

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Ökoloogia ja maateaduse instituut
Geograafia osakond

Triin Sõro

**PÄIKESEENERGIASÜSTEEMIDE RAKENDAMINE ERAMUTE
SOOJUSENERGIA VAJADUSE RAHULDAMISEKS**

Lõputöö (9 EAP)

Juhendaja: Ain Kull

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja

allkiri, kuupäev

Tartu 2015

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1 Päikeseküttesüsteemide areng ja nende kasutamine	6
2 Päikeseküttesüsteemid	11
3 Majapidamiste kütteallikad Eestis	15
4 Päikeseküttesüsteemi tootlikkust mõjutavad kliimaatilised tegurid	17
4.1 Päikesekiirgus.....	17
4.2 Välisõhu temperatuur	19
4.3 Pilvisus ja sademed	20
4.4 Tuul	23
5 Materjal ja meetodika	24
5.1 Andmestik	24
5.2 Meetodika.....	24
5.2.1 Modelleerimine vabavaraga Tecsol	24
5.2.2 Optimaalse vertikaalkaldenurga arvutamine.....	26
5.2.3 Asimuudi mõju kollektori tootlikkusele	26
5.3 Plaatkollektori Vitosol 200-F ja vaakumtorukollektori Vitosol 200-T tehnilised kirjeldused.....	27
6 Tulemused.....	30
6.1 Piirkondlikud erinevused päikeseküttesüsteemi paigaldamiseks arvestades Eesti kliimaatilisi tingimusi	30
6.2 Kollektori vertikaalse kaldenurga mõju sellele langenud kiirguse hulgale.....	32
6.3 Kollektori tootlikkus sõltuvalt kaldenurgast horisontaalpinna suhtes	33
6.4 Kollektoriga toodetava sooja tarbevee osakaal sõltuvalt kollektori vertikaalsest kaldenurgast ja tootlikkuse aastane käik.....	35

6.5	Optimaalne kaldenurk päiksekollektorile.....	37
6.6	Mõju päiksekollektori tootlikkusele arvestades orientatsiooni ilmakaare suhtes valitud kaldenurkadel.....	39
6.7	Vaakumtoru- ja plaatkollektori võrdlus	42
7	Arutelu	43
	Kokkuvõte.....	45
	Summary.....	46
	Tänuavaldused	48
	Kasutatud kirjanduse loetelu.....	49
	Lisad.....	53
	Lisa 1.....	54
	Lisa 2.....	55
	Lisa 3.....	56
	Lisa 4.....	58

Sissejuhatus

Üheks tõsisemaks probleemiks maailmas on järjest lähenev energiakriis. Fossiilsete kütuste varudele ennustatakse praeguse või kasvava energiatarbimise jätkudes peatset lõppemist ning kütuste saamine muutub järjest keerulisemaks ja kallimaks seoses nende ammendumisega maismaa maardlatest ning kasvava ammutamisega ookeanide põhjast.

Kuna energiaga varustatus on majandussüsteemi aluseks, on vaatamata globaliseerumisele energiasõltumatus tänapäeva maailmas üha olulisem riiklik eesmärk. Põlevkivi kasutamine energia allikana annab Eestile ühest küljest energiasõltumatuse, kuid teisest küljest muudab see suureks Eesti ökoloogilise jalajälje. Riiklikku energiajulgeolekut saab tarbija mõjutada oma eelistustega valitavate energiaallikate kaudu ja võttes kasutusele taastuvaid energiaallikaid nagu näiteks päikesekiirgus. Vastavalt Keskkonnaministeeriumi arengudokumendile „Kliimapoliitika põhialused aastani 2050” oleks Eesti energeetika ja tööstuse valdkonna eesmärgiks suurendada energiakasutuse tõhusust, sealhulgas elumajadel ning minna järjest enam üle fossiilsetelt kütustelt taastuvatele energiaallikatele. Energiakasutuse tõhusust ning üleminekut taastuvatele energiaallikatele saaks ühepereelamu tasandil kombineerida installeerides ühepereelamule päikeseküttesüsteemi.

Antud uurimistöö eesmärgiks on uurida päikeseküttesüsteemi kasutamise potentsiaali Eesti tingimustes. Uurimiseks võeti Viessmanni firma toodetav plaatkollektor Vitosol 200-F ning vaakumtorukollektor Vitosol 200-T. Käesolevas lõputöös püstitati järgmised uurimisküsimused:

- Kas Eesti siseselt esineb päikeseküttesüsteemi tootlikkust mõjutavate kliimatiliste tingimuste poolest soodsamaid ja ebasoodsamaid piirkondi päikeseküttesüsteemi installeerimiseks?
- Kas Eesti kliimas on plaat- ja vaakumtorukollektori tootlikkuses erinevusi?
- Milline võiks olla soodsaim kuude vahemik, mille alusel optimeerida päikeseküttesüsteemi installeerimisparameetreid?
- Milline on kuude löikes päikeseküttesüsteemi poolt tagatava tarbevee protsent kuu kogunõudlusest?

- Milline võiks olla päikesekollektori vertikaalne kaldenurk, et tootlikkuse kadu oleks kollektori orientatsiooni muutes võimalikult väike?

1 Päikeseküttesüsteemide areng ja nende kasutamine

Inimene on kasutanud päikeseenergiat oma hüvanguks sajandeid. Esimese päikesekollektori leiutas 1767. aastal Šveitsi teadlane ja aristokraat Horace de Saussure (Affordable Solar, 2015). Kollektori avastamiseni viis klaasist kasvuhoonet meenutava musta põhja ja soojustatud seintega kuumkasti uurimine.

Ajaga arenesid oskused päikeseenergiat inimkonna hüvanguks kasutada ning tekkisid kaks peamist tehnoloogilist suunda. Hakati arendama fotoelektrilisi päikeseenergiast elektrit tootvaid seadmeid ning päikesega vee soojendamiseks mõeldud kollektoreid. Järgnevalt keskendutakse tarbevee soojendamiseks mõeldud päikesekütte kollektorite ja nende kasutuselevõtu arengule.

Päikeseenergia abil tarbevett soojendavate kollektorite ja nende kasutuselevõtu arengut on põhjalikult käsitlenud John Perlin (2015), kelle analüüsi kokkuvõttel põhineb järgmine ajalooline ülevaade.

Algsed päikeseküttesüsteemid olid metallist mustaks värvitud veega täidetud mahutid või tünnid, mis olid kallutatud päikese poole. 19. sajandil ei olnud lihtsat meetodit, millega soojendada vett ning üldiselt soojendati vett pliidil. Jõukam klass sai endale lubada vee kütmist gaasiga, kuid lünklik põlemisprotsess nõudis pidevalt tule uuesti süütamist ning tule mitte põlema unustamist, mis vastasel juhul oleks põhjustanud soojaveemahuti õhku lendamise. Nii töötasidki mitmed farmerid koos teiste asjast huvitatutega välja meetodi vee ohutuks kütmiseks päikesega kasutades selleks musta tünni. Süsteemi miinuseks oli vee aeglane soojenemine päeva jooksul ning kiire jahtumine päikesekiirguse kadumisel õhtul ning öösel.

19. sajandi lõpus märkas senise mustaks värvitud soojustamata tünni puudujääke Ameerika Ühendriikides Baltimore'is Maryland'is uusima aja kodukütte tehnoloogiat müüv Clarence Kemp. 1891. aastal patenteeris Kemp viisi, kus ühendas vana metallist paagi kütmise kuuma kasti põhimõttega. Nii suurendati mahuti võimet koguda ja säilitada päikese soojust. Kemp nimetas oma uue päikeseküttesüsteemi Climax'iks ehk maailma esimeseks laiatarbe päikeseküttesüsteemiks. 1900. aastaks oli Lõuna-Kalifornias, kus päikesekiirgust piisavalt ning muud energiaallikad kallid, katustele seatud juba 16 000 Climaxi.

1909. aastal töi William J. Bailey päikeseküttesüsteemi arengusse uuenduse, eraldades päikeseküttesüsteemi kaheks osaks: küttelemendiks katuse peal ja köetud vee hoiustamise mahutiks majas sees. Selline süsteemi lahendus tagas inimestele sooja vee päeval ja öösel ning veel ka järgmisel hommikul. Bailey kütteelement koosnes vasktorudest, mis olid kinnitatud mustaks värvitud plekile, mis oli omakorda paigutatud klaasiga kaetud kasti. Vasest torude kasutuselevõtt oli edasiarendus, mida kasutatakse kollektorites tänapäevani (Exploring Green Technology, 2015). Samuti vähendas Bailey kollektoris ringleva vee hulka, võimaldades sellega vett kiiremini soojaks kütta.

1920-ndatel kolmekordistus Florida elamufond ning sarnaselt Kaliforniaga oli enne nafta avastamist mõlemas piirkonnas importkütus kallis. Energia kallidus kombineerituna troopilise kliima ja suure elamufondi kasvuga soodustas päikeseküttesüsteemide müüki. 1941. aastaks kütis rohkem kui pool elanikkonnast oma tarbevett päikesega.

Teise maailmasõja järgselt kasvas Jaapanis vajadus odava energia järele, et tagada inimeste soojavee nõudlus. 1960-ndaks aastaks oli müüdud rohkem kui 100 000 lihtsamat päikeseküttesüsteemi ning 1969. aastaks umbes 4 miljonit Climaxi põhimõttel töötavat süsteemi. Tänapäeval ostavad jaapanlased üle 250 000 päikeseküttesüsteemi igal aastal ning rohkem kui 10 miljonis Jaapani majapidamises köetakse vett päikese abil.

Alates 1950-ndatest kuni 1970-ndate alguseni kasutasid vaid paar tuhat austraallast tarbevee soojendamiseks päikesekütet. Päikeseküttesüsteemide kasutajate arv tõusis kiiresti pärast nafta hinna tõusu 1973. ja 1979. aastal. Austraalia juhtiv päikeseküttesüsteemide tootja Solahart, töötas välja 1970-ndatel integreeritud kollektormahuti lahenduse, mida oli lihtne paigaldada Austraalias enim levinud kaldkatuste tüübile. Uus lahendus säästis raha, kuna ei paigaldatud laiaulatuslikku torustikku ning polnud vajadust raske mahuti järele pööningul.

1980-ndate lõpus hakkas Austraalia päikeseküttesüsteemide turg seiskuma. Selle põhjuseks oli mandril avastatud maagaasi varud ning kütust transporditi nüüd torustiku kaudu varem energiapuudust kannatanud regioonidesse Põhja- ja Lääne-Austraalias. Nimetatud protsess pidurdas neis piirkondades päikeseküttesüsteemide kasutamise vajadust.

1953. aastal soovitas insener Levi Yissar Israeli valitsusele, et energiakriisi lahendamiseks võiks riigis kasutusele võtta päikeseressursi. Ta tutvustas ühepereelamutele mõeldud

päikeseküttesüsteemi, milles vee küte ja hoiustamine oli eraldatud. Yissarist sai Israeli esimene päikeseküttesüsteemide tootja ning 1967. aastaks küttis juba umbes üks kahekümnest majapidamisest oma tarbevett päikese abil. Kui nafta hind 80-ndatel kukkus ei tahtnud Israeli valitsus, et inimeste energiatarbimise harjumus muutuks, nagu juhtus mujal maailmas ning nõudis oma riigi elanikelt, et nad kütaksid oma tarbevett päikesega. Praeguseks on Israelis päikeseküttesüsteeme paigaldatud rohkem kui 90%-le majapidamistest.

Päikeseküttesüsteemide kasutamine on läbi ajaloo olnud suures sõltuvuses tahkete ja vedelate kütuste hinnast. Perioodidel, mil kütuste hind langes või oli madal, vähenes päikeseküttesüsteemide kasutamine ning kütusehinna tõustes kasvas taastuvenergia kasutajate hulk. 2012. aastal oli kogu maailmas installeeritud kollektorite abil toodetud energia hulk 269,3 GWh ning suurima osakaaluga tootjaks Hiina, kus toodeti ülemaailmsest soojusenergiast päikese abil 67%. Hiinale järgnes Euroopa, kus toodeti 15,9% ning ülejäänud 17,1% jagunes Põhja-Ameerika (6,4%), muu Aasia (3,8%), Ladina-Ameerika (2,7%), Austraalia ja Uus-Meremaa (2,0%), Lähis-Ida (1,8%) ja Sahara-taguse Aafrika (0,4%) vahel. Riigiti kasutatakse kollektorsüsteeme enim Hiinas, Ameerika Ühendriikides, Saksamaal ja Türgis (Mauthner & Weiss, 2014).

Tänapäeval kasutatakse päikesekollektori tüüpidest enam plaat- ja vaakumtorukollektoreid (Mauthner & Weiss, 2014). Viimati mainitud kollektortüübid erinevad teineteisest ehituse ja süsteemi tööpõhimõtte poolest. Plaatkollektori puhul on tegemist soojuskandjat sisaldava plaadiga ehk kogupinnaga, mis neelab kiirgust, vaakumtorukollektori puhul aga üksteisest eraldatult paiknevatest torudest koosneva süsteemiga, mis kontsentreerib soojuskiirgust ja suunab selle soojuskandja torule. Kollektori tüüpidest kasutatakse ülemaailmselt enim vaakumtorukollektoreid, millega toodeti 2012. aastal 64,6% (174,1 GWh) energiast, plaatkollektoritega toodeti 26,4% (71 GWh). Kõige enam kasutatakse kollektorsüsteeme ühepereelamute tarbevee soojendamiseks (78%). Lisaks kasutatakse süsteemi mitmepereelamutes, turismisektoris ning avalikus sektoris (9%), aga ka basseinide kütteks (8%). Vähem kasutatakse kollektoreid ruumide kütteks (4%) (Mauthner & Weiss, 2014).

Kollektorsüsteemide suurus ja võimsus võib olla väga erinev. Neid kasutatakse alates üksikelamute sooja tarbevee tagamisest kuni suuremate linnaliste piirkondade keskkütte osalise tagamiseni. Päikesekesküttesüsteemi kasutamise näiteks on Saksamaal Crailsheimis läbi viidud

projekt, kus 7000m² installeeritud kollektoreid peaks tagama vähemalt 50% piirkonna aastasest soojusenergia vajadusest (Janzing, 2010). Kollektorid installeeriti piirkonna gümnaasiumi, põhikooli ja paljude korterelamute katustele. Kogutud soojusenergia salvestatakse kahes suures maa-aluses mahutis ehk akumulatsioonipaagis ja sellega tagatakse naabruskonna soe tarbevesi ja jahedamal ajal piirkonna keskküte (Janzing, 2010).

Päikeseküttesüsteemi, kombineerituna muu kütte allikaga, otsustati kasutada Rootsis Malmö linnas Läänesadama uue elumupiirkonna rajamisel (Jedensjö, 2005). Ala nimega Bo01 planeeriti ökoloogiliselt jätkusuutliku piirkonnana, mille energiavajadus peaks olema kaetud 100% kohalikest energia- või taastuvenergiaallikatest. Piirkonna elektrivajadus planeeriti katta maksimaalselt 2MW võimsusega tuulegeneraatori abil ning umbes 80% piirkonna soojusvajadusest kaetakse õhksoojuspumba abil. Kümme päikesekollektorsüsteemi kogupinnaga 1400m² peaksid katma umbes 20% majapidamiste kütte ja sooja tarbevee vajadusest. Süsteemi rakendamisel ilmnas, et vaakumtorukollektorite efektiivsus oli 5% kõrgem kui plaatkollektoritel, kuid kollektorite efektiivsus üldises plaanis osutus antud piirkonnas planeeritust madalamaks. Jedensjö (2005) väitel põhjustasid 12% kao energia hulgest kollektorite jaoks mitteoptimaalsed kaldenurgad hoonete katustel ning samuti varjuefektid, mis takistasid kiirguse neeldumist kollektoris.

Eestis on seni vähe uuritud plaat- või vaakumtorukollektori efektiivsust eksperimentaalsete katsete näol testimaks nende sobivust ja majanduslikku tasuvust eramu täiendkütte allikana. Küll aga võib eramajade ja avalike hoonete katustel päikesekollektoreid aasta-aastalt järjest enam märgata. Soletek OÜ andmetel saab päikesekollektoreid täiendkütte allikana Eesti tingimustes kasutada keskmiselt märtsist oktoobrini. Kollektorite kasutamist eramute tarvis võib Eestis takistada hoonete ehitusstiil, sest võrreldes Lääne-Euroopaga, kus elamufondis domineerivad ridaelamud, on hoonete katusekonstruktsioonid Eestis enamasti märksa keerukamad, mis seavad omakorda piiranguid kollektorite paigutamisele katustel.

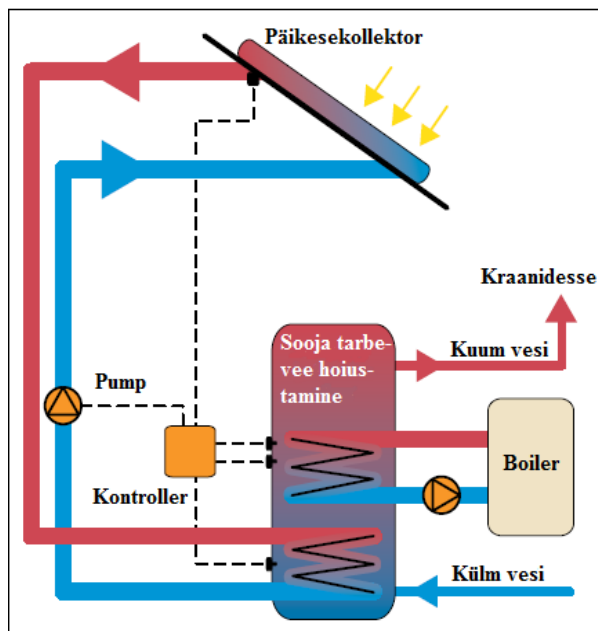
Praegune põhisuund jahedama kliimaga piirkondades on hoonete energiatõhususe suurendamine küttekulude vähendamise eesmärgil. Järjest enam püütakse rakendada taastuvenergia ressursse täiendavate kütteallikatena soojusenergia tootmiseks. Kollektorite vahendusel Päikeselt kogutud energiat proovitakse salvestada ja kasutada lisaks individuaalsetele lahendustele ka suuremate

piirkondade keskkütte tagamiseks. Taastuvate energiaallikate, sealhulgas päikseenergia abil üritatakse asendada võimalikult palju kallima hinnaga taastumatute energiaallikate kasutamist.

2 Päikeseküttesüsteemid

Kodumajapidamise energiatarvet aitaks kompenseerida taastuvate energiaallikate laialdasem kasutuselevõtt. Üheks selliseks võimaluseks on päikeseküttesüsteemid, mida saab kasutada elamu tarbevee eelsoojendamiseks või tarbevee täielikuks kütmiseks, aga ka elamu täiendkütteallikana keskkütte tarvis või nende kombineeritud lahendusteks.

Päikeseküttesüsteemis on soojuse tootjaks päikesekollektor, mis töötab soojusvaheti põhimõttel, muundades päikesekiirguse soojuskiirguseks, mida saab seejärel kasutada elamu tarbevee või basseinivee kütmiseks või elamu keskküttes (Energy Saving Trust, 2011; Kalogirou, 2004). Päikeseküttesüsteem koosneb soojusvahetina töötavast kollektorist, torustiksüsteemist, milles ringleb soojuskandja ja soojust salvestavast akumulatsioonipaagist (Joonis 1). Juhul, kui ei kasutata soojusvahetit, tuleb soojuskandjana kasutatav külm vesi vahetult akumulatsioonipaagi põhjast ning sellesse paaki juhitakse kollektorist soojenenud vesi. Süsteemi osaks on reeglina ka tsirkulatsioonipump, mis pumpab jahtunud soojuskandja uuesti kollektorisse (Joonis 1). Süsteemi osadeks on veel temperatuuriandurid, mis kontrollivad süsteemi tööd, et vältida kollektorist jahedama vee akumulatsioonipaaki suunamist, vee keema minemist või vajadusel suunavad vee kütmise üle muule süsteemile (Energy Saving Trust, 2011).



Joonis 1. Päikeseküttesüsteemi põhimõtteline skeem (Energy Saving Trust, 2011).

Kollektori väljavoolu on vajalik paigaldada sulgventiil, mis avaneb siis, kui soojuskandja on soojenenud töö alustamiseks kindla temperatuurini ning mis sulgub siis, kui kiirgust on vähem ning soojuskandja temperatuur on langenud madalamale, kui on vee temperatuur akumulatsioonipaagis (Kalogirou, 2004). Tavaliselt piisab ühest ventiilist kollektori soojuskandja väljavoolu ees.

Päikeseküttesüsteemi efektiivseks toimimiseks on vaja, et (Päikeseressurss Eestis, 2015):

- kollektori pind absorbeeriks päikesekiirgust võimalikult efektiivselt;
- kollektori pind kiirgaks pikalainelist soojuskiirgust tagasi võimalikult halvasti;
- soojakadude vähendamiseks oleks kollektori katte soojusjuhtivus võimalikult väike;
- kollektori taga- ja külgpinnad oleks hästi soojustatud;
- kollektorisse tuleva soojust kandva vedeliku temperatuur oleks võimalikult madal;
- kollektori pind oleks võimalikult ühtlase temperatuuriga;
- ringleva soojuskandja soojakaod oleks võimalikult väikesed (isoleeritud torustik)

Päikesekollektorsüsteeme saab eristada kiirgust neelava kollektoriosa paigalduslahenduse järgi. Eristatakse statsionaarseid ehk fikseeritud asendiga kollektoreid, millele langeb päeva jooksul päikesekiirgus erineva nurga alt, üheteljelisi päikese liikumist järgivaid kollektoreid, mis järgivad päikese liikumissuunda päeva jooksul või kiirte langemisnurka aasta lõikes, ning kaheteljelisi päikese liikumist järgivaid kollektoreid, mis järgivad nii päikese kulgemist päeva jooksul ilmakaarte suhtes kui ka päikesekiirte langemisnurka (hoides kollektori pinna pidevalt kiirgusega risti) (Kalogirou, 2004). Antud töös on keskendunud statsionaarsetele kollektoritele, kuna ühe ja kaheteljelised süsteemid on statsionaarsetest märkimisväärselt kallimad ja keerukamad, vajavad eraldi ehitatavat aluskonstruktsiooni ning nõuavad rohkem hooldust, olles praeguste Eestis kehtivate energiahindade juures konkurentsivõimetud. Telgede suhtes liikuvad kollektorid eeldavad üldjuhul katusetüübina lamekatust ega sobi viilkatustele installeerimiseks. Kollektorid peaksid olema orienteeritud põhjapoolkeral lõuna suunas ja lõunapoolkeral põhja suunas. Optimaalne kollektori kaldenurk on sõltuvalt seadmest ja soovitud maksimaalsest

efektiivsusest aastaaja lõikes võrdne umbes 10-15° erinevusega asukoha laiuskraadist (Kalogirou, 2003).

Töötemperatuuri alusel eristatakse plaatkollektoreid, mille optimaalseks töötemperatuuriks on 30-80 °C ja vaakumtorukollektoreid, mis töötavad temperatuuridel 50-200 °C (Kalogirou, 2004).

Päikesekollektoreid saab eristada veel soojuskandja alusel. On olemas otseläbivoolulised süsteemid, kus soojuskandjana ringleb kollektoris vesi, mida päikesepaistelisel ajal kollektor kütab. Sellised süsteemid sobivad eelkõige soojema kliimaga aladele, kus temperatuur ei lange alla nulli. Otseläbivoolulist vesisoojuskandjaga süsteemi ei tohiks kasutada ka kohtades, kus vee kvaliteet on halb või vesi on liiga happeline, sest tekkinud setete hulk võib ummistada või korrodeerida kollektorit (Kalogirou, 2004). Põhjamaades ning piirkondades, kus temperatuur võib langeda alla nulli, tuleks eelistada süsteeme, mille soojuskandja miinuskraadidega ei külmuks. Sellisel juhul võib soojuskandjana kasutada glükooli-, piirituse- või muid spetsiifilisi lahuseid. Lahuse puhul on oluline, et ta oleks hea soojusmahtuvusega ning ei oleks oksüdeeriv. Mitteoksüdeerivus on oluline sellepärast, et süsteemis ei tekiks roostet ega katlakivi, mis võiks süsteemi ummistada või kahandada selle soojusülekanne võimet.

Päikesekollektori kiirgust neelava osa ehk välise soojusvaheti alusel saab neid liigitada plaat- ja vaakumtorukollektoriteks. Kalogirou (2004) järgi on plaatkollektor ehk lamekollektor (Lisa 1 ja Joonis 1) üks laiemalt levinud päikesekollektori tüüpidest. Plaatkollektorid jagunevad omakorda avatud või suletud plaatkollektoriteks. Avatud plaatkollektori puhul on tegu tumedat värvi soojusvahetiga, mis on asetatud päikeselisse kohta ja see ei ole ümbritsevast keskkonnast isoleeritud. Suletud plaatkollektor on eelmise edasiarendus, kus tume päikest neelav plaatsoojusvaheti on paigaldatud pealt klaasiga ja külgedelt ning põhjast soojustatud kasti. Selle tulemusena ei jahuta jahe õhk ja tuul kollektoreid nii kiiresti maha ja soojatoodang on suurem kui avatud süsteemis. Suletud süsteemis läbib päikesekiirgus läbipaistva katteplaadi ning langeb mustale päikesekiirgust absorbeerivale pinnale. Absorbeeriv pind on kontaktis plaatkollektori sees tavaliselt vasest torudega ning absorbeerunud päikesekiirgus kantakse soojusena üle torudes voolavale soojuskandjale. Soojuskandja transpordib soojuse edasi tarbijani või akumulatsioonipaaki.

Vaakumtorukollektori ehk vaakumkollektori (Lisa 1 ja Joonis 2) moodustavad vakumeeritud torukeste kogumid, kus vaakum töötab isoleeriva keskkonnana. Torud on pealt kaetud karastatud klaasiga ning torude sees ringleb soojuskandev vedelik. Vaakum minimeerib soojuskadusid kollektori pinnalt ning tänu sellele on soojuskandjat võimalik kuumutada kõrgemate temperatuurideni võrreldes plaatkollektoriga. Vaakumkollektori torude ümar pind püüab päikest efektiivselt kogu päikesepaistelise aja vältel, sest päikese poole on alati vähemalt üks pool toru pinnast. Kogutud päikese otsekiirguse hulgale lisandub osaliselt ka hajuskiirgus, mis on ümber toru kogu valge aja vältel. Vaakumkollektori tööga pikendab oluliselt asjaolu, et soojuskandjaks pole vesi, vaid mõni muu vedelik, mis ei mõju kollektorile ja torustikule võrreldes veega nii korrodeerivalt. Eesti tingimustes soovitatakse kasutada glükooli 40–50% vesilahust mille soojusmahtuvus on vee omast väiksem ning tänu millele kannab ta soojust soojaveemahutisse kiiremini üle kui vesi (Laul, 2009). Eestis loeb kollektorite kasutamisel soojusülekanne kiirus, sest optimaalse kiirgustugevusega päikeselist aega on siin vähe (Laul, 2009).

Vaakumkollektorid jagunevad tööpõhimõtte alusel kaheks: U-toru süsteemiks ja soojustoru süsteemiks. Kuigi väliselt on mõlemad süsteemid äravahetamiseni sarnased, on need tehniliselt väga erinevad.

U-toru süsteemis antakse soojuskiirgus edasi vasktorudes liikuvale soojuskandjale, mis liigub läbi terve küttesüsteemi (Lisa 2 ja Joonis 1). Päikeselt tulev kiirgus soojendab otse vaakumtorude sees olevaid vasktorusid ning nendes soojuskandjana liikuvat glükoolilahust. Soojuskandjana liikuv glükoolilahus annab soojuse ära küttekehale, millega köetakse tarbevett. (Laul, 2009)

Soojustorusüsteemis on kaks soojuskandjat, mis omavahel kokku ei puutu. Üks soojuskandja kogub isoleeritud vasktorudes päikeselt soojust, liigub seejärel üles, küttes kuumaks vasktoru tipu (Lisa 2 ja Joonis 2), mis omakorda annab soojuse ära kogu süsteemi läbivale soojuskandjale. Vasktorudes võib soojuskandjana kasutada nii faasimuutusega ainet kui ka glükoolilahust. Faasimuutusega aine korral tõuseb soojaga aurustunud soojuskandja vasktorus üles, kus ta kondenseerub ja annab soojuse ära vasktoru tipule, mis kannab soojuse üle süsteemi läbivale soojuskandjale. Raskem veeldunud soojuskandja langeb soojustoru alumisse ossa tagasi ja protsess kordub taas.

3 Majapidamiste kütteallikad Eestis

Tarbevee soojendamise on Eesti majapidamistele konstantne energiakulu allikas. Sooja tarbevett enamasti kas otsetakse sisse või toodetakse kütteallikaga ühendatud soojaveeboileriga (Raudjärv ja Kuskova, 2011). Kodumajapidamiste energiatarbimise uuringu kohaselt saavad sooja vett ligi pooled leibkonnad kaugküttega samast energiasüsteemist ning 35% kodumajapidamistest kasutab soojaveeboilerit (Raudjärv ja Kuskova, 2011).

Eestis on praegu enamlevinud energiaallikaks põlevkivi, taastuvenergiaallikatest kasutatakse täiendavalt enim tuuleenergiat. 2011. aastal toodetud 12,9 TWh-st (Statistikaamet, 2012) elektrienergiast moodustas põlevkivist toodetu 84,5% (Keskkonnaministeerium, 2012) ja taastuvenergiaallikatest toodetu 12,4 % (Eesti kuues kliimaaruanne, 2013). Eesti kuenda kliimaaruande kohaselt paistab Eesti teiste Euroopa riikide seast silma suurte energiakulutuste poolest tagamaks kodumajapidamiste energiatarvet. Statistikaameti 2010. aasta andmete kohaselt moodustas kodumajapidamiste energiatarve koguenegiatarbest Euroopas 27%, Eestis aga 35% (Eesti kuues kliimaaruanne, 2013). Hoonete energiatarbimine oli 2010. aastal 23,6 TWh, sellest elektritarbimine 6,94 TWh ja soojusenergia 16,7 TWh. Energia lõpptarbimise osakaal hoonetes kogu energiatarbimisest on Eestis suur – üle 50% (Eesti kuues kliimaaruanne, 2013). Majapidamiste energiatarbimine energia ja kütuse liigi järgi oli 2010 aastal järgmine: puit 32%, kaugkeskküte 28%, mootorikütused 21%, elektrienergia 13%, muu 6% (Raudjärv ja Kuskova, 2011). Ligi 30% kodumajapidamiste energiatarbimisest moodustab ostetud soojus, mis sisaldab ka kaugküttesüsteemist ostetud sooja vett, veidi üle 20% moodustavad mootorikütused ning 13% elekter (Raudjärv ja Kuskova, 2011). Teisi kütuseid nagu maa- ja vedelgaas, turbabrikett, kerge kütteõli, kivisüsi tarbitakse 6% (Raudjärv ja Kuskova, 2011). Eestis domineerib praegu taastumatute energiaallikate, sealhulgas ka importkütuste kasutamine energia tarbeks. Olukorda parandaks kohalike ja taastuvate allikate suurem kasutamine, mis omakorda parandaks Eesti väliskaubanduse bilanssi ja suurendaks energeetilist julgeolekut ning -sõltumatust.

Arvestades Euroopa keskmisest suuremat hoonete energiatarvet Eestis võiks energiatarbe kokkuhoidu silmas pidades rakendada elamutel taastuvenergiat põhinevaid küttesüsteeme. Suvilates, kus peamine soojavee tarbimine toimub suvisel perioodil, saaks päikeseküttesüsteemi

rakendades tagada enamuse soojavee vajadusest. Eramutel võiks päikeseküttesüsteem tagada soojavee vajaduse osaliselt ning korterelamutel võiks kasutada ära lamekatuse potentsiaali.

4 Päikeseküttesüsteemi tootlikkust mõjutavad kliimaatilised tegurid

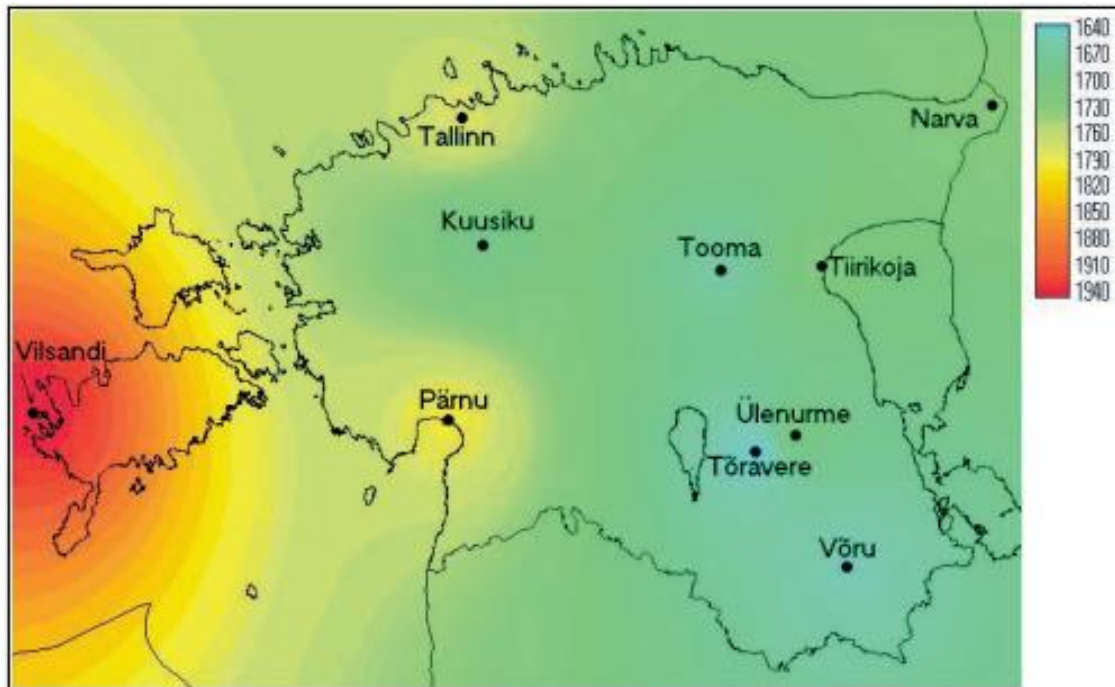
Antud peatükis käsitletakse referatiivselt üldisi päikeseküttesüsteemi töö efektiivsust enim mõjutavaid kliimaatilisi tegureid ja nende tegurite ruumilist jaotust Eesti näitel. Nendeks teguriteks on päikesepaiste, selle ajaline kestvus ja aastane varieeruvus, välisõhu temperatuur, sademed ja lumikattega aja pikkus ning lumikatte paksus ja tuule kiirus.

4.1 Päikesekiirgus

Päikeseküttesüsteemi töö efektiivsuse mõistes on kõige olulisemaks teguriks päikesepaiste olemasolu. Päikese võimsuse mõõduks on tema eritihedus W/m^2 (Tomson, 2000). Päikese kiirguse puhul eristatakse otsekiirgust ja hajuskiirgust. Otsekiirgus on päikeseketta suunalt kiirgusega risti olevale pinnale langev kiirgus, mis tekitab täisvarju (Tomson, 2000). Päikeseküttesüsteemi kõige olulisemaks energiaallikaks on päikeseenergiat kõige paremini üle kandev otsekiirgus (Tomson, 2000). Hajuskiirgus annab samuti energiat, mida päiksekollektorid saavad soojuseks muundada (Tomson, 2000), kuid mitte nii palju kui otsekiirgus.

Aastane summaarse kiirguse ressurss on Tartu Aktinomeetriaajaama mõõtmiste põhjal 977 kWh/m^2 (Tomson, 2000). Eestis on aktinomeetriline ressurss jagunenud suhteliselt ühtlaselt maksimaalse erinevusega 10% (Lääne- ja Põhja-Eesti rannikul minimaalselt 965 kWh/m^2 , Kesk-Eestis Paide kandis minimaalselt 890 kWh/m^2) (Tomson, 2000). Päikesekiirte langemisnurgast oleneb kollektoril neeldunud kiirgus hulk. Mida kõrgemal on päike horisondi suhtes, seda rohkem langevad kiired risti maapinnaga ning seda suurem on päikeselt saadav energia hulk.

Aastane päikesepaiste kestvus jääb Eestis keskmiselt 1600 ja 1980 tunni vahemikku (Riigi ilmteenistus 2015b). Kõige enam on päikesepaistel aega aasta jooksul Vilsandil 1982,4 tundi ning kõige vähem Kuusikul 1612,3 tundi (Riigi ilmteenistus 2015b). Eestis on aasta keskmine päikesepaiste kestvus tundides 1765,8 (Riigi ilmteenistus, 2015b). Päikesepaisteliste tundide arv on aastas suurim Lääne - ja Loode-Eesti rannikul ja Lääne-Eesti saartel. Sisemaa poole liikudes ning ka kõrgustikel väheneb pilvede moodustumise tõttu päikesepaisteliste tundide arv (Joonis 2).



Joonis 2. Päikesepaiste kestuse aastasummade keskmine jaotus Eesti territooriumil (Russak ja Kallis, 2003).

Päikesepaiste tegelik kestus Eestis on alati väiksem tema teoreetilisest võimalikust väärtusest, olles keskmiselt 37-43% võimalikust (Russak ja Kallis, 2003). Päikesepaiste tõenäosus on suurim suvel. Juunikuus on tegelik päikesepaiste kestus keskmiselt 49-57% võimalikust (Russak ja Kallis, 2003). Eestis on keskmiselt 252 päikesepaistelise päeva (Tabel 1) ning aasta jooksul esineb kõige sagedamini pidevat päikesepaistet 2-4 tunni jooksul (Russak ja Kallis, 2003). Suvekuudel paistab päike rannikualadel päeva jooksul keskmiselt 1-2 tunni võrra kauem kui sisemaal, talvel erinevus praktiliselt puudub (Russak ja Kallis, 2003)

Tabel 1. Päikesepaistega päevade keskmine arv (Russak ja Kallis, 2003).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	aasta
Kuusiku	9	13	21	24	27	27	29	26	23	19	10	6	234
Narva	11	15	22	25	29	27	29	28	23	19	10	7	245
Pärnu	12	14	22	25	29	28	30	29	26	22	13	10	260
Tallinn	10	13	22	25	29	29	30	29	26	21	11	8	253
Tiirikoja	11	15	23	25	29	29	30	29	26	20	11	8	256
Tooma	10	14	22	25	28	29	30	29	26	21	10	7	251
Tõravere	12	14	22	25	29	28	29	29	26	20	11	9	254
Vilsandi	13	15	23	25	28	28	30	30	27	23	15	11	268
Võru	9	14	21	25	29	27	30	27	25	20	11	6	244
Ülenurme	11	15	22	25	29	29	29	29	25	20	12	9	255

Päikese otsest kiirgust vähendavad 6-12 km kõrgusel paiknevad ning jääkristallidest koosnevad kiudpilved, kiudkihtpilved ja kiudrunkpilved. Kuigi päike paistab nendest pilvedest läbi, väheneb läbi kõrgpilvede maapinnani jõudev kiirguse hulk, sest osa kiirgust neeldub pilvedes ning osa peegeldub pilvedelt tagasi. Taevaalaotuse katvust pilvedega määratakse Eestis kümnepallilises skaalas, milles 1 pall pilvisust tähendab, et pilved katavad 1/10 taevaalaotusest (Russak ja Kallis, 2003).

4.2 Välisõhu temperatuur

Päikeseküttesüsteemi töö efektiivsust mõjutab ka välisõhu temperatuur, mis mõjutab eelkõige kollektori pinna temperatuuri ja soojuskadusid ülekandetorustikus. Kollektori tootlikkuse mõistes on soovitud kõrgeim õhutemperatuur ja väiksem temperatuuri amplituud, et vähendada kollektori pinna jahtumisest tulenevat tootlikkuse vähenemist. Temperatuuri amplituud mõjutab kollektorit enim kevadel ja sügisel, mil ööpäevaste välisõhu temperatuuride kõikumine on suur ning mistõttu kulub kollektoril rohkem aega üles soojenemiseks ja töö alustamiseks piisava päikesekiirgusega ajal. Õhutemperatuuril on suurem osatähtsus tootlikkusele kehvema soojusisolatsiooniga ja suurema välisõhule eksponeeritud välispinnaga kollektorite puhul.

Eestisesed keskmised aastased õhutemperatuuride erinevused tulenevad peamiselt Läänemere suuremast mõjust rannikualadele. Vastavalt sellele kujunevad veidi erinevad nii aastased keskmised õhutemperatuurid kui ka temperatuuride maksimumid ja miinimumid rannikul ja Mandri-Eestis. Keskmisest kõrgemad on aastased õhutemperatuurid Lääne-Eestis ja saartel

(Vilsandi, Sõrve, Ristna, Kihnu) ning keskmisest madalamad Ida-Eestis (Väike-Maarja, Jõhvi, Tiirikoja, Jõgeva) (Riigi ilmateenistus, 2015a) Kõige soojem kuu Eestis on juuli, mil kuu keskmine õhutemperatuur on Vilsandil 16,5 °C ja Võrus 17,3 °C ning kõige külmem veebruar kui keskmine õhutemperatuur on Vilsandil –2,0 ja Narvas –6,2 °C (Riigi ilmateenistus, 2015a). Aasta keskmine õhutemperatuur on Eestis 5,9°C (Riigi ilmateenistus, 2015a).

Eesti keskmisest kõrgemad sügisesed ja talvised õhutemperatuurid kahandavad kollektorite soojuskadusid külmal perioodil, võimaldades optimaalset tootmisperioodi kevade ja sügise arvel pikemaks venitada. Samas kõrgemad suvised temperatuurid soodustavad Kagu- ja Lõuna-Eestis lühema perioodi jooksul suurema koguse sooja vee tootmist.

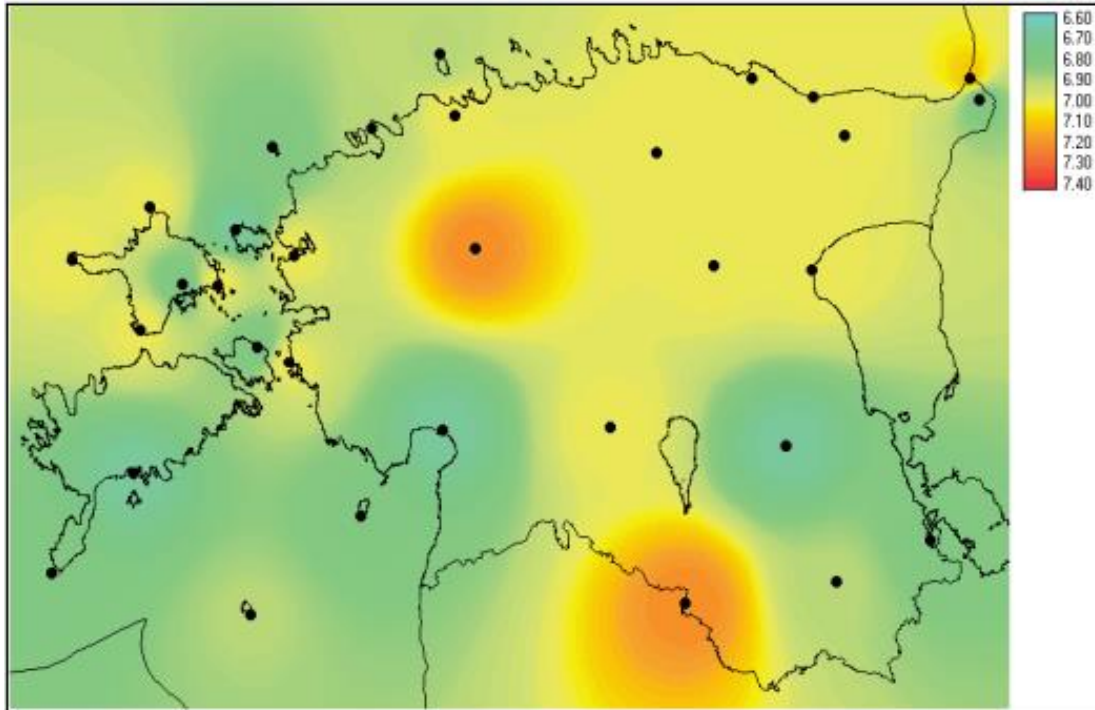
4.3 Pilvisus ja sademed

Päikesekollektori tootlikkust vähendab oluliselt ka pilvisuse ning sademete esinemine. Pilvisuse puhul on oluline nii lausalise pilvkatte kui vahelduva pilvisuse esinemine, sest vahelduv pilvisus võimaldab kollektorelemendi kiirguslikku jahtumist. Nii sademed, kui ka sademete aurumine kollektorilt jahutab kollektori pinda, misõttu kulub kollektoril rohkem aega üles soojenemiseks ja töö alustamiseks piisava kiirguse saabumisel. Aastane keskmine sademete hulk jääb Eestis vahemikku 570–770 mm, millest aasta keskmiseks sademete hulgaks on 672 mm (Riigi ilmateenistus, 2015c). Kõige vähem sajab reeglina rannikuvööndis ja eriti kuiv on seal kevadel ja suve esimesel poolel (Russak ja Kallis, 2003). Kõige sademeterohkemad piirkonnad paiknevad kõrgustikel ja läänerannikust 30–60 km kaugusel, kus sajab suhteliselt rohkem sügisel ja eeltalvel (Estonica, 2009).

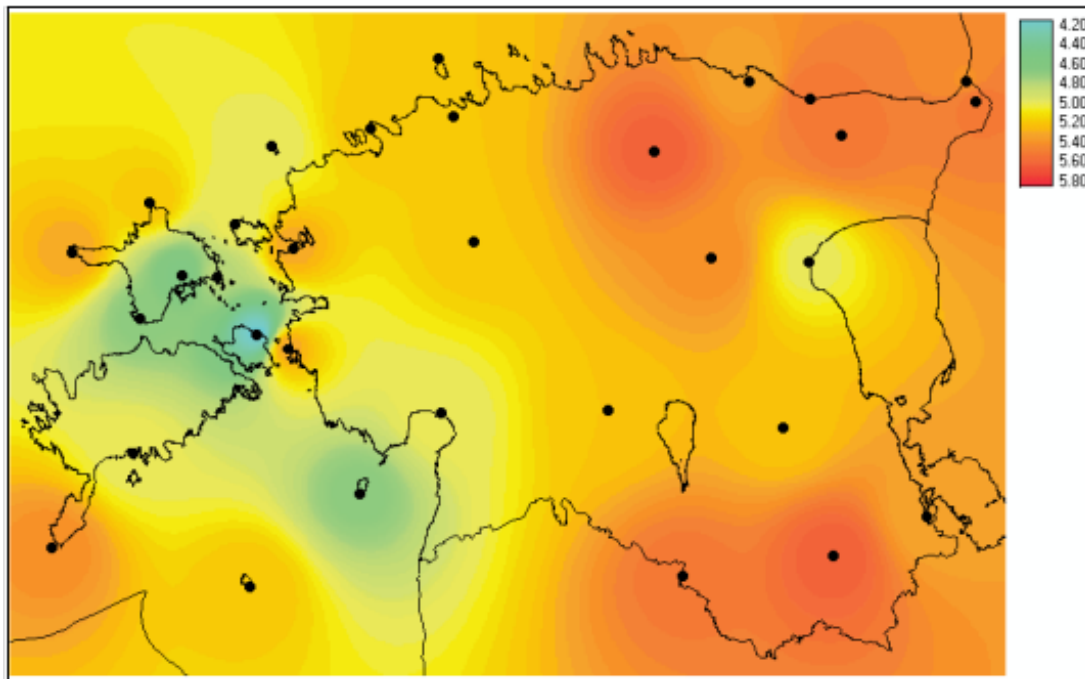
Sademete alla on arvatud ka talvine lumesadu, lumikattega aja pikkus ning lumikatte paksus, sest lumega kaetud kollektorid ei ole võimelised soojusenergiat tootma isegi siis, kui antud päeval esineks päikesepaistet. Eriti oluline on lumikatte esinemine kevadtalvisel perioodil, mil päikesepaistet esineb sagedamini ja pikemalt. Lumikattest on enam mõjutatud tasapinnalised plaatkollektorid, kuhu lumi ladestub kergemini. Hoonete katustel on lumikatte tingimused oluliselt erinevad ilmajaamades mõõdetutest, kuid paremate andmete puudumisel saab üldnäitajate kaudu siiski piirkondlikke erinevusi üldjoontes kirjeldada. Lumikatte kestus ja paksus varieerub üle Eesti suures skaalas. Keskmine lumikattega päevade arv jääb talve jooksul vahemikku 61–155 päeva (Tooming, Kadaja 2006). Lumikatte kestus ja paksus on suurim kõrgustikel (Haanja, Pandivere ja Pandivere, Kirde-Eesti), ulatudes seal paljuaastase keskmisena

125-135 päevani ja lumikate kuni 30 cm. Lumikattega periood on lühim saartel (Vilsandil, Sõrves ja Ruhnus alla 80 päeva) ja Lääne-Eesti rannikualadel (Tooming, Kadaja 2006). Lumevaesem on kogu Lääne-Eesti, kus lumikatte paksus kasvab sisemaa suunas, aga ka piirkond, mis jääb Võrtsjärve nõost kuni Peipsini, haarates suure osa Emajõe valglast ja käändudes Otepää kõrgustiku taha (Tooming, Kadaja 2006).

Piirkondades, kus sademeid on rohkem, esineb ka suurema tõenäosusega enam pilvisust ning madalamate talviste temperatuuride korral pikaajalisem ning paksem lumikate. Pilvisem taevas ning pikaajalisem lumikate vähendavad kollektorini jõudvat päikesekiirgust, mistõttu väheneb ka kollektori tootlikkus. Päikest varjavad tihedamad kõrgkihtpilved, kihtsajupilved, kihtpilved ja kihtrümpilved, aga ka madalamad kihtrümpilved, kihtpilved, kihtsajupilved ning vertikaalse arenguga rümpilved ja rümpsajupilved. Kollektori jahtumist päeva jooksul eriti kevaditi ja sügiseti põhjustavad enim üle taeva laotuse liikuvad rümpilved. Meteoroloogiajaamades määratakse eraldi madalate pilvede hulk ja pilvede koguhulk ehk üldpilvisus, mille hulka arvatakse kõik pilved sõltumata nende kõrgusest (Russak ja Kallis, 2003). Keskmise kõrgusega pilved ning madalad pilved vähendavad maapinnani jõudvat kiirgust rohkem kui kõrgpilved. Aasta keskmine üldpilvisus on Eestis 7 palli ning keskmine madal pilvisus 5,3 palli (Russak ja Kallis, 2003). Väikseim on nii üld- kui ka madal pilvisus Lääne-Eesti rannikul ja suurim sisemaal (Joonised 3 ja 4). Eriti suur on madal pilvisus kõrgustikel (Joonis 4). Madala pilvisuse osakaal väheneb suvekuudel, kuid samas kasvavad erinevused sisemaa- ja ranniku vahel, mil sisemaal esineb madalat pilvisust rohkem (Russak ja Kallis, 2003). Talvel erinevus pilvisuses praktiliselt puudub ja madal pilvisus moodustab keskmiselt kuni 95% üldpilvisusest (Russak ja Kallis, 2003).



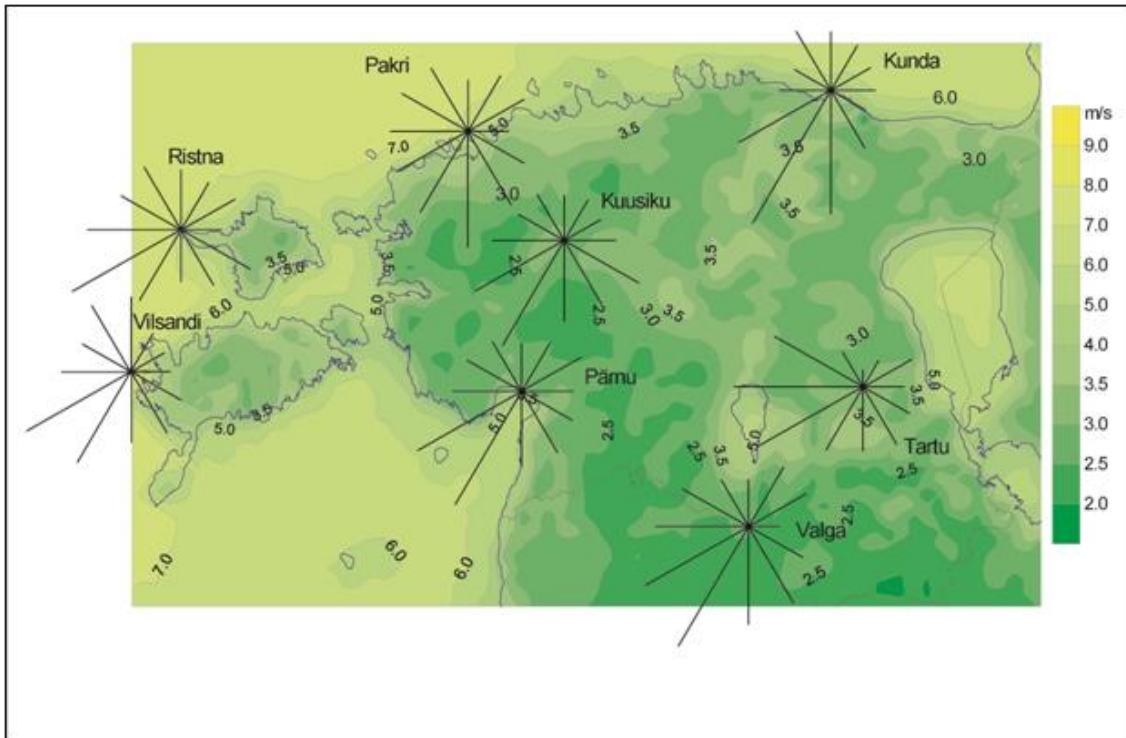
Joonis 3. Aasta keskmine üldpilvisus Eestis (Russak ja Kallis, 2003).



Joonis 4. Aasta keskmine madalpilvisus Eestis (Russak ja Kallis, 2003)

4.4 Tuul

Saju- ja kastega päevadel põhjustab tuul kollektori pinnal sademete intensiivsemal aurumisel jahutavat efekti. Samuti suurendab tuul õhuvahetust kollektori õhust soojemate osade ümber ja soodustab seeläbi soojuskadu. Üldiselt on tuule mõju päikeseküttesüsteemile väike, kui süsteem on paigaldatud ka tormituultele vastupidavalt. Keskmisest suurema sagedusega puhuvad üle Eesti lääne-, edela- ja lõunakaarte tuuled ning väiksema sagedusega idakaarte tuuled (Joonis 5). Tuule keskmine kiirus on suurem Lääne-Eesti saartel ning väiksem sisemaal. Kui Eesti siseosas on aasta keskmine tuule kiirus alla 4 m/s, siis rannikul on see 5 m/s või üle selle (Joonis 5). Tuule kiirusel on ilmne sesoonsus, sest sügisel ja talvel on tuul tugevam kui kevadel ja suvel (Riigi ilmateenistus, 2015e). Tuule kiirus on suurim jaanuaris ja väikseim juulis, sisemaal ka augustis (Riigi ilmateenistus, 2015e).



Joonis 5. Tuule kiirus 10 m kõrgusel (Kull and Laas, 2003).

5 Materjal ja metoodika

Käesolev lõputöö põhineb eeskätt kirjanduse analüüsil, päikesekollektorite tööd mõjutavate meteoroloogiliste näitajate analüüsil ning mudelarvutuste läbiviimisel.

5.1 Andmestik

Päikesekollektori optimaalse kaldenurga leidmiseks leiti kuude lõikes iga päeva kohta tõelisele keskpäevale vastavad päikese kõrgused. Andmed päikese kõrguse kohta horisondil aasta lõikes saadi Tallinna kohta Tähetorni kalendrist (Aas ja Harving, 2010). Eesti kliimat kirjeldavad kuu-, aasta ja pikaajalised keskmised andmed pärinevad teatmikest ning Riigi ilmteenistusest.

Päikesekiirgust iseloomustavad aastane päikesepaiste kestvus tundides ning päikesepaisteliste päevade arv saadi Eesti kiirguskliima teatmikust (Russak ja Kallis, 2003) ja ilmteenistuse kodulehelt. Lumikatte piirkondlikku kestvust ning lumikatte paksust iseloomustavad andmed pärinevad Eesti lumikatte teatmikust (Tooming ja Kadaja, 2006). Pilvisusega seotud andmed (keskmine üldine ja madal pilvisus, keskmise-, üldise- ning madala pilvisuse Eestisene varieerumine) saadi Eesti kiirguskliima teatmikust (Russak ja Kallis, 2003). Pikaajalised kliimanormid ja aasta keskmised, miinimum- ja maksimumtemperatuurid ning tuule kiirused saadi ilmteenistuse kodulehelt.

Andmed majapidamiste energiatarbe kohta kütuseliigi järgi, Eesti elektri kogutoodangu ning energiatoodangu allikate kohta 2011. aastal pärinevad Statistikaametist, Keskkonnaministeeriumi dokumendist „Põlevkivi kasutamise arengukava 2008-2015” ja Eesti kuuendast kliimaaruandest. Hoonete energiatarbe näitajad pärinevad Eesti kuuendast kliimaaruandest.

5.2 Metoodika

5.2.1 Modelleerimine vabavaraga Tecsol

Päikeseküttesüsteemi töö modelleerimiseks otsiti vabavaralist modelleerimistarkvara, mis võimaldaks valida kollektori vertikaalnurka ja asimuuti, kollektori tüüpi ning võimaldaks arvestada energiakaoga ning süsteemi põhikomponentidega. Otsingute tulemusena leiti järgmised vabavara programmid: Tecsol, Oventrop, ScanTheSun, Viessmann, CEC-FChart, CombiSun ning SIMSOL. Kuna uurimistöö eesmärk oli modelleerida erinevate kollektori

tüüpide tootlikkust Eesti kliima tingimustes, siis ei kasutatud mudeleid, mille lähteparameetrid olid geograafiliselt fikseeritud ja ei vastanud Eesti tingimustele (nt. CEC-FChart, Viessmann, CombiSun) või võimaldanud valida laiemalt levinud kollektorite tüüpe (nt. Oventrop). Mudeli valiku kriteeriumidele vastas kõige paremini vabavara Tecsol, mis on online kalkulaator ja võimaldab hoone tüübi ning tarbimisvajaduse jaoks arvutada sobivaid päikesekütte installatsioonivõimalusi ning süsteemist saadavat kasu.

Tarkvara kalkulatsiooni algorütmid on loonud prantsuse Teaduse ja Tehnika Ehituse organisatsioon CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) (Tecsol, 2015).

Modelleerimine teostati kasutades Helsingi meteo andmeid, kuna vabavaraline tarkvaraprogramm ei võimaldanud oma andmeid sisestada ja seetõttu valiti Põhja-Eesti tingimustele sarnaseima kliimaga (Tabel 2) asukoht olemasolevast loetelust.

Tabel 2 . Mudelis Tecsol modelleerimiseks kasutatud õhutemperatuuri andmed.

Kuu	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T° välisõhu temperatuur	-6,0	-6,1	-2,1	3,1	9,9	14,0	16,4	14,9	9,7	4,8	0,0	-4,0

Soojavee tarvet ühepereelamus modelleeriti eeldusel, et sooja vett kasutavad püsivalt 4 inimest ja sel juhul oleks nelja inimese keskmine sooja vee tarbimine aasta lõikes 132 liitrit ööpäevas. Mudelis kasutatav vee temperatuur ja selle kütmiseks vajalik arvestuslik energiahulk on leitud Euroopa Komisjoni poolt kehtestatud ESM2 meetodiga, mis on kinnitatud standard päikeseküttesüsteemide projekteerimiseks või modelleerimiseks (European Commission, 1991).

Akumulatsioonipaake valiti süsteemi üks ning selle paiknemiskohaks siseruum, milles on püsivalt 20 kraadi sooja. Akumulatsioonipaagi mahuks ühe kollektorelemendi kohta võeti 300 liitrit. Installatsiooni tüübiks valiti sundlätivooluga ehk tsirkulatsioonipumbaga ja eraldi küttekehaga süsteem. Salvestatava sooja vee minimaalseks temperatuuriks võeti 40°C. Akumulatsioonipaagi soojuskadude arvessevõtmiseks valiti selle soojustuseks 5 cm paksune klaasvilla kiht.

Päikesekollektori tüübiks arvutustes valiti mõlemal korral firma Viessmann laiemalt levinud kollektorid. Esimene modelleering viidi läbi plaatkollektori Vitosol 200-F'ga ja teine modelleering vaakumtorukollektori Vitosol 200-T'ga. Mõlema kollektortüübiga viidi läbi 30 modelleeringut muutes kollektori kaldenurka horisontaalpinna suhtes 30-st kuni 60-ne kraadini. Ilmakaare suhtes viidi modelleering läbi kollektorite lõunasuunalise orientatsiooniga.

5.2.2 Optimaalse vertikaalkaldenurga arvutamine

Selleks, et pikendada päikesekollektoriga kütmise aega ja suurendada kollektori tootlikust kevadel ja sügisel, leiti sobiv aastaringne fikseeritud keskmine kaldenurkade vahemik mõlemale kollektortüübile. Arvutused koostati kolme stenaariumi jaoks: märts-oktoober, aprill- september ning võrdluseks terve aasta. Vahemikud valiti arvestades, et päikesepaistet on ilmasteenistuse andmetel nendel perioodidel rohkem ning madala ja üldise pilvisuse osakaal võrreldes talvekuudega väiksem. Päikesekollektori ideaalseks tööks peaksid päikesekiired langema kollektori pinnaga võimalikult suurel ajavahemikul risti ehk kiirte ja kollektori pinna vahele tekkima 90 kraadine nurk. Kuna ilmade heitlikkuse tõttu ei ole võimalik päikesekollektori abil saavutada 100% tagatusega sooja tarbevee tootmist, siis seati kriteeriumiks katta maksimaalselt 75% igakuisest tarbevee tootmiseks kuluvast energiahulgast. Kuudel mil modelleeritud tarbevee toodang ületas 75% kuu kogunõudlusest, loeti vastavate kuude tootlikkus võrdseks 75%-se tootlikkusega. Sel viisil kaotatakse ebasoodsama kollektori kaldenurga tõttu osa potentsiaalsest energiatoodangust, kuid saavutatakse parem tootlikkus kevad- ja sügiskuudel, mil kollektori kaldenurk vastab paremini optimaalsele kaldenurgale. Võrdluseks toodi mõlema kollektortüübi aastased võimalikud tootlikkused, kui toodangu mahtu ei vähendatud.

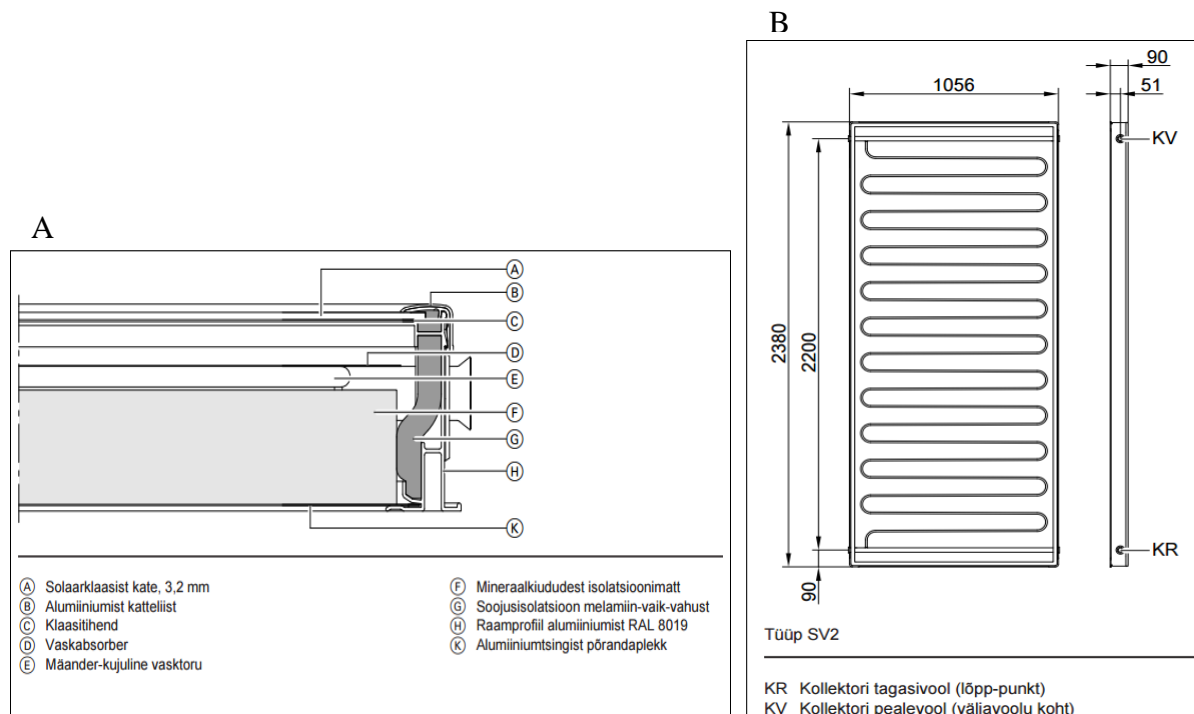
5.2.3 Asimuudi mõju kollektori tootlikkusele

Päikesekollektori tootlikkus on suurim orienteerituna otse lõunasse. Kuna alati pole kollektoreid võimalik installeerida suunatuna otse lõunasse, uuriti modelleerimisprogrammiga Tecsol kollektori tootlikkuse muutust vertikaalsetel kaldenurkadel 30,40 ja 50 kraadi, sõltuvalt kollektori orientatsioonist ilmakaarte suhtes. Kollektori orientatsiooni muudeti kõigil kolmel kaldenurgal lõunast järgnevalt: $\pm 22,5^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 67,5^\circ$ ja $\pm 90^\circ$. Modelleerimise tulemustena võrreldi mõlema kollektortüübi aastase tootlikkuse muutust.

5.3 Plaatkollektori Vitosol 200-F ja vaakumtorukollektori Vitosol 200-T tehnilised kirjeldused

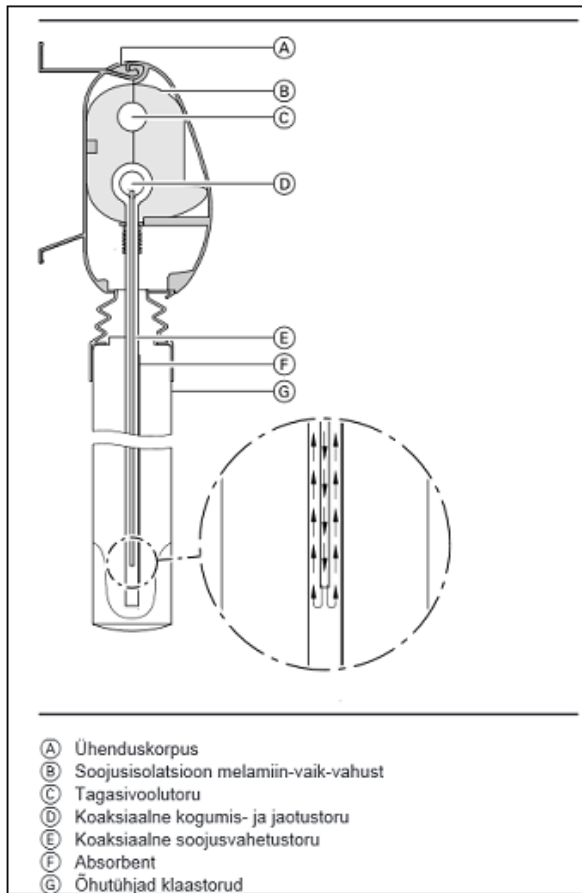
Antud uurimustöös on modelleerimisel kasutatud Viessmanni firma poolt toodetud plaatkollektorit Vitosol 200-F ja vaakumtorukollektorit Vitosol 200-T. Mõlemad kollektortüübid on mõeldud majapidamise tarbevee soojendamiseks või täiendkütteallikana kasutamiseks (Viessmann, 2008b).

Vitosol 200-F tüüp SV2 on plaatkollektor ning SV2 tähendab katusele vertikaalselt paigaldatavat kollektorit, mida saab katusesse nii intergeerida kui paigaldada iseseisva konstruktsioonina lame- ja kaldkatustele. Vitosol 200-F põhikomponent on vaskabsorber, mis on kaetud päikesekiirguse ärakasutamist tõhustava ja soojuskiirguse emissiooni minimeeriva kattedihiga (sol-titaan) (Vitosol, 2004). Kattekiht tagab päikesekiirguse kõrge absorbeerumisvõime ja soojuskiirguse minimaalse emissiooni. Absorberpinna alla on paigaldatud meandrikujuline vasktoru (Joonis 6 B), millest voolab läbi soojuskandja, võttes vastu absorberi kaudu vasktorule kanduva soojuse. Absorberit ümbritseb kõrge soojusisolatsiooniga kollektorikorpust, mis aitab soojuskaotusi miinimumini viia. Kollektor on kaetud solaarklaasist tahvliga, mille vähene raua sisaldus võimaldab päikesekiirguse suurema läbitungivuse (Joonis 6 A). Üheks kollektorväljaks võib paralleelselt ühendada kuni 10 kollektorit. Tsirkulatsiooni pealevoolu paigaldatakse kollektori temperatuuriandur. (Viessmann 2007a)



Joonis 6. Vitosol 200-F kollektori ehitus (A) ja mõõtmed (B) (Viessmann, 2007a).

Vitosol 200-T SD2A on vaakumtorustikkollektor tarbevee, küttesüsteemi- ja basseinivee soojendamiseks üle soojusvaheti, ning on mõeldud paigaldamiseks nii kald-kui lamekatustele, fassaadidele, aga ka iseseisva konstruktsioonina. Antud töös vaadeldakse standardset kahe ruutmeetrist kahekümne toruga vaakumtorukollektorit, mida kasutatakse tarbevee soojendamiseks ning mida võib katusele paigaldada nii pikisuunas (torud katuseharja suhtes risti) kui ka horisontaalselt (torud katuseharja suhtes paralleelselt). Vaakum klaastorudes tagab parima võimaliku soojusisolatsiooni, välistades klaastorude ja absorbeerri vahelise soojuskaod, tänu millele suudab kollektor töötada ka minimaalse kiirgusega. Igas vaakumtorus on sol-titaan kattedkihiga vaskabsorbent, mis tagab päikesekiirguse kõrge absorbeerumismõime ja soojuskiirguse minimaalse emissiooni. Absorbendi juurde kuulub koaksiaalne soojusvahetustoru, milles voolav soojuskandja kogub soojusvahetustoru kaudu absorbendile langenud soojuskiirguse kokku (Joonis 7). Soojusvahetustoru suubub jaotustorru, mille kaudu transporditakse soojus küttekehasse. Päikeseenergia optimaalseks ärakasutamiseks on vaakumtorud paigaldatud pööratavana, mis tagab absorbendi optimaalse suunatuse päikesele. Üheks kollektorväljaks võib maksimaalselt liita kuni 15 m² kollektorpinna ühesuuruseid kollektoreid. Kollektori temperatuuriandur paigaldatakse solaartsirkulatsiooni pealevoolu. (Viessmann, 2008a)



Joonis 7. Viessmann Vitosol 200-T ehitus (Viessmann, 2008a).

Plaatkollektori Vitosol 200-F ja vaakumtorukollektori Vitosol 200-T tehnilised andmed on toodud lisa 3.

6 Tulemused

Järgnevalt on kirjeldatud piirkondlike kliimaatiliste erinevuste ja modelleerimise tulemusi ning võrreldud plaat- ja vaakumtorukollektori tööd arvestades modelleerimise tulemusi.

6.1 Piirkondlikud erinevused päikeseküttesüsteemi paigaldamiseks arvestades Eesti kliimaatilisi tingimusi

Päikeseküttesüsteemi töö efektiivsust mõjutavad enim päikesekiirguse hulk tundides ja päikesepaisteliste päevade arv, samuti pilvisus, õhutemperatuur ja temperatuuri ööpäevane amplituud, lumikattega aja kestus ning lumikatte paksus. Tuule kiiruse poolest soodsamat piirkonda ei käsitletud, kuna tuul mõjutab kollektori tootlikkust minimaalselt.

Põhja- ja Lääne-Eesti rannikul on aktinomeetiline ressurss maksimaalselt 10% suurem kui sisemaal (Tomson, 2000).

Päikesepaiste keskmised kestused aastasummade järgi tundides olid kõrgeimad Lääne-, Põhja ja Ida-Eesti rannikualadel (Vilsandi (1940), Pärnu (1789), Tallinn (1778), Narva (1732)) võrreldes Ida- ja Kagu-Eestiga (Tartu-Tõravere (1641), Tooma (1645), Võru (1657))(Russak ja Kallis 2003). Päikesepaisteta päevade arv aastas oli kõrgeim Lääne-Eesti sisemaal Kuuskul (131) ning Kagu-Eestis Võrus (121) ja madalaim Lääne-Eesti rannikul (Vilsandil (97), Pärnus (105)) (Russak ja Kallis 2003).

Keskmete päikesepaiste kestvuse päevasummade alusel tundides oli aastas päikesepaistet rohkem Lääne-Eestis ja Põhja-Eesti rannikul (Vilsandi 7,2; Kuusiku 7,2; Narva 7,1; Tallinn 7,0) võrreldes Ida- ja Kagu-Eestiga (Tartu-Tõravere 6,5; Tooma 6,5; Jõgeva 6,6) (Russak ja Kallis 2003).

Russaku ja Kallis (2003) järgi on päikesepaistet rohkem rannikualadel, mis annab Lääne-Eesti rannikualadele eelise võrreldes sisemaaga. Samuti on päikesepaiste kogukestus tundides aasta jooksul kõrgem rannikualadel ning saartel võrreldes sisemaaga (Riigi ilmteenistus, 2015b). Päikesepaiste kestvus tundides on suurim Lääne-, Põhja ja Ida-Eesti rannikul. Protsentuaalselt paistab Päike aastas Lääne-Eestis võrreldes Kagu-Eestiga 11,6% ehk 431 tundi rohkem, võttes

Lääne-Eesti võrdluspunktideks Pärnu ja Vilsandi keskmise ning Kagu-Eesti punktideks Tartu ja Võru aastase keskmise päikesepaiste kestvuse tundides (Russak ja Kallis, 2003 andmed).

Keskmine aastane üldpilvisus on suurim Kagu-Eestis (Tartu-Tõravere 7,3 palli) ning väiksem Lääne-Eestis (Pärnu 6,8 palli) (Riigi ilmteenistus, 2015d). Keskmine alumine pilvisus on samuti väiksem Lääne-Eesti rannikul (Vilsandi 4,5, Pärnu 4,9) ning suurim Kagu-Eestis (Võru 6,2) (Riigi ilmteenistus, 2015d).

Aastane temperatuuriamplituud on keskmiselt 1,8 kraadi väiksem rannikualadel võrreldes sisemaaga, võttes aluseks 4 madalaima aastase keskmise õhutemperatuuriga vaatluspunktid ning 4 kõrgeima aastakeskmise õhutemperatuuriga vaatluspunktid (Riigi ilmteenistus, 2015a). Samuti muudab mere lähedus rannikuäärse kliima talviti pehmemaks.

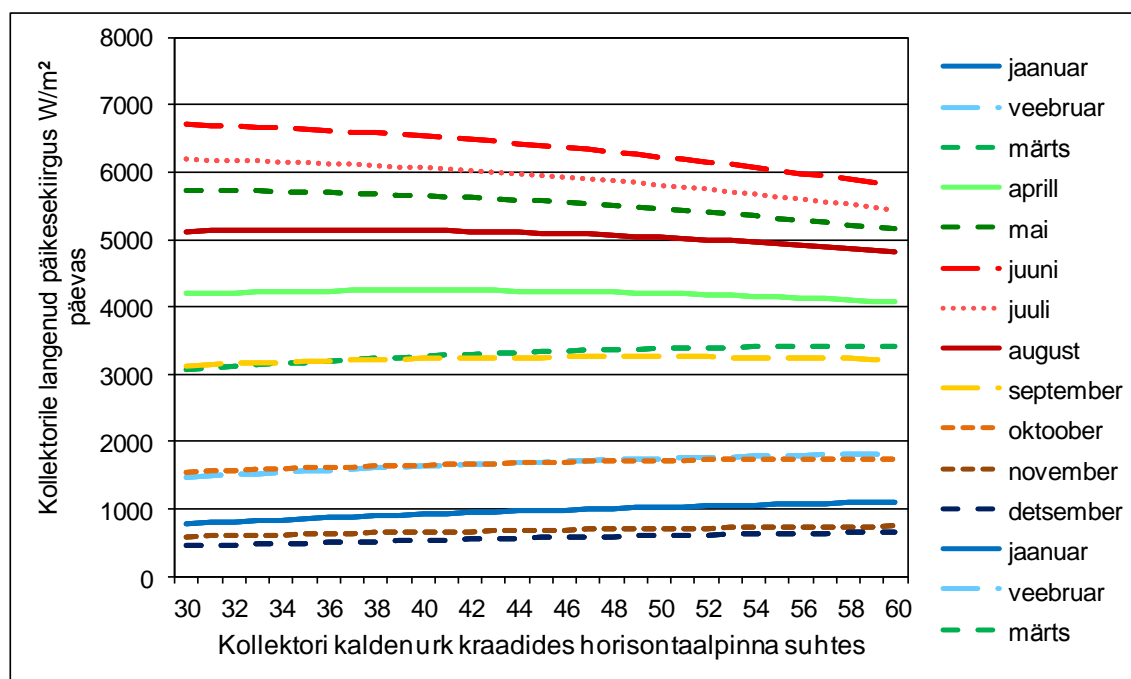
Võttes Riigi ilmteenistuse (2015c) andmete järgi aluseks 3 kõige suurema aastase keskmise sademete hulga vaatluspunkti ning kolm kõige väiksema keskmise sademete hulga punkti selgus, suurima aastase sademete hulga punktid jäid Kesk-Eestisse ning väikseima aastase sademete hulga punktid Lääne-Eestisse. Sademete hulk on Lääne-Eesti rannikualadel antud punktide keskmise alusel keskmiselt 23% väiksem võrreldes sisemaa punktide keskmisega. Lumikattega aja kestus ja lumikatte paksus on Tooming ja Kadaja (2006) järgi samuti väiksem Lääne-Eesti rannikualadel ning saartel. Lumikatte kestvus päevades varieerub Eestis 94 päeva, olles lühim Lääne-Eesti saartel ning kasvades sisemaa poole liikudes.

Kõige enam on päikesepaistelisi tunde ning päikesepaistelisi päevi aasta jooksul Lääne- ja Põhja-Eesti rannikul (Russak ja Kallis, 2003; Riigiilmteenistus, 2015b). Kõige väiksem on aasta keskmine üld- ja madalpilvisus Lääne-Eesti rannikul (Riigi ilmteenistus, 2015d). Aastane temperatuuriamplituud on keskmiselt 1,8 kraadi madalam Lääne-Eesti rannikul võrreldes Sise-Eestiga. Lääne-Eesti rannikul sajab keskmiselt 23% vähem kui sisemaal (Riigi ilmteenistus 2015c). Lumikatte kestvus ning paksus on samuti väiksem Lääne-Eesti rannikul (Tooming ja Kadaja, 2006).

Kliimatiliste tingimuste poolest on soodsam installeerida päikeseküttesüsteemi Lääne-Eesti rannikualadel.

6.2 Kollektori vertikaalse kaldenurga mõju sellele langenud kiirguse hulga

Kollektori vertikaalse kaldenurga suuremaks muutmine põhjustab kollektorile langenud kiirguse hulga vähenemise aprillist augustini, kuna väheneb kiirte ristseis kollektori pinnaga (Joonis 8). Oktoobrist märtsini tõusis kollektori vertikaalset kaldenurka suurendades kiirte langemine kollektorile, kuna langenud kiirte ristseis kollektoriga suurenes.



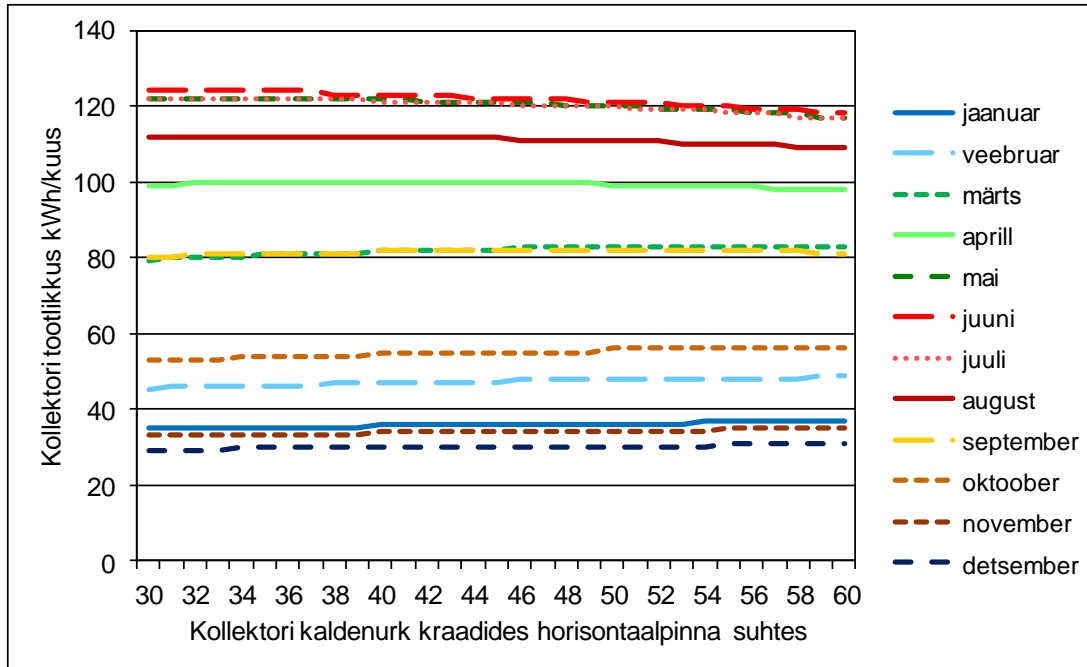
Joonis 8. Kollektorile langenud päikese kiirguse hulk (W/m^2) päevas kollektori kaldenurkadel 30-60 kraadi kuude lõikes.

Suvekuudel saab kollektor rohkem päikesekiirgust kätte väiksematel vertikaalsetel kaldenurkadel, kuna siis on päikesekiirte langemisnurk ristseisule lähedasem ning seega ka neelduvast kiirgusest saadav summaarne energiahulk suurem. Hilissügisest varakevadeni, mil päike on horisondi suhtes madalamal, aitab kollektori suurem vertikaalne kaldenurk tagada kiirte langemise ristseisule lähedasema nurgaga ning seeläbi tõsta kollektorile langenud ja neeldunud kiirguse hulka.

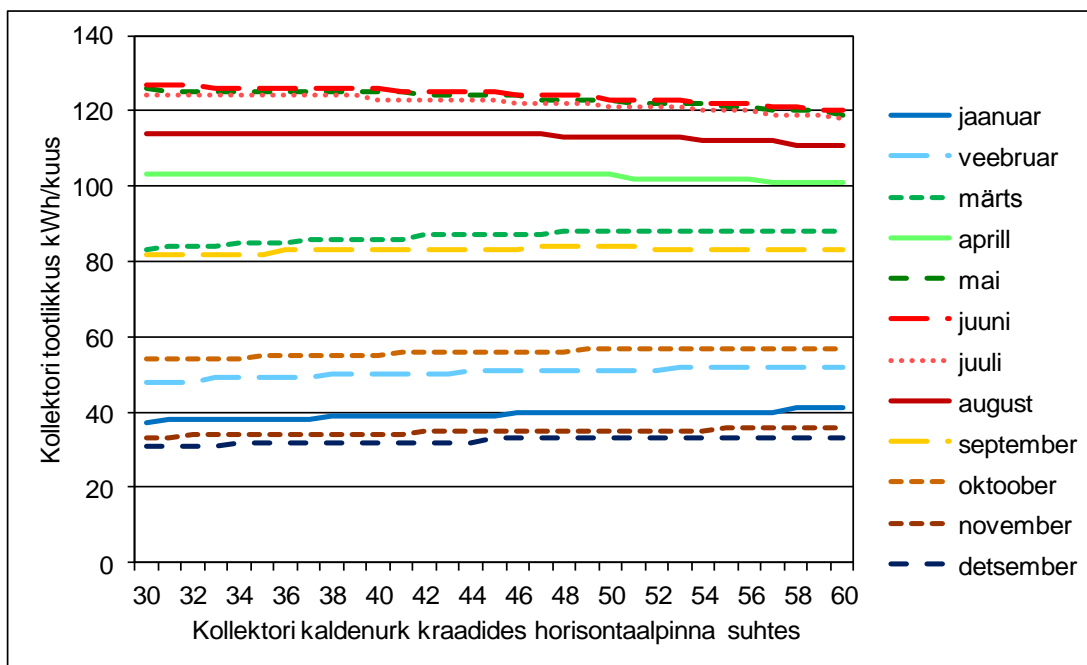
6.3 Kollektori tootlikkus sõltuvalt kaldenurgast horisontaalpinna suhtes

Päikesekollektori poolt toodetud soojusenergia kogus on otseses sõltuvuses insolatsioonist ja päikesekiirguse neeldumisest, seetõttu on kollektorite tootlikkuse seisukohast oluline ka nende vertikaalne kaldenurk ehk nurk kollektorile langevate päikesekiirte suhtes.

Modelleerimistulemused näitavad, et mõlema kollektortüübi tootlikkus kilovatt tundi kuu kohta on enam-vähem sarnane (Joonis 9 ja 10). Tootlikkus vähenes sõltuvalt kaldenurgast eelkõige suvekuudel aga ka mais, aprillis ja septembris, vastavalt sellele mida suuremaks muutus vahemikus 30-60° kollektori kaldenurk. maapinna suhtes. Vastupidiselt suvekuudele tõusis kollektori tootlikkus vähehaaval kaldenurga suurenedes vahemikus 30-60° oktoobrist märtsini. Kuigi mõlema kollektortüübi tootlikkus oli kuude lõikes enam vähem sarnane, oli Vitosol 200-T vaakumtorukollektori tootlikkus kuude lõikes 1-5 kWh suurem kui plaatkollektoril, kuid see vahe pole siiski selle mudeli puhul eriti märkimisväärne. Tootlikkus on mõlema kollektortüübi puhul kõrgeim juunis, juulis ja mais jäädes siis keskmiselt vahemikku 120-130 kWh kuus. Augustis on plaatkollektori maksimaalne tootlikkus 112 kWh/kuus, vaakumtorukollektoril aga 114 kWh/kuus. Aprillis suudab plaatkollektor toota maksimaalselt 100 kWh/kuus, vaakumtorukollektor aga 103 kWh/kuus. Suurim erinevus kollektortüüpide toodangu vahel antud mudeli puhul ilmneb märtsis, kus plaatkollektor suudab maksimaalselt toota 83 kWh energiat kuus ning vaakumtorukollektor 88 kWh energiat kuus ehk 5 kWh rohkem kui plaatkollektor. Kuna märtsis on keskmine üldine pilvisus ning alumine pilvisus väiksem kui veebruaris (Riigi ilmateenistus, 2015d) saab märtsikuus kollektori suuremate kaldenurkadega rohkem energiat toota. Septembris toodavad mõlemad kollektortüübid veidi üle 80 kWh/kuus, oktoobris veidi alla 60 kWh/kuus. Veebruaris on tootlikkus mõlema kollektortüübi puhul kas veidi alla (plaatkollektor) või veidi üle (vaakumtorukollektor) 50 kWh/kuus. Novembris, detsembris ja jaanuaris on plaatkollektori tootlikkus alla 40 kWh/kuus ning vaakumtorukollektor tootlikkust üle 40 kWh kuus vaid suurtel kaldenurkadel vahemikus 58-60° (Joonis 9 ja 10).



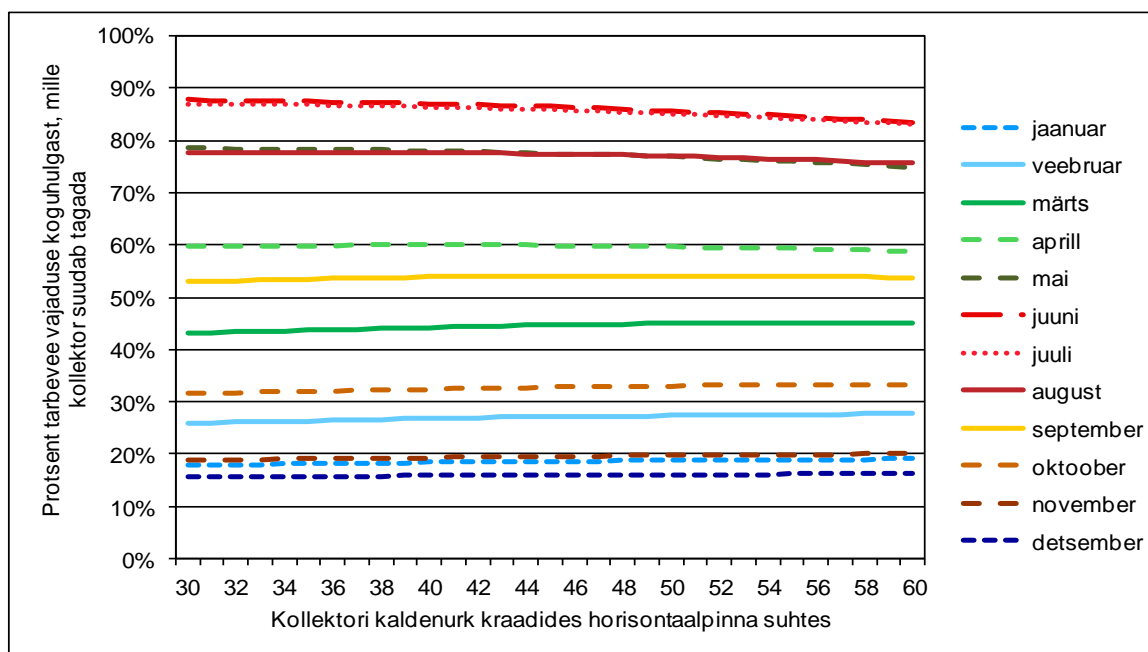
Joonis 9. Päikesekollektori **Vitosol 200-F** toodetud energia kWh/kuus sõltuvalt kollektori kaldenurgast.



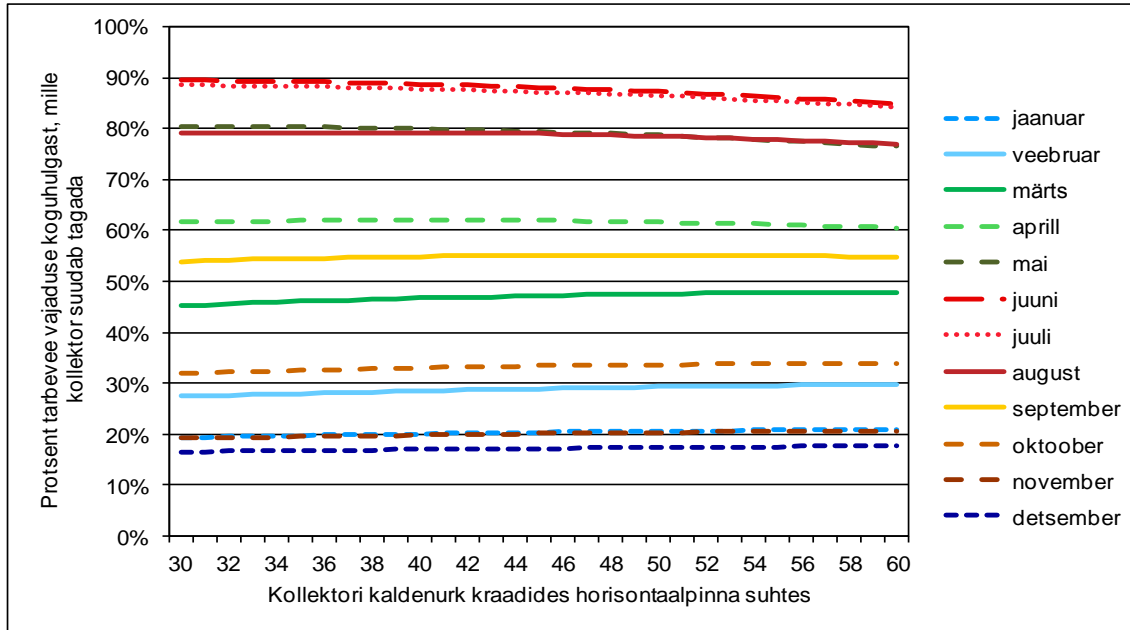
Joonis 10. Päikesekollektori **Vitosol 200-T** toodetud energia kWh/kuus sõltuvalt kollektori kaldenurgast.

6.4 Kollektoriga toodetava sooja tarbevee osakaal sõltuvalt kollektori vertikaalsest kaldenurgast ja tootlikkuse aastane käik

Sooja tarbevee osakaal, mille kollektor suudab tagada, on suurim suvekuudel ning mais olles juunis-juulis kaldenurkadel 30 kuni 42° plaatkollektoril keskmiselt 87% ja vaakumtorukollektoril 89% (Joonis 11 ja 12). Mais ja augustis tagab plaatkollektor vähesel määral alla 80% kogutarbevee vajadusest ning vaakumtorukollektor 30- 42°-se kaldenurgani 80 või rohkem protsenti kogunõudlusest. Aprillis tagab plaatkollektor 60% või alla selle kaldenurkadel 30°-36° või 45°-60° ning vaakumtorukollektor stabiilselt üle 60% kogunõudlusest. Septembrist märtsini suureneb mõlema kollektoritüübi tagatud tarbevee protsent vertikaalse kaldenurga suurenedes, kuid tulenevalt päikesepaistelise aja kestusest ja päikese kõrgusest horisondil väheneb talvise pööripäevale lähenedes toodetav energiakogus. Septembris suudab plaatkollektor tagada keskmiselt 54% ja vaakumtorukollektor 55% vajatud tarbevee hulgast, märtsis plaatkollektor maksimaalselt 45% ning vaakumtorukollektor 47%. Oktoobris suudavad mõlemad kollektoritüübid tagada üle 30% vajatud tarbevee koguhulgast ning veebruaris plaatkollektor kuni 27% ning vaakumtorukollektor kuni 29%. Jaanuaris ja novembris suudavad mõlemad kollektorid tagada keskmiselt 20% ning detsembris alla selle kogu vajatud tarbevee hulgast.



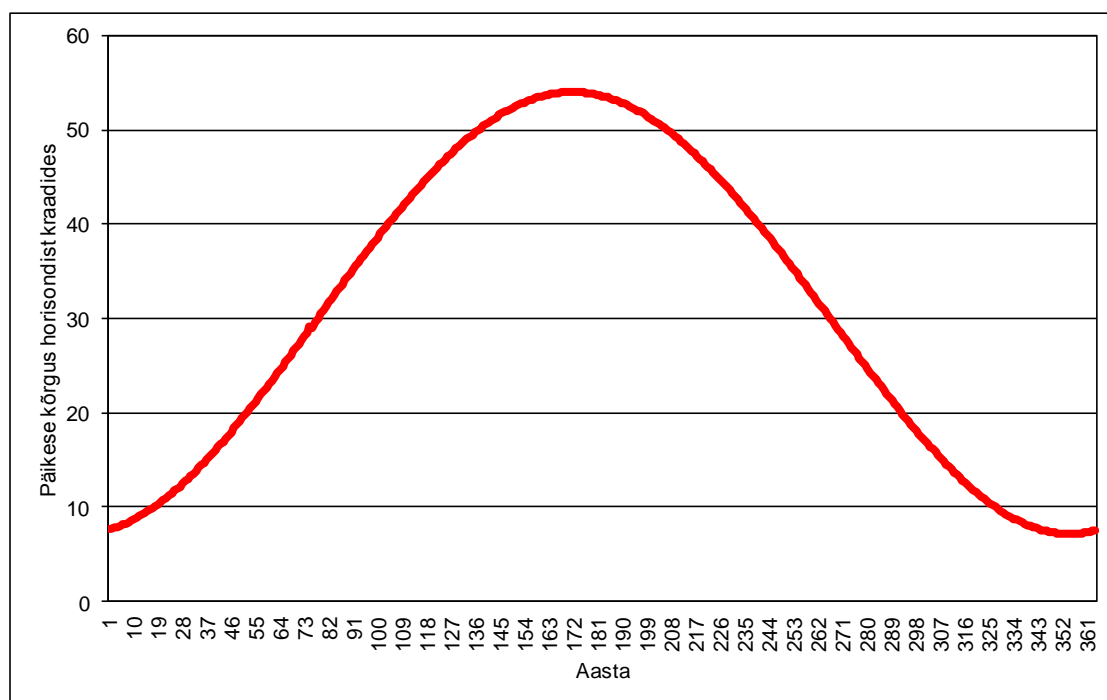
Joonis 11. Päikesekollektori Vitosol 200-F kaldenurk ning % kui suure hulga elamu soojavee nõudlusest kollektor suudab tagada kuus.



Joonis 12. Päiksekollektori **Vitosol 200-T** kaldenurk ning % kui suure hulga elamu soojavee nõudlusest kollektor suudab tagada kuus.

6.5 Optimaalne kaldenurk päiksekollektorile

Päikese kõrgus horisondil varieerub Eestis aasta lõikes suures ulatuses (Joonis 13). Maksimaalne päikese kõrgus horisondist on Tallinnas suvisel pööripäeval $54^{\circ} 3'$ ning talvisel pööripäeval $7^{\circ} 11''$ (Aas ja Harving, 2010). Valimaks päikesekütesüsteemi paigaldamisel kollektorile optimaalset kaldenurka tuleb otsustada, millises vahemikus soovitakse saavutada maksimaalset tootlikkust. Kaldenurka võib optimeerida soovides saavutada maksimaalset tootlikkust aasta lõikes või kevad ja sügiskuudel või suvekuudel.

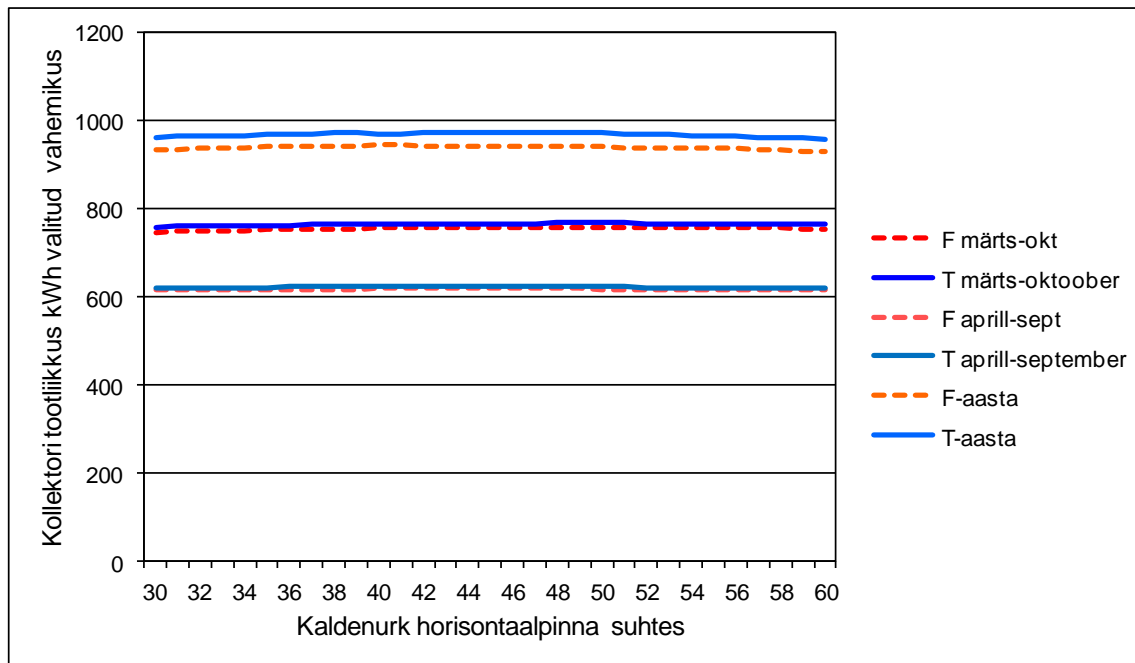


Joonis 13. Päikese kõrgus horisondist kraadides aasta lõikes Tallinnas (Allikas: Aas ja Harving, 2010).

Eesti tingimustes vajame täiendkütte allikat enim perioodil, mil välistemperatuur on jahedam, kuid päikesekiirgust seevastu on ehk siis kevadel ja sügisel. Selleks, et pikendada päiksekollektoriga kütmise aega ning viia tipud rohkem kevadele ja sügisele leiti sobiv keskmine kaldenurkade vahemik mõlemale kollektortüübile näidisvahemikes. Päiksekollektori ideaalseks tööks peaksid päikesekiired langema kollektori pinnaga võimalikult suurel ajavahemikul risti ehk kiirte ja kollektori pinna vahele tekkima 90 kraadine nurk. Antud juhul tehti kolm võimalikku arvutust leidmaks kollektorile optimaalne kaldenurk ning valiti kolm

võimalikku vahemikku, mille järgi kollektori kaldenurk seadistada. Esimesel juhul märtsist oktoobrini, teisel juhul aprillist septembrini ning kolmandal juhul aasta lõikes.

Vahemikes, mil päikesepaistet on Riigi ilmateenistuse andmetel juba piisavalt ning madala ja üldise pilvisuse osakaal võrreldes talvekuudega väiksem, oli mõlema kollektortüübi kogutootlikkus suurem vahemikus märtsist oktoobrini (Joonis 14).



Joonis 14. Optimaalne kaldenurk plaat- ja vaakumtorukollektori jaoks soovides maksimeerida tootlikkust 75%-ni erinevatel vahemikel ning võrdluseks tootlikkust muutmata aastane vahemik.

Soovides saavutada suuremat tootlikkust märtsist oktoobrini on plaatkollektori jaoks optimaalne kaldenurk vahemikus $46-56^\circ$ ning vaakumtorukollektori jaoks vahemikus $49-50^\circ$ horisontaalpinna suhtes (Tabel 3). Aprillist septembrini on optimaalne kollektori kaldenurk vastavalt plaatkollektoril $40-49^\circ$ ja vaakumtorukollektoril $47-50^\circ$ horisontaalpinna suhtes (Tabel 3). Kui leida optimaalne kaldenurk aasta lõikes, vähendamata tootlikkust suvekuudel on see plaatkollektoril $40-41^\circ$ ja vaakumtorukollektoril $45-49^\circ$ horisontaalpinna suhtes (Tabel 3).

Tabel 3. Optimaalne kaldenurk plaat- või vaakumtorukollektorile optimeerides toodangumahtu tootlikkuse tasemel 75% ajavahemikel märts-oktoober ja aprill-september ning optimaalne fikseeritud aastaringne kaldenurk toodangumahtu muutmata.

Periood	Optimaalne kaldenurk	
	Plaatkollektor	Vaakumkollektor
märts-oktoober	46-56 kraadi	49-50 kraadi
aprill-september	40-49 kraadi	47-50 kraadi
aasta	40-41 kraadi	45-49 kraadi

6.6 Mõju päikesekollektori tootlikkusele arvestades orientatsiooni ilmakaare suhtes valitud kaldenurkadel

Päikese teekonna pikkus on aasta ulatuses erinev ja samuti on erinev päikese kõrgus horisondil vastavalt aastaajale. Sellest tulenevalt väheneb kollektori tootlikkus vastavalt kõrvalekaldele lõunasuunast ning ebasoodsast vertikaalsest kaldenurgast.

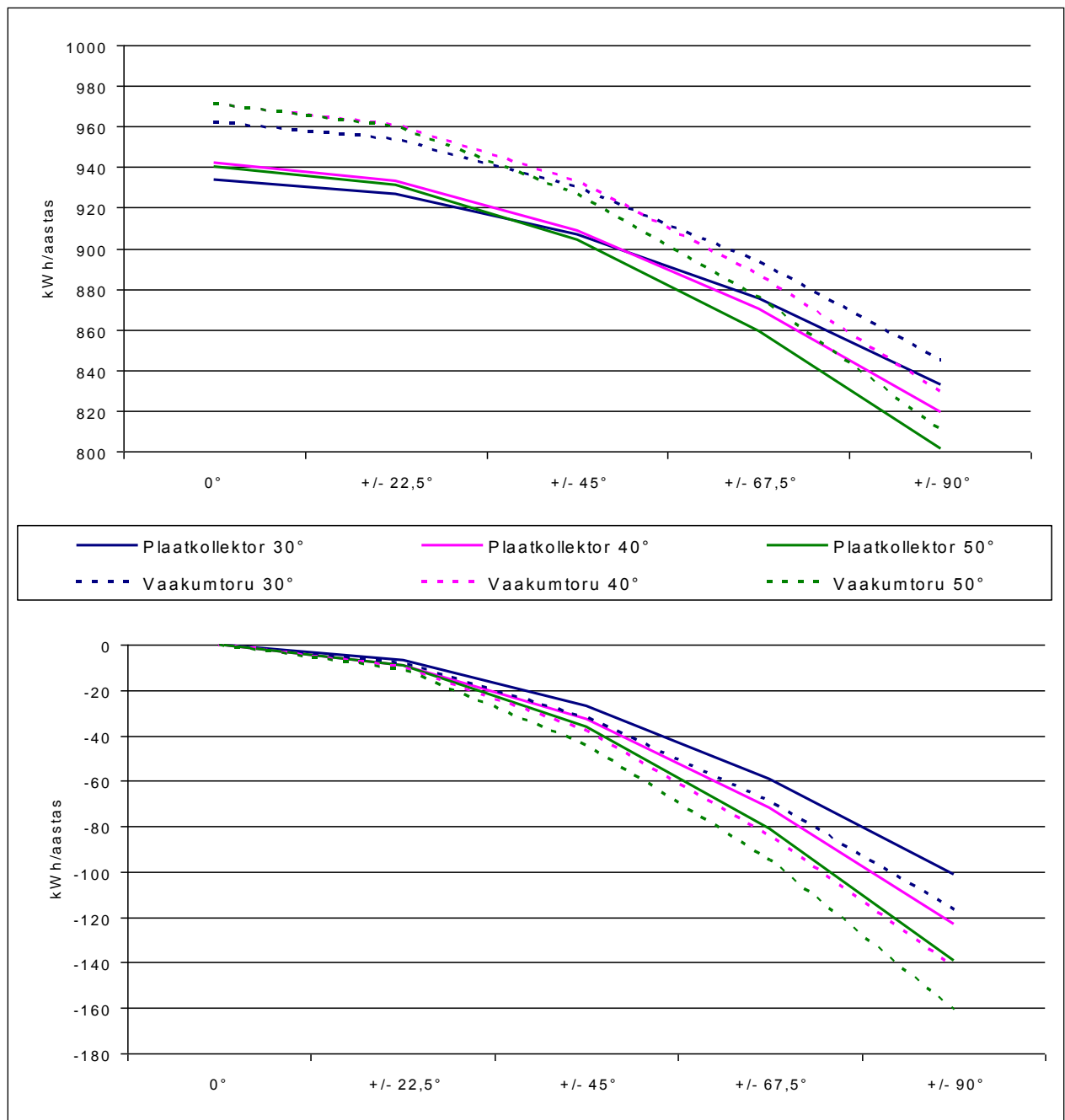
Plaatkollektori puhul kaotab valitud vertikaalsetest kaldenurkadest summaarses tootlikkuses kõige vähem kuni +/- 45° asimuudiga vertikaalse kaldenurgaga 40° (Joonis 15). Lõunast kuni +/- 22,5° oli tootlikkuse kahanemine vertikaalsetel kaldenurkadel 40 ja 50° peaaegu võrdne olles 50° kaldenurgaga maksimaalselt 2 kWh suurem. Madalaim oli sellel vahemikul tootlikkus 30° kaldenurgaga. Asimuutide vahemikus +/- 22,5° kuni +/- 45° ristusid 30 ja 50° kaldenurga tootlikkuse jooned ning kiiremini hakkas kahanema tootlikkus 50° kaldenurgaga (Joonis 15) Vahemikus +/- 45° kuni +/- 67,5° ristusid 30°- se ja 40°-se vertikaalse kaldenurga tootlikkuse jooned ning kahanemine oli enam-vähem võrdne (Joonis 15). Kui asimuut on -67,5 kuni -90° lõunast või 67,5 kuni 90° lõunast kaotab tootlikkuses kõige vähem vertikaalse kaldenurgaga 30°. Summaarselt kahanes tootlikkus kõige vähem 30° vertikaalse kaldenurgaga (Lisa 4 ja Tabel 1).

Vaakumtorukollektori puhul on asimuudi muutuseni lõunast +/- 22,5° tootlikkuse kahanemine vertikaalsetel kaldenurkadel 40 ja 50° peaaegu võrdne, olles 50° kaldenurgaga maksimaalselt 1kWh suurem (Joonis 15). Kaldenurgal 30° on summaarne tootlikkus selles vahemikus madalaim (Joonis 15). Asimuutide vahemikus +/- 22,5 kuni +/- 45° lõunast ristuvad kaldenurkade 30 ja 50° tootlikkuse jooned ning alates ristumisest on tootlikkuse kadu suurim

kaldenurgal 50° (Joonis 15). Kõige suurem on tootlikkuses antud vahemikus 40° vertikaalse kaldenurgaga. Asimuutide vahemikus ± 45 kuni $\pm 67,5^\circ$ ristuvad 30 ja 40° kaldenurkade tootlikkuse jooned ning 40° kaldenurgaga hakkab tootlikkus kahanema rohkem. Suurim on tootlikkuse kahanemine antud vahemikus 50° vertikaalse kaldenurgaga. Asimuutide vahemikus $\pm 67,5^\circ$ kuni ± 90 kaotab tootlikkuses kõige vähem kaldenurgaga 30° (Lisa 4 ja Tabel 2). Summaarselt kahanes tootlikkus kõige vähem kaldenurgaga 30° (Lisa 4 ja Tabel 2).

Lõuna suunast kuni asimuudini $\pm 67,5^\circ$ oli vaakumtorukollektori tootlikkuse kahanemine väiksem kui plaatkollektoril ehk vaakumtorukollektori summaarne tootlikkus oli suurem. Alates asimuudist $\pm 67,5$ kuni $\pm 90^\circ$ ristusid plaatkollektori 40° kaldenurgaga tootlikkuse joon ning vaakumtorukollektori 50° tootlikkuse joon ning sellest hetkest oli 40° kaldenurgaga võimalik plaatkollektoriga toota rohkem energiat kui 50° kaldenurgaga vaakumtorukollektoriga (Joonis 15). Selles vahemikus ristusid ka plaatkollektori 30° kaldenurgaga tootlikkuse joon ja vaakumtorukollektori 40° kaldenurgaga tootlikkuse joon ning ristumise hetkest alates oli 30° kaldenurgaga plaatkollektoriga võimalik toota rohkem energiat kui 40° kaldenurgaga vaakumtorukollektoriga (Joonis 15). Antud vahemikus oli tootlikkus kõige suurem 30° kaldenurgaga vaakumtorukollektoril (Joonis 15).

Ilmakaare suhtes ebasoodsam orientatsioon kahandas summaarset tootlikkust mõlema kollektortüübi korral kõige vähem juhul kui vertikaalne kaldenurk oli 30° (Lisa 4, Tabel 1 ja Tabel 2). Üldiselt kahanes ebasoodsa orientatsiooni korral vaakumtorukollektori tootlikkus kiiremini kui plaatkollektoril (Joonis 15).



Joonis 15. Plaatkolektori Vitosol 200-F ja vaakumtorukolektori Vitosol 200-T tootlikkuse kao võrdlus vastavalt orientatsiooni muutusele.

6.7 Vaakumtoru- ja plaatkollektori võrdlus

Vaakumtoru- ja plaatkollektorit võrreldakse vastavalt eelnevalt välja toodud modelleerimistulemustele.

Vaakumtorukollektor on orientatsiooni muutmise suhtes tundlikum kui plaatkollektor ning vaakumtorukollektori tootlikkus (kWh) vähenes orientatsiooni muutes kiiremini kui plaatkollektoril. Summaarselt oli tootlikkuse kahanemine mõlemal kollektori tüübil madalaim vertikaalse kaldenurgaga 30° (Lisa 4, Tabel 1 ja Tabel 2).

Mõlemat tüüpi päikesekollektoritele vähenes päikesekiirte langemine kollektorile, kollektori tootlikkus ning tagatava tarbevee protsent kogunõudlusest aprillist augustini kui suurendati kollektori kaldenurka horisontaalpinna suhtes, kuna vähenes kiirte ristseis kollektori pinnaga. Eriti kiire langus toimus mõlemal kollektortüübil mais, juunis ja juulis. Sügiskuudel, talvekuudel ning märtsis tõusis mõlema kollektortüübi puhul vähehaaval päikesekiirte langemine kollektorile, kollektori tootlikkus ning protsent tagatud tarbevee kogunõudlusest vertikaalse kaldenurga suurenedes. Tõus oli tingitud eelkõige päikese madalast seisust horisondi suhtes, mida aitas kompenseerida kollektori suurem kaldenurk, mis aitas viia langenud kiiri rohkem risti kollektori pinnaga. Tõus sügiskuudel, talvekuudel ning märtsis polnud siiski nii kiire kui langus suvekuudel muutes kollektori vertikaalset kaldenurka suuremaks.

Tootlikkuses näitas vaakumtorukollektor võrreldes plaatkollektoriga kõigi kuude lõikes paremat tulemust. Vaakumtoru tootlikkus oli keskmiselt 1-5 kWh/kuu kohta suurem kui plaatkollektoril. Kõige suurem erinevus oli märtsis, kus vaakumtorukollektor tootis võrreldes plaatkollektoriga antud mudeli järgi kuni 5 kWh rohkem energiat kuu kohta.

Protsent tarbevee vajaduse koguhulgast, mida kollektor suudab tagada oli samuti suurem vaakumtorukollektoril. Vaakumtorukollektor suutis antud mudeli järgi keskmiselt tagada 0,4-2,7% rohkem sooja tarbevett kuus võrreldes plaatkollektoriga. Kõige suurem erinevus oli samuti märtsis, mil vaakumtorukollektor suutis tagada 2,7 % rohkem sooja tarbevett võrreldes plaatkollektoriga.

7 Arutelu

Kliimaatiliste tegurite analüüsist selgus, et päikeseküttesüsteemi installeerimiseks on soodsamad tingimused Lääne-Eesti rannikualadel, kuna seal on aastane päikesepaisteliste tundide arv suurem, temperatuuri aastane amplituud väiksem, väiksem üldine ja madal pilvisus, vähem sademeid ning lumikattega aja pikkus ja lumikatte paksus väiksem kui sisemaal.

Arvestades kollektortüüpide tootlikkust ning protsenti, mille ulatuses süsteem suudab tagada soojavee kogunõudluse, osutus modelleerimistarkvara Tecsol järgi efektiivsemaks vaakumtorukollektor. Vaakumtorukollektori tootlikkus oli aasta lõikes igal kuul 1-5 kWh suurem ja selle süsteemi poolt toodetud sooja tarbevee hulk 0,4-2,7% võrra suurem võrreldes plaatkollektoriga. Vaakumtorukollektor oli efektiivsem ka Rootsis läbi viidud juhtumuuringus. Seal oli vaakumtorukollektori efektiivsus 6% suurem kui plaatkollektoril (Jedensjö, 2005). Vaakumtoru- ja plaatkollektori efektiivsust uurisid parasvöötme kliimas Iirimaal ka Ayompe *et al.* (2011) ning leidsid, et vaakumtorukollektor on 3,5% efektiivsem kui plaatkollektor. Eestis on seni hinnatud, et üldiselt peaksid vaakumtorukollektorid olema plaatkollektoritest 15-20% efektiivsemad (Hüüs, 2010). Käesolevas töös kasutatud Tecsol mudeli järgi olid plaat- ja vaakumtorukollektori tulemuste erinevused siiski eeldatust väiksemad (kuni 2,7%). Enamasti peaks plaatkollektor näitama mõnevõrra kehvemaid tulemusi, kuna ainuüksi soojuskadu kollektori pinnalt on suurem kui vaakumtorukollektoril. Kuna uurimistöös kasutatud mudeli sisendiks on kuu keskmised väärtused, siis ei kajastu siin detailsemad ööpäevased kõikumised ja seega ka energia hulk, mis on kulunud kollektori üles soojenemiseks. Näiteks suurem ööpäevane temperatuuri amplitud sügis- ja kevadkuudel põhjustab soojuskadusid kollektori pinnalt ning pikendab kollektori üles soojenemiseks kuluvat aega vähendades sellega tootlikkust.

Antud töös analüüsiti ka kolme ajavahemiku põhjal, kuidas kollektori kaldenurga kaudu optimeerida päikeseküttesüsteemi tootmisvahemikku. Tootlikkuse optimeerimiseks valiti ajavahemikud märts kuni oktoober, aprill kuni september ning kogu aasta. Päikesekollektor tuleks paigaldada vastavalt sellele, millisel perioodil soovitakse tootlikkust maksimeerida. Kui soovitakse saavutada suuremat tootlikkust pigem kevadel ja sügisel ning vähemoluliseks peetakse niigi kõrget tootlikkust suvekuudel, tuleks plaatkollektori jaoks valida kaldenurk vahemikus 46°-56° ja vaakumtorukollektori jaoks vahemikus 49°-50°. Kui soovitakse tagada

suuremat tootlikkust pigem perioodil hiliskevadest varasügiseni (aprill-september) peaks plaatkollektori kaldenurk olema vahemikus 40° - 49° ja vaakumtorukollektoril vahemikus 47° - 50° . Juhul kui soovitakse päikeseküttesüsteemi kasutada maksimaalse efektiivsusega kogu aasta lõikes, tuleks plaatkollektor paigaldada kaldenurgaga vahemikus 40 - 41° ja vaakumtorukollektor kaldenurgaga vahemikus 45° - 49° .

Päikesekollektoriga toodetud tarbevee protsent kogunõudlusest on arvestades mõlema kollektoritüübi kuu maksimumväärtusi jaanuaris 19-21%, veebruaris 27-29%, märtsis 45-47%, aprillis 60-62%, mais 78-80%, juunis 87-89%, juulis 87-88%, augustis 77-79%, septembris 54-55%, oktoobris 33-34%, novembris 20% ja detsembris 16-17%. Võrdluses on esimesena toodud plaatkollektori ja teisena vaakumtorukollektori väärtus.

Süsteemi tootlikkus on suurim kui päikesekollektor on suunatud otse lõunasse. Kui kollektorit pole võimalik installeerida suunatuna otse lõunasse, kaotavad mõlemat tüüpi päikesekollektorid summaarselt tootlikkuses kõige vähem antud juhul installeerituna vertikaalse kaldenurgaga 30° . Väiksem kaldenurk võimaldab erinevatest suundadest langevatele kiirtele parema ligipääsu kollektori pinnale võrreldes kaldenurgaga 40 või 50° .

Kokkuvõte

Järjest tõusvad fossiilsete kütuste ja energia hinnad sunnivad riike otsima uusi ja odavamaid lahendusi energia hankimiseks. Taastuvenergiaallikate laialdasem kasutuselevõtt võiks olla üheks lahenduseks.

Käesolevas töös uuriti päikesekütesüsteemi rakendamisega seotud küsimusi, arvestades ühepereelamu vajadusi. Uuriti, kas Eestis on päikesekütesüsteemi tööd mõjutavate kliimaatiliste tingimuste osas süsteemi paigaldamiseks soodsamaid piirkondi ning leiti, et soodsam on paigaldada päikesekütesüsteeme saartel ja Lääne-Eesti rannikupiirkondades.

Samuti uuriti, kas Eesti kliimas on plaat- ja vaakumtorukollektori tootlikkuses erinevusi ning leiti, et vaakumtorukollektori tootlikkus on aastaringselt keskmiselt 1-5 kWh kuu kohta suurem kui plaatkollektoril. Seega on erinevus (2.7%) oluliselt väiksem kui varasemalt eeldatud (15-20%).

Selleks, et valida kollektori jaoks optimaalset kaldenurka, tuleb arvestada, millisel perioodil aastast soovitakse saavutada kõrgemat tootlikkust. Kui kõrgemat tootlikkust soovitakse saavutada pigem kevadel ja sügisel ning ollakse valmis vähesel määral kaotama tootlikkust suvekuudel, peaks plaatkollektori paigaldama vertikaalse kaldenurgaga 51° ja vaakumtorukollektori kaldenurgaga $49^\circ 30'$. Kui aga soovitakse tootlikkuse maksimumi saavutada pigem suvekuudel, tuleks plaatkollektor paigaldada kaldenurgaga $44^\circ 30'$ ja vaakumtorukollektor kaldenurgaga $48^\circ 30'$. Kui eesmärgiks on saavutada maksimaalne tootlikkus aasta lõikes tuleks plaatkollektori kaldenurgaks valida $40^\circ 30'$ ja vaakumtorukollektori kaldenurgaks 47° .

Modelleerimise teel uuriti kui suure osa tarbevee koguvajadusest suudab ühest kollektorist koosnev ($\approx 2-2.3\text{m}^2$) päikesekütesüsteem tagada kuude lõikes. Modelleeriti kahe kollektoritüübi tootlikkust ning leiti, et selline plaat- või vaakumtorukollektor tagab vahemikus märtsist oktoobrini üle 45% vajatud tarbevee koguhulgast, mis tähendab, et antud vahemikus saab küttekuludelt juba märkimisväärselt kokku hoida.

Päikesekollektori tootlikkus on kõrgeim suunatuna lõunasse. Kui kollektorit pole võimalik paigaldada orienteerituna otse lõunasse, kaotab summaarses tootlikkuses kõige vähem juhul kui kollektor on paigaldatud vertikaalse kaldenurgaga 30° .

Applying solar water heating system to provide household's hot water demand

Triin Sõro

Summary

Growing costs of fossil fuels and energy prices force countries to find new and cheaper alternative energy sources to use. Use of solar energy could be one solution.

The aim of this thesis is to analyze opportunities of using solar water heating systems in Estonia, focusing on the needs of detached houses. Two different types of solar collectors were analyzed – a flat plate and an evacuated tube collector produced by Viessmann.

The climate analysis of differences in regional characteristics affecting solar thermal production is based on literature and climate data sets from Estonian Weather Service. Performance of the two types of solar collectors for solar water heating was modelled by software Tecsol.

The analysis of climate characteristics showed that conditions in West Estonia and on islands are more favourable for installing solar water heating system. Further, the results of modelling showed that evacuated tube collector was more effective (2,7%) than flat plate collector.

The percentage of hot water that a solar water heating system can produce compared to the total hot water need is 19-21% in January, 27-29% in February, 45-47% in March, 60-62% in April, 78-80% in May, 87-89% in June, 87-88% in July, 77-79% in August, 54-55% in September, 33-34% in October, 20% in November and 16-17% in December. During the period lasting from March to October, it is possible to produce more than 45% of the total hot water need with solar water heating system consisting of one ($\approx 2-2.3\text{m}^2$) flat plate or evacuated tube collector.

The optimal tilt angles for flat plate and evacuated tube collectors were found for different periods. Hot water production can be maximised in spring and autumn if a tilt angle of 51° for flat plate and $49^\circ 30'$ for evacuated tube collector is used. In the late spring – early autumn (from April to September) period hot water production can be maximised with a tilt angle of $44^\circ 30'$ for flat plate and $48^\circ 30'$ for evacuated tube collector. Annual maximal production can be achieved with a tilt angle of $40^\circ 30'$ for flat plate and 47° for evacuated tube collector.

To maximize the solar collector's efficiency, it should be oriented directly towards south. When it is not possible to orient the collector towards south the chosen vertical tilt angle should be decreased to minimize total loss in energy production.

Tänuavaldused

Eelkõige soovin tänada oma juhendajat Ain Kulli, kes oli igati abivalmis töö juhendamisel ning abiks töö valmimisel. Veel soovin tänada OÜ Ventimo juhatuse liiget Taavi Antsoni, kes andis mulle informatsiooni päikeseküttesüsteemide kohta ning jagas praktilisi nõuandeid ja erinevaid infomaterjale Viessmann päikesekollektorite kohta. Keeleliste ja vormistuslike soovitude eest soovin tänada veel Annely Kuud ja Piret Mägistet.

Kasutatud kirjanduse loetelu

- Ayompe, L.M., Duffi, A., McKeever, M., Conlon, M., McCormack, S.J.** (2011). Comparative field performance study of flat plate and heat pipe evacuated tube collectors (ETCs) for domestic water heating systems in a temperate climate. *Energy* 36, 3370-78.
- Bourges, B.** (1991). European simplified methods for active solar system design. Kluwer Academic Publishers, 418.
- Janzing, B.** (2010). Summer heat for the winter. *New energy* 6, 54-61.
- Kalogirou, S. A.** (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science* 30, 231-295.
- Kull, A., Laas, A.,** (2003). Sustainable management of wind resources in coastal areas in Estonia. In: *Sustainable Planning and Development*. E. Beriatos, C.A. Brebbia, H. Coccossis, A.G. Kungolos (Eds.). WIT Press, pp. 69-78.
- Maanvere, E.** (1957). NSVL kliimateatmik. Osa 4a. Eesti NSV. 88 (vene keeles)
- Raudjärv, R., Kuskova, L.** (2011). Eesti leibkondade energiatarbimise uuring. 29
- Russak, V., Kallis, A.** (2003). Eesti Kiirguskliima Teatmik. OÜ Stilett Trükikoda, 384.
- The Energy Saving Trust** (2011). Here comes the sun: a field trial of solar water heating systems. 23
- Tomson, T.** (2000). Helioenergeetika. Eesti energeetika instituut. Humare, 136.
- Tooming, H., Kadaja, J.** (2006). Eesti lumikatte teatmik. AS Rebellis, 504.
- Zambolin, E., Del Col D.** (2010). Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions. *Solar Energy* 84, 1382-1396.

Interneti allikad

Aas, T., Harving, V. (2010). Tallinna Tähetorni Kalender.

<http://www.ttu.ee/public/m/matemaatika->

[loodusteaduskond/Instituudid/fuusikainstituut/tallinna_tahetorn/publikatsioonid/kalender2010.pdf](http://www.ttu.ee/public/m/matemaatika-loodusteaduskond/Instituudid/fuusikainstituut/tallinna_tahetorn/publikatsioonid/kalender2010.pdf)
(15.04.2015)

Affordable Solar (2015). Solar History. <http://www.affordable-solar.com/Learning-Center/Solar-Basics/solar-history> (11.05.2015)

Archiproducts (2015). Vitosol 200-F. <http://www.archiproducts.com/en/products/9360/solar-panel-vitosol-200-f-viessmann.html> (19.05.2015)

CSTB (2015). CSTB organisatsioon. <http://www.cstb.fr/le-cstb/missions-et-activites.html>
(7.05.2015)

Eesti kuues kliimaaruanne (2013).

http://www.envir.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/kliimaaruanne_et.pdf (2.11.2014)

Estonica (2009). Entsüklopeedia Eestist.

http://www.estonica.org/et/Loodus/Asend_ja_looduslikud_tingimused/Kliima/ (19.01.2015)

Exploring Green Technology (2015). History of Solar Energy.

<http://exploringgreentechnology.com/solar-energy/history-of-solar-energy/> (13.05.2015)

Home Energy Metering (2012). Measuring Solar Thermal Energy. <http://www.home-energy-metering.com/image-files/solar-thermal-energy-4-300.jpg> (21.05.2015)

Hüüs, M. (2010). Erinevate päikesekütteseadmete konstruktsiooni ja efektiivsuse võrdlev analüüs. Aruanne. Soojustehnika instituut. Mehaanika teaduskond. Tallinna Tehnikaülikool.

http://issuu.com/energiayhistud/docs/tty_paikesekytteseadmed (20.05.2015)

Jedensjö, T. (2005). A Technical Evaluation of the Thermal Solar Collector Systems at Bo01 in Malmö. Master Thesis. Luleå University of Technology. <http://epubl.ltu.se/1653-0187/2005/11/LTU-PB-EX-0511-SE.pdf> (2.11.2014)

Keskkonnaministeerium (2015a). Põlevkivi kasutamise riiklik arengukava 2008-2015.
https://valitsus.ee/sites/default/files/content-editors/arengukavad/polevkivi_kasutamise_riikliku_arengukava_taitmise_aruanne_2011.pdf
(2.11.2014)

Keskkonnaministeerium (2015b). Kliimapoliitika põhialused aastani 2050.
<http://www.envir.ee/et/eesmargid-tegevused/kliima/kliimapoliitika-pohialused-aastani-2050>
(16.05.15)

Laul, L. (2009). Vaakum-päikesekollektor on väga tõhus.
<http://www.keskkonnatehnika.ee/?head=2&pageid=278&language=estonian> (8.05.2015)

Mauthner, F., Weiss, W., (2014). Solar Heat Worldwide. <http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2014.pdf> (2.11.2014)

Perlin, J. (2015). Solar Thermal History - a short summary of the evolution of solar thermal.
<http://californiasolarcenter.org/history-solarthermal/> (11.05.2015)

Päikeseressurss Eestis (2015). Päikeseressurss Eestis.
<http://www.rrb.ee/loodusenergia/skin/files/paikesekyttesysteem.pdf> (22.05.2015)

Reutter Heizungsbau GmbH (2015). Vitosol 200-T. http://www.reutter-heizungsbau.de/heizungsbau/s_vitosol-200-t_3.jpg (21.05.2015)

Riigi ilmteenistus (2015a). Kliimanormid. Õhutemperatuur.
<http://www.ilmteenistus.ee/kliima/kliimanormid/ohutemperatuur/> (19.01.2015)

Riigi ilmteenistus (2015b). Kliimanormid. Päikesepaiste kestus.
<http://www.ilmteenistus.ee/kliima/kliimanormid/paikesepaiste-kestus/> (21.01.2015)

Riigi ilmteenistus (2015c). Kliimanormid. Sademed.
<http://www.ilmteenistus.ee/kliima/kliimanormid/sademed/> (21.01.2015)

Riigi ilmteenistus (2015d). Kliimanormid. Pilvisus.
<http://www.ilmteenistus.ee/kliima/kliimanormid/pilvisus/> (7.05.2015)

Riigi ilmateenistus (2015e). Kliimanormid. Keskmise tuule kiirus (m/s).

<http://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimanormid/tuul/> (13.05.2015)

Solar Collector Inc. (2015). Heat pipe. <http://www.solarcollectorinc.com/en/Heat-pipe.asp>

(21.05.2015)

Soletek OÜ (2014). Päikesekollektorid. <http://www.soletek.eu/Tooted> (2.11.2014)

Statistikaamet (2012). Taastuvate energiaallikate kasutuselevõtt on oluliselt vähendanud

põlevkivi osatähtsust elektritootmises. <http://www.stat.ee/57641> (2.11.2014)

Tecsol (2015). Hot water calculations. http://www.Tecsol.fr/st_uk/default-uk.htm (11.05.2015)

Viessmann (2007a). Vitosol 200-F plaatkollektori tehnilised andmed.

http://www.viessmann.ee/content/dam/internet-ee/pdf/vitosol_200-f__200-t/db_vitosol_200-fsv2sh25834383ee8-2007.pdf (9.04.2015)

Viessmann (2008a). Vitosol 200-T otseläbivoolulise vaakumtorukollektori tehnilised andmed.

http://www.viessmann.ee/content/dam/internet-ee/pdf/vitosol_200-f__200-t/db_vitosol_200-td2a5834453exportee08-2008.pdf (9.04.2015)

Viessmann (2008b). Top Info. Soojus tupp päikesega.

http://www.viessmann.ee/content/dam/internet-ee/pdf/vitosol_200-f__200-t/topinfo_vitosol200-300-feedruck.pdf (7.05.2015)

Vitosol (2004). Solar heating system. Flat collectors and tube collectors. Sol-titaan kattekihi

selgitus. <http://www.gagnongeothermal.com/guides/Vitosol.pdf> (7.05.2015)

Lisad

Lisa 1. Näide installeeritud plaatkollektorist Vitosol 200-F ja vaakumtorukollektorist Vitosol 200-T.

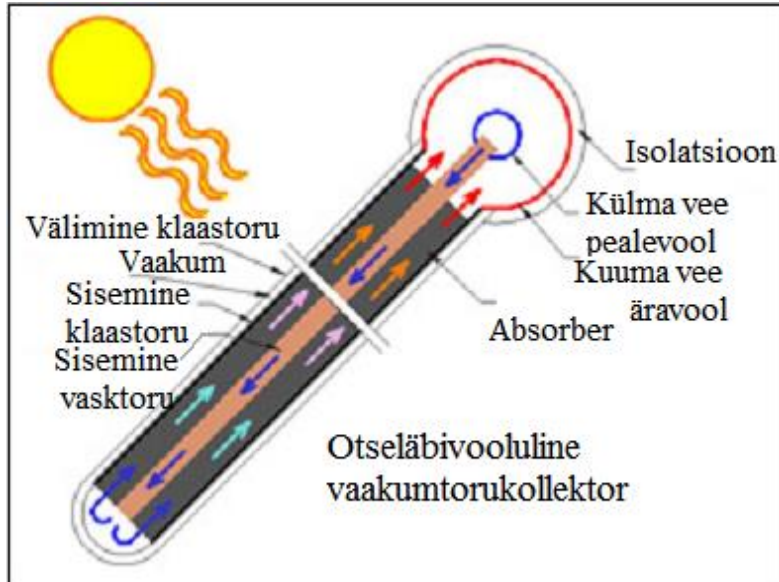


Joonis 1. Plaatkollektor Vitosol 200-F, mis on integreeritud katusesse (Archiproducts, 2015).

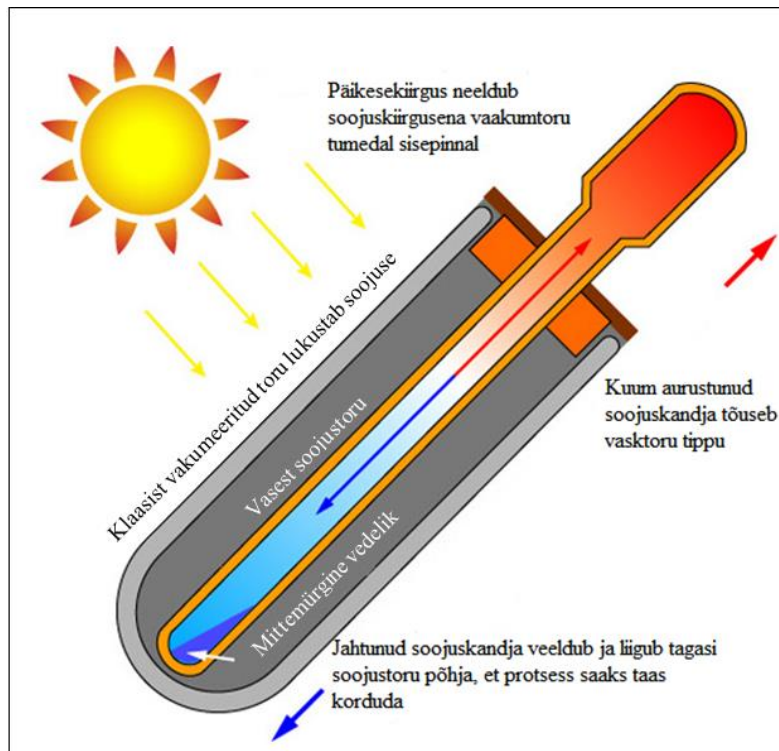


Joonis 2. Vaakumtorukollektor Vitosol 200-T (Reutter Heizungsbau GmbH, 2015).

Lisa 2. Otse läbivoolulise ja soojustoru süsteemiga vaakumtorukollektori tööpõhimõte.



Joonis 1. Otse läbivoolulise vaakumtorukollektori tööpõhimõte (Home Energy Metering, 2012).



Joonis 2. Soojustoru süsteemiga vaakumtorukollektori tööpõhimõte (Solar Collector Inc., 2015)

Lisa 3. Plaatkollektori Vitosol 200-F ja vaakumtorukollektori Vitosol 200-T tehnilised andmed ja nende soojuskandjate tehnilised andmed.

Plaatkollektori Vitosol 200-F ja vaakumtorukollektori Vitosol 200-T tehnilised andmed (Viessmann, 2007a; Viessmann, 2008a).

Tüüp	Plaatkollektor SV2	Vaakumtorukollektor SD2A 2m²
Torude arv	-	20
Brutopindala m ²	2,51	2,88
Absorberi pindala m ²	2,32	2,05
Apertuuri pindala m ² (otsustav seadme dimensioneerimisel) m ²	2,33	2,11
Mõõtmed Laius a (mm) Kõrgus b (mm) Sügavus (mm)	1056 2380 90	1418 2031 143
Järgnevad näidud käsitlevad absorberi pindala: – Optiline kasutegur % – Soojuskao koefitsient k1 W/(m ² · K) – Soojuskao koefitsient k2 W/(m ² · K2)	79,3 3,95 0,0122	78,9 1,36 0,0075
Soojusvõimsus kJ/(m ² · K)	6,4	9,4
Kaal kg	52	51
Kollektori mahtuvus (soojuskandja) liitrit	1,83	4,2
Lubatud töö rõhk bar (kollektorites peab olema kinniste süsteemide korral külmas seisundis rõhku min 1 bar)	6	6
Max seisutemperatuur °C	221	295
Ühendamine Ø mm	22	22

Lisa 3 järg

Vitosol 200-F ja Vitosol 200-T soojuskandja tehnilised andmed (Viessmann, 2007a; Viessmann 2008).

Kollektori tüüp	Vitosol 200-F	Vitosol 200-T
Külmakaitse:	Kuni -28 °C	Kuni -28 °C
Tihedus 20 °C juures:	1,032 kuni 1,035 g/cm ³ ASTM D 1122 järgi	1,032 kuni 1,035 g/cm ³ ASTM D 1122 järgi
Viskoossus 20 °C juures:	4,5 kuni 5,5 mm ² /s DIN 51562 järgi	4,5 kuni 5,5 mm ² /s DIN 51562 järgi
pH-väärtus:	9,0 kuni 10,5 ASTM D 1287 järgi	9,0 kuni 10,5 ASTM D 1287 järgi
Värv:	selge, violetselt fluorestseeruv	läbipaistev, punaselt fluorestseeruv
Tarnemahuti:	25 või 200 liitrit ühekordses mahutis	25 või 200 liitrit ühekäigulises mahutis

Lisa 4. Plaatkollektori Vitosol 200-F ja vaakumtorukollektori Vitosol 200-T tootlikkus (kWh/aastas) ja toodangukadu vastavalt kollektori orientatsioonile ilmakaare ning vertikaalse kaldenurga suhtes.

Tabel 1. Plaatkollektori Vitosol 200-F tootlikkus (kWh/aastas) ja toodangukadu vastavalt kollektori orientatsioonile ilmakaare ning vertikaalse kaldenurga suhtes.

Kollektor	Kaldenurk horisontaalpinna suhtes	Asimuut				
		0°	22,5°/-22,5°	45°/-45°	67,5°/-67,5°	90°/-90°
Tootlikkus kWh/aastas	30°	934	927	907	875	833
Tootlikkuse vähenemine (kWh/aastas)			-7	-27	-59	-101
Kaldenurk	40°	942	933	909	870	819
Tootlikkuse vähenemine (kWh/aastas)			-9	-33	-72	-123
Kaldenurk	50°	940	931	904	859	801
Tootlikkuse vähenemine (kWh/aastas)			-9	-36	-81	-139

Tabel 2. Vaakumtorukollektori Vitosol 200-T tootlikkus (kWh/aastas) ja toodangukadu vastavalt kollektori orientatsioonile ilmakaare ning vertikaalse kaldenurga suhtes.

		Asimuut				
Kollektor	Kaldenurk horisontaalpinna suhtes	0°	22,5°/-22,5°	45°/-45°	67,5°/-67,5°	90°/-90°
Tootlikkus kWh/aastas	30°	962	954	930	893	845
Tootlikkuse vähenemine (kWh/aastas)			-8	-32	-69	-117
Kaldenurk	40°	971	961	933	887	829
Tootlikkuse vähenemine (kWh/aastas)			-10	-38	-84	-142
Kaldenurk	50°	971	960	927	876	810
Tootlikkuse vähenemine (kWh/aastas)			-11	-44	-95	-161

Lihlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Triin Sõro,

Sünnikuupäev: 11.09.1993

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihlitsentsi) enda loodud teose

Päikeseenergia süsteemide rakendamine eramute soojusenergia vajaduse rahuldamiseks, mille juhendaja on Ain Kull

1.1 reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 23.05.2015