Current research projects*. [www] Loetud aadressil:  
<https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/grouplist/sustainableenergy/projects/>. Kasutatud: 11.05.2023.
- [45] Warwick University. *Environmental Chambers*. [www] Loetud aadressil:  
[https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/grouplist/sustainableenergy/facilities/environmental\\_chambers](https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/grouplist/sustainableenergy/facilities/environmental_chambers). Kasutatud: 11.05.2023.
- [46] Cyprus University of Technology. *Mission*. [www] Loetud aadressil:  
<https://www.cut.ac.cy/faculties/fet/mem/research/research-units-and-laboratories/archimedes-solar-energy-laboratory/>. Kasutatud: 12.05.2023.
- [47] Cyprus University of Technology. *Facilities*. [www] Loetud aadressil:  
<https://www.cut.ac.cy/faculties/fet/mem/research/research-units-and-laboratories/archimedes-solar-energy-laboratory/facilities/>. Kasutatud:  
13.05.2023.

- [48] Cyprus University of Technology. *Projects*. [www] Loetud aadressil: <https://www.cut.ac.cy/faculties/fet/mem/research/research-units-and-laboratories/archimedes-solar-energy-laboratory/research/projects/>. Kasutatud: 14.05.2023.
- [49] L. Guo, M. Vengalil, N. M. M. Abdul, ja K. Wang, „Design and implementation of virtual laboratory for a microgrid with renewable energy sources“, *Computer Applications in Engineering Education*, kd 30, nr 2, lk 349–361, märts 2022, doi: 10.1002/cae.22459.
- [50] J. Chung, S. Sukumaran, A. Hlebnikov, ja A. Volkova, „Conceptual Design of Solar Energy Laboratory for Research Institute System Schematic Background“ poster, 2023.
- [51] P. Hiltunen, A. Volkova, E. Latõšov, K. Lepiksaar, ja S. Syri, „Transition towards university campus carbon neutrality by connecting to city district heating network“, *Energy Reports*, kd 8, lk 9493–9505, nov 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.07.055.
- [52] M. Dzikēvičs, „Solar Energy Accumulation With Packed Bed Phase Change Materials“, [Doktoridissertatsioon], Riga Technical University, Riga, 2019.
- [53] U.S. Department of Energy. *Solar Photovoltaic Technology Basics*. [www] Loetud aadressil: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-technology-basics>. Kasutatud: 15.05.2023.
- [54] P. G. Charalambous, G. G. Maidment, S. A. Kalogirou, ja K. Yiakoumetti, „Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review“, *Appl Therm Eng*, kd 27, nr 2–3, lk 275–286, veebr 2007, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2006.06.007.
- [55] A. Volkova, „Kohvihommik "Päikeseenergia TalTechis – kellele, milleks ja kuidas?" – ettekanne, 21. märts 2023.
- [56] Onset Computer Organisation, „Deploying Weather Stations: A Best Practice Guide“.
- [57] G. F. L. R. Bernardes, R. Ishibashi, A. A. de S. Ivo, V. Rosset, ja B. Y. L. Kimura, „Prototyping Low-Cost Automatic Weather Stations for Natural Disaster

Monitoring", veebr 2021, [Online]. Loetud aadressil:  
<http://arxiv.org/abs/2102.04574> Kasutatud: 21.05.2023