

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geoloogia osakond

Lii Vammus

**EESTI KLIMAATILISTES TINGIMUSTES PINNAVEE SOOJUSSÜSTEEMI
RAKENDATAVUSE HINDAMINE TARTU VEEKOGUDE PÕHJAL**

Bakalaureusetöö

Juhendaja: PhD Argo Jõelett

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja

allkiri, kuupäev

Tartu 2015

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	5
1.1. Maasoojussüsteemid	5
1.1.2. Avatud soojussüsteem vee keskkonnas	6
1.1.3. Suletud soojussüsteem vee keskkonnas	7
1.2. Limiteerivad tegurid ja ohud süsteemile	7
1.2.1. Avatud süsteem	7
1.2.2. Suletud süsteem	8
1.3. Veekogude soojusrežiim.....	9
1.3.1. Jõed	9
1.3.2. Järved	9
1.4. Veepõhise soojussüsteemi praktika	10
1.4.1. Rootsi näide	10
1.4.2. Lennusadam ja Soome laht	11
2. MATERJAL JA METOODIKA	13
2.1. Objekti kirjeldus	13
2.1.1. Emajõgi	13
2.1.2. Väike-Anne kanal	13
2.1.3. Lennusadam	14
2.2. Metoodika.....	14
3. TULEMUSED JA ARUTELU	16
3.1. Veetemperatuurid Emajões, Väike-Anne kanalis ja Lennusadamas	16
3.2. Emajõe soojuspotentsiaal	18
3.3. Väike-Anne kanali soojuspotentsiaal	19
3.4. Võrdlus linna soojamajandusega	20

4. JÄRELDUSED	22
KOKKUVÕTE.....	23
Assessment of applicability of surface water source heat pump system in Estonian climate based on water bodies in Tartu.....	24
Tänuõnad	25
KASUTATUD MATERJALID:	26
Lihtlitsents.....	30

SISSEJUHATUS

Ümbritsevast keskkonnast võib leida palju talletunud päikeseenergiat, mida oleks võimalik senisest oluliselt suuremas mahus ära kasutada. Veekogud on üheks neist potentsiaalsetest energiaallikatest, kust soojuspumba vahendusel saaks olemasolevat soojusenergiat ammutada.

Veekogus kasutatavaid soojussüsteeme on võrreldes pinnasega seotud süsteemidest kergem ja odavam paigaldada. Need üldjuhul ei hõiva enda alla suuri maa-alasid ning soojuse ülekanne on tõhusam.

Soojussüsteemide kasutegur on seda suurem, mida kõrgem on ümbritseva keskkonna temperatuur. Seetõttu on külmemates piirkondades, kus küttesooja rohkem vajatakse, kahjuks jõudlus väiksem. (Morton, 2013)

Sarbu ja Sebarchievici (2014) toovad välja, et parasvöötmecliimas või piirkondades, kus vee temperatuur langeb alla 5,5 °C on pinnavees kasutatavad avatud soojussüsteemid sobivamad pigem ruumide jahutamiseks. Külmadel talvedel, kui vee temperatuur on 4 °C või langeb veelgi madalamale, on veekogust eraldatav soojushulk marginaalne (Banks, 2012).

Teadadaolevalt eraldatakse Tallinnas asuva Meremuuseumi Lennusadama ruumide kütteks soojust mereveest. Stockholmis on energiaettevõttel AB Fortumil mitu mereveepõhist soojusüksust, mille võimsus ulatub 36 megavatist 250 megavatini (Hill, 2012).

Eesti kliimaatilistes tingimustes on avaveekogudest soojuse ammutamise kohta ilmunud vähe teadustöid. Hani ja Kõiv (2012) käsitlevad oma töös teoreetiliselt mereveepõhise jaama rajamist kaugkütte ja -jahutuse tagamiseks 21 Tallinna hoonele. Eelnev lubab arvata, et hoolimata soojematest kliimavõõtmetest pärinevate uurijate arvamustest, on siiski võimalik veepõhiseid soojussüsteeme ka Eestis rakendada.

Käesoleva töö eesmärgiks on Tartu veekogude põhjal hinnata soojussüsteemi rakendatavust Eesti kliimaatilistes tingimustes. Selleks võrreldakse Emajõe temperatuuri režiimi Lennusadama soojussüsteemi allika, Tallinna lahe merevee temperatuuridega ning arvutatakse Emajõe ja Väike-Anne kanali soojuspotentsiaalid arvestades veekogude temperatuure ja mahte. Saadud võimsusi vaadeldakse nii Tartu linna soojamajanduse kui ka üksikute hoonete soojavajaduse kontekstis.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Maasoojussüsteemid

Pinnasesse või veekogusse salvestunud päikeseenergiat on võimalik kätte saada ja ära kasutada maasoojussüsteemide abil. Need on installatsioonid, mis koosnevad kolmest suuremast üksusest: soojusallikaga kontaktis olev osa, soojuspump ja interjööri kütte- või jahutussüsteem (RETScreen..., 2005).

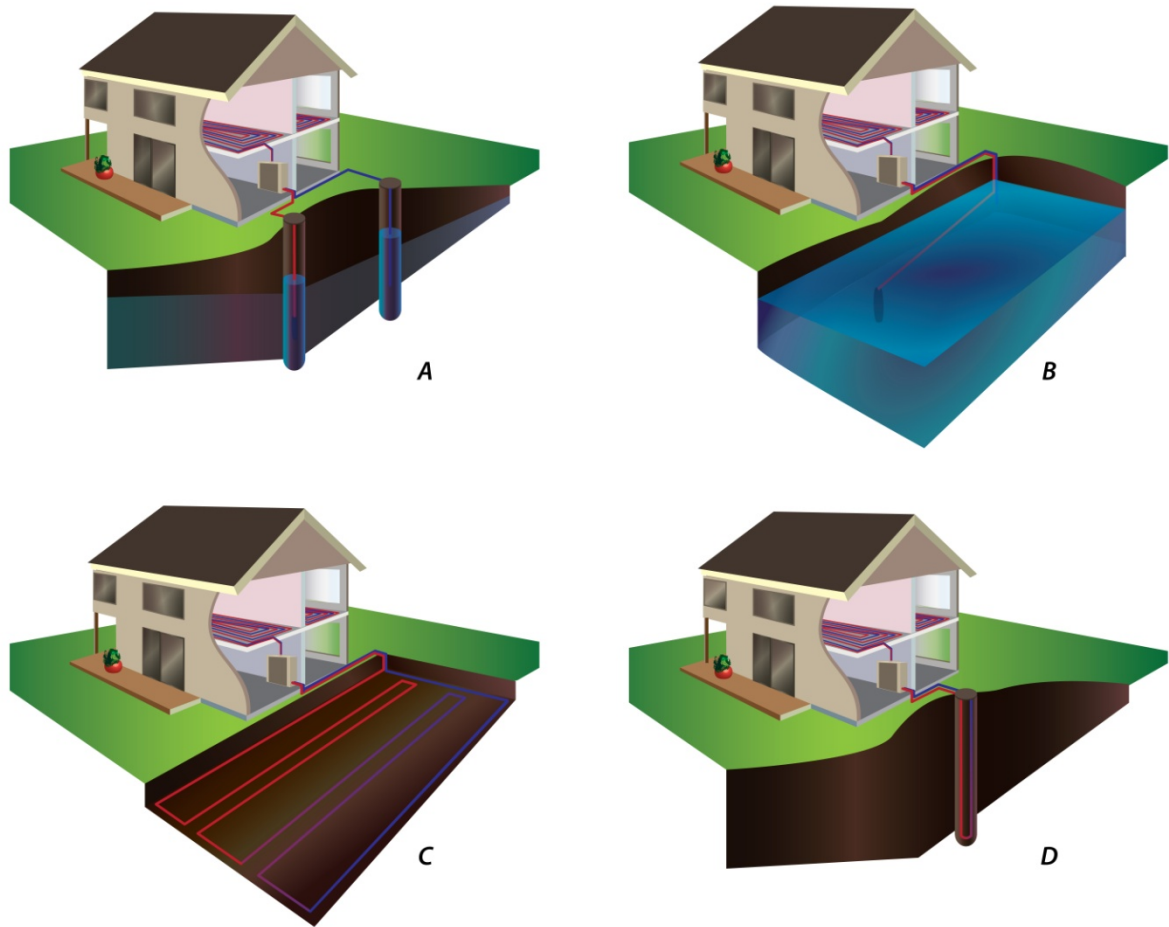
Eesti kliimatilistes tingimustes ja ka geotermiliste võimaluste juures kasutatakse saadavat soojusenergiat eelkõige kütteks.

Soojussüsteemid jagunevad vastavalt keskkonna järgi, kust energiat ammutatakse, põhjavee süsteemideks, pinnavee süsteemideks ja pinnasega seotud süsteemideks (Sarbu ja Sebarchievici, 2014) (joonis 1). Olenevalt sellest, kas soojusenergiat võetakse otse keskkonnast või kogub seda külmutusagens, jaotatakse eelnimetatud veel vastavalt avatud- ja suletud süsteemideks. Esimesel juhul pumbatakse vett puurkaevust või veekogust, teisel juhul ringleb torudes vedelik, mis kogub ja kannab energiat. Mõlemal juhul viiakse soojusvaheti abil ringlus edasi soojuspumpa.

Erinevates töödes on märgitud, et võrreldes õhksoojuspumpadega, mis on samuti alternatiivse küttemeetodina laialdaselt kasutusel, on aasta lõikes maasoojussüsteemide efektiivsus suurem. Seda eelkõige õhust stabiilsema ja külmal perioodil soojusallika kõrgema temperatuuri tõttu (Büyükalaca *et al*, 2003; Said *et al*, 2009; Kindaichi *et al*, 2012). Pinnas, aga ka vesi on õhust paremad soojusjuhid. Banks (2012) järgi on pinnase soojusjuhtivustegur olenevalt kivimitest 1,5 – 7,5 W/(mK), vee soojusjuhtivustegur on 0,6 W/(mK) ja õhul 0,024 W/(mK).

Vee teeb soojusallikana eriliseks selle suur soojusmahtuvus, 4,18 MJ/(m³K) (Banks, 2012). Võrdluseks võib tuua pinnase kivimite soojusmahtuvuse, mis jäävad vahemikku 1,6–3,1 MJ/(m³K) ja õhul on see ühe atmosfääri juures 1,29*10⁻³ MJ/(m³K) (Banks, 2012).

Käesolev töö keskendub pinnavetest soojusenergia saamisele ja järgnevates alapeatükkides käsitletakse lahendusi, mida on mainitud keskkonnas võimalik kasutada.



Joonis 1. Erinevad maasoojussüsteemid: a) põhjavee süsteem; b) pinnavee süsteem; c) horisontaalkollektor ja d) soojuspuurauk.

1.1.2. Avatud soojussüsteem vee keskkonnas

Avatud soojussüsteemid pumpavad veekogust vett, lasevad selle läbi soojusvaheti ning juhivad veidi eemal sissevõtu kohast tagasi veekogusse (Sarbu ja Sebarchievici, 2014). Kogu süsteem koosneb põhiliselt vee sissevõtu torustikust, pumbast, soojusvahetist, soojuspumbast ja väljalaske torustikust (Mitchell ja Spitler, 2013).

Vee sissepumpamiseks võib kasutada uputatavaid pumbasid, nagu seda tehakse puurkaevude puhul. Samas kui vee pinna ja ümbritseva maapinna kõrguste vahe jääb alla 5–6 m on võimalik rakendada ka maa peal asetsevaid pumbasid. Maapealsed pumbad võimaldavad hooldusremondiks mugavamalt ligipääsu. (Banks, 2012)

1.1.3. Suletud soojussüsteem vee keskkonnas

Suletud süsteemi puhul kasutatakse veekogu põhjas soojuse eraldamiseks soojusvaheteid, mis võivad olla nii torud kui ka plaadid (joonis 2) ning milles ringleb külmutusagens. Keskkonnast kogutud soojusenergia kantakse torustiku abil soojuspumbani.

Kuna külmutusagensi temperatuur võib langeda alla 0 °C jäädes ise seejuures vedelasse faasi, võimaldab see soojusülekanne ka väga madala temperatuuriga allika puhul. (Morton, 2013)

Vee alla paigaldatud soojusvahetid kinnitatakse tavaliselt betoonist ankrutega, mille täiendav funktsioon on hoida torustikku 23–46 cm kõrgusel põhjast, et oleks tagatud vee vaba liikumine ja konvektiivne soojusülekanne. (Omer, 2008)



Joonis 2. Spiraalsoojusvaheti (vasakul) (Martin Energetics, 2015) ja Slim Jim® plaatsoojusvaheti (paremal) (AWEB Supply, 2006).

1.2. Limiteerivad tegurid ja ohud süsteemile

1.2.1. Avatud süsteem

Avatud soojussüsteemi efektiivsus sõltub sissepumbatava vee temperatuurist, mida mõjutavad vee sissevõtmise kiirus ja maht, samuti toru paiknemise asend. Viimane on eriti oluline veekogudes, kus on arenenud termiline stratifikatsioon. Kui mingis punktis pumbatakse vett, hakkavad erineva temperatuuriga veekihi toru suunas liikuma ning sellega muutub sissetõmmatava vee tihedus ja temperatuur. (Wang *et al*, 2012)

Veemasside segunemist võib põhjustada ka sissevõtule liiga lähedal paiknev väljalaske koht. Selline olukord tekitab suure soojusgradiendi kahe koha vahel, millega kaasneb eralditoimiv väiksem veeringlus. Viimase vältimiseks tuleb sissevõtt ja väljalase üksteisest piisavalt kaugemale projekteerida. (Banks, 2012; Wang *et al*, 2012)

Kui soojuste eraldamine toimub madalate veetemperatuuride juures, on oht külmumisele ja jää tekkele süsteemis (Banks, 2012).

Avatud süsteemi limiteerib ka prahi sattumine torustikku. Vees olevad osakesed või mikroorganismide kolooniad võivad süsteemi sattudes ummistada või kriipida soojussüsteemi torustikku (Banks, 2012). Setteosakeste ja organismide, nagu näiteks kalad, kalamaimud, vetikad jmt, süsteemi sisenemise takistamiseks, kasutatakse torul filtreid. Kuna filtrid toimivad takistusena ka veevoolule, on nende kasutamise puhul oluline tagada vajalik vee sissevõtu kiirus, mida on võimalik teha vastava toru ristlõike ja filtri sõrestiku suuruse valimisel. Optimaalne kiirus, mis takistaks organismide sisenemist, oleks 0,15 m/s. (Mitchell ja Spitler, 2013)

Vee keemiline koostis, selle soolsus, või kui seal juhtub olema teatud koguses lahustunud gaase (CO₂, H₂S), võib soodustada seadmete korrosiooni. Selle vältimiseks on vajalik hoida süsteemis kõrgemat rõhku ning takistada kokkupuudet õhuhapnikuga. (Banks, 2012)

1.2.2. Suletud süsteem

Suletud süsteemi soojusülekanne toimub tänu soojusvahetis ringlevale madalama temperatuuriga külmutusagensile. Soojuse liikumine toimub peamiselt konvektsioonirakkude kaudu. (Banks, 2012) Seega, et tagada piisav soojusülekanne, on oluline reservuaari sügavus.

Torustik peaks olema 1,8–2,4 m all pool veepinda või soovitatavalt isegi sügavamal. Samuti on vaja vee vabaks liikumiseks jätta vahe veekogu põhja ja torustiku vahele. (Omer, 2008) Plaatsoojusvaheti peaks jääma vähemalt 60 cm alla poole talvel tekkivast jääkihist (AWEB Supply, 2006).

Lisaks nõuab vette paigaldatav süsteem piisava suurusega veekogu olemasolu selleks, et ekspluateerides vältida drastiliste muutuste teket ja tagada kohaliku ökoloogia säilimine. Banks (2012) viitab, et järves on soojussüsteemi kasutamine aktsepteeritud, kui selle sügavus on 3–4 m ja soojuste ekstraktsioon jääb alla 8,7 W/m² või on tagatud piisav vee ja koos sellega

soojuse juurdevool (Kavanaugh ja Rafferty, 1997; Banks, 2012 kaudu). Omer (2008) järgi on veekogu pindala vajadus on $79,2 \text{ m}^2/\text{kW}$, mis vastab erivõimsusele $12,6 \text{ W/m}^2$. Kui need kriteeriumid ei ole täidetud, on süsteemi kasutamine veekogus siiski mõeldav, aga vajab detailsemat riskihinnangut (Banks, 2012).

Jõgedes, kus aastalõikes veetasemed kõiguvad, ei ole süsteem tihtipeale rakendatav, kuna suured veetaseme muutused võivad kahjustada süsteemi. (Omer, 2008)

Suletud süsteemi töötamine $0 \text{ }^\circ\text{C}$ juures võib tuua kaasa jääkihi tekke ümber torude, mis takistab vee konvektiivset soojusvahetust ja seega vähendab süsteemi efektiivsust. Lisaks, kui torud pole korralikult ankurdatud, võivad suured jääkogumikud neid pinnale vedada, lõhkudes sellega süsteemi. (Banks, 2012)

1.3. Veekogude soojusrežiim

1.3.1. Jõed

Jõgede termiline režiim oleneb nii paikkonna kliimast kui ka jõe toitumistüübist. Kliima mõju jõgedele on võrreldes sama paikkonna järvedega väiksem. Põhjaveetoiteliste jõgede temperatuur on talvel kõrgem ning suvel madalam kui lumesulamis- ja vihmaveest toituvates jõgedes. Jõgedel, mis saavad alguse järvedest või läbivad neid, võib veetemperatuur olla oluliselt kõrgem kui teistel. (Järvekül, 2001)

Eesti jõgede temperatuuri aastaajaliste muutuste amplituud jääb vahemikku $15\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$, allikatoitelistes väikejõgedes ja pikemate allikatoiteliste jõgede ülemjooksu piirkonnas $5\text{--}10 \text{ }^\circ\text{C}$. Kesktalvel (veebruaris) on jõgede temperatuur enamasti $0,0\text{--}0,5 \text{ }^\circ\text{C}$, soojemad temperatuurid ($1,8\text{--}3,8 \text{ }^\circ\text{C}$) on allikaveelistel jõgedel või jõeosadel. (Järvekül, 2001)

1.3.2. Järved

Järvede soojusrežiim kujuneb välja päikesekiirguse ning meteoroloogiliste ja hüdrooloogiliste tegurite koosmõjul (Järvet, 2003).

Vesi on kõige tihedam temperatuuril $4 \text{ }^\circ\text{C}$ ning tihedus väheneb temperatuuri tõustes või langedes. Tiheduse ja temperatuuri seose tõttu moodustuvad parasvöötme järvedes kindlalt

piiritletud veekihid (Kõiv ja Ott, 2011). Kevadel saavutab kogu veesamba temperatuur 4 °C reeglina aprillis-mais (Ott ja Kõiv, 1999), siis on termiline vastupanu vee läbisegunemisele kõige väiksem ning piisab nõrgast tuulest, et kogu veemass põhjani läbi segada. Püsival soojenemisel piisab paarikraadisest temperatuurierinevusest, et vältida veemassi edasist läbisegamist. (Kõiv ja Ott, 2011)

Eesti järved on kliimavöötlele vastavalt dimiktilised, kus vee täielik segunemine toimub kaks korda aastas. Sügisel toimub see oktoobris-novembris (Ott ja Kõiv, 1999), mil päikesekiirguse hulk väheneb ja õhutemperatuur langeb. Talvisel kihistumisel on vahetult jää all vee temperatuur 0 °C, samas kui põhjakihtides on temperatuur kuni 4 °C. (Kõiv ja Ott, 2011)

Olenevalt keskkonnatingimustest ja järve sügavusest võib temperatuuri režiimi kujunemine veekogudes erinev olla. Kui koht on tuulele avatud, on madalates järvedes, alla nelja meetri sügavustes veekogudes (Kavanaugh ja Rafferty, 1997; Banks, 2012 kaudu) tõenäolisem, et tuule poolt põhjustatud turbulents ning konvektsioon segavad veemasse kuni põhjani, mistõttu ei teki seal termilist kihistumist. Pidev suuremahuline pindmine vee sissevool võib samuti stratifikatsiooni takistada. Põhjavee infiltratsioon järve põhjustab suvel teatud osade jahtumist ning talvel soojenemist. (Banks, 2012) Samas võivad väga külmadel talvedel madalamad veekogud ka põhjani ära külmuda (Ott ja Kõiv, 1999).

1.4. Veepõhise soojussüsteemi praktika

1.4.1. Rootsi näide

Kogu Stockholmi soojaturust on ligi 60% klientidest valinud kaugkütte, mis teeb aastalõikes soojaproduksiooniks 5700 GWh ja mis jaotatakse laiali 765 kilomeetri pikkuse kaugkütte võrgustiku abil. AB Fortum Värme tagab suurema osa Stockholmi soojavajadusest ning 26% kogu firma soojatoodangust tuleb mere- ja heitveest. Põhiline soojatoodang tagatakse soojuspumpade vahendusel kombinatsioonis biokütustega. Fossiilseid kütuseid kasutatakse vaid väga suure nõudluse korral. Fortumile 1980-ndate keskepaigas paigaldatud merevee soojuspumba üksus on maailma suurimaid. See koosneb kuuest soojuspumbast ja on koguvõimsusega 180 MW. (Friothers, 2005)

Praegused võrgustiku suurimad soojuspumba jaamad, mis kasutavad allikana merevett on peamiselt Ropsteni üksused, mille soojatootmise koguvõimsus on 250 MW. Samuti kasutab tootmiseks merevett Nimrodi jaam, mille võimsus on 36 MW. (Hill, 2012)

Ropsteni jaam (joonis 3) on jagatud kolmeks üksuseks. Ropsteni üksused 1 ja 2 toodavad ainult soojust, üksus 3 toodab ka kaugjahutust (110 MW) (Hill, 2012). Jaama soojatootmise COP ehk soojustegur (suhtarv kasuliku soojuse ja selleks tarnitud elektrienergia vahel) on ligikaudu 3. Vee sissevõtu torud asuvad nii põhjas kui ka pinnakihis ning soojusenergia saamiseks on kasutatav kuni kahe kraadine merevesi. (Nowacki, 2014)



Joonis 3. Ropsteni kaugkütte ja -jahutusjaam (Nowacki, 2014).

1.4.2. Lennusadam ja Soome laht

Soome laht on 400 km pikk ja 48–135 km lai, mille ristlõike sügavused ulatuvad üle 100 m Läänemere poolses avas kuni alla 30 m ida osas. Jõgede äravool lahte on aastas keskmiselt 3556 m³/s, mis on umbes 10% Soome lahe mahust. Jõesuubuvad peamiselt idapoolsesse ossa, mistõttu pinnakihtide soolsus suureneb lääne suunas. (Liblik ja Lips, 2011) Merevee soolsusest tingituna, hakkab jää moodustuma temperatuuridel alla -0,4 °C (Hani ja Kõiv, 2012).

Soome lahe sügavus kasvab rannikust keskmiselt 5 m/km. Rannikulähedane temperatuur (kaugusel < 500 m ja sügavusel kuni 20 m) varieerub -0,31 °C talvel kuni 16,6 °C suvel. Soome lahe termosaliinne stratifikatsioon on tugevalt mõjutatud tuulte ja tõusuvoolude poolt.

Tekitatud tsirkulatsioon ja vee segamine vähendavad kihistumist märkimisväärselt. (Hani ja Kõiv, 2012)

Tallinna lahe ääres paiknev Lennusadam saab oma soojust samuti Soome lahest. Lennusadamas kasutatav süsteem (joonis 4) on kaheastmeline. Ligikaudu seitsme meetri sügavuselt merest võetav vesi lastakse läbi soojusvaheti, kust edasi läheb etüleenglükooliring hoonesse.

Soojus eraldatakse titaansoojusvaheti abil (joonis 4 vasakul), kust etüleenglükooli lahuse kaudu kantakse soojusenergia soojuspumpadeni, andes sealt soojust edasi madalatemperatuurilisele küttesüsteemile. Hoones on põrandaküte, mille temperatuurigaafik on -20 °C välisõhu temperatuuri juures $40\text{ °C} / 30\text{ °C}$. Mereveest soojust eraldamine on võimalik kuni vee temperatuurini $0,2\text{ °C}$. Kui temperatuur langeb sellest allapoole, kasutatakse süsteemi lisatud elektrilisi küttekihi. Perioodil alates avamisest 2011 kuni 2014 aasta sügiseni on paigaldaja andmetel elektrikatlaid kaustatud kokku umbes kuus nädalat. (Vahter, 2014)

Avatud süsteem valiti Lennusadamasse, kuna kinnise süsteemi paigaldamine ning selle kaitse sõukruvide eest oleks sadama põhja kergitanud sedavõrd, et sadam oleks oma klassi kaotanud. Samuti oleks vajaliku toru pikkuse juures (u 15000 m) purunemise korral lekke otsimine ja selle parandamine merepõhjas väga aeganõudev ning kulukas. (Vahter, 2014)



Joonis 4. Lennusadama soojussüsteem. (Fotod: A. Jõelett)

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Objekti kirjeldus

2.1.1. Emajõgi

Emajõgi saab alguse Võrtsjärvest ja suubub Peipsi järve olles kogupikkusega 100 km ja langusega 3,6 m. Valgla suurus on 9628 km², aasta keskmine vooluhulk on 60–70 m³/s ja keskmine äravoolu maht 2,26 km³. Jõe laius on 50–60 m ja sügavus 4–5 m, vee voolukiirus on 0,2 m/s. (Kõrs *et al*, 2012)

Emajõe le on iseloomulik märkimisväärne põhjaveeline toitumine, tasandunud ekstreemsed veetasemed ja küllaltki ühtlane äravoolu jagunemine aasta jooksul. Jõe tasemerežiimi iseloomu määrab Võrtsjärve ja Peipsi järve reguleeriv mõju. (Kobras AS, 2014)

Tartu asub jõe keskjooksul, enne Tartut langeb Emajõgi kolm meetrit ja pärast pool meetrit. Seega on ülesvoolu jääv jõeosa märgatavamalt kiirevoolulisem kui allavoolu jääv osa. Veetase muutub aasta jooksul 1–3 m. Jõelamm on kevadel madalamates kohtades enamasti üle ujutatud, kuid hilissuvel jääb põhi kalda ääres tihti kuivale. (Kaivo, 2012) Madalveeaeg algab Võrtsjärve tasandava toime tõttu juulis-augustis ning kestab septembri-oktoobrikuuni (Maastik, 2008). Emajõgi on jäätunud keskmiselt novembri lõpust aprilli alguseni (Kaivo, 2012).

Emajõe keskjooksul, alates Käreverest, kasvavad oluliselt jõe laius ja sügavus ja jätkavad seda Peipsi suunas edasi. Jõe laius on seal keskmiselt 50–70 m, suurimad sügavused ulatuvad 11 meetrini. (Napits, 2010)

2.1.2. Väike-Anne kanal

Väike-Anne kanal on osa Anne kanalist, mis on hilisemate uuenduste käigus eraldunud. Anne kanal on tehisjärv, mis asub Tartu linnas, Emajõe vasakul kaldapoolel. Kanal kuulub Ida-Eesti vesikonna Peipsi alamvesikonda. Väike-Anne kanali pindala on 5,5 ha ja kaldajoone pikkus 1149 m (Keskkonnaregister, 2015). Kanali laius on 120–130 m ning keskmine sügavus 2,2–4,4 m (Kobras AS, 2014). Koha peal tehtud mõõtmiste tulemusena võib sügavuseks arvestada keskmiselt 3 m.

Anne kanal on rajatud Tartusse aastatel 1965–1971, kui vajati täitepinnast Anne elamurajooni ehitamisel üleujutatud ala täitmiseks (Kobras AS, 2014). Hiljem ehitati ülejäänud linnaga ühendamiseks uus sild üle Emajõe ja kaevatud kanali. Sõpruse silla ehitamise käigus täideti kaevatud kanal nii, et tekkis kaks kanali osa – Anne kanalina tuntud põhjapoolne osa, mida kasutatakse ujumiskohana ning lõunapoolne osa, Väike-Anne kanal, millesse on juhitud sademevee kollektor. (Terviseamet, 2011)

Anne kanal asub Tartu linna idaosas Emajõe orus, mis on uuristatud Devoni liivakividesse ja aleuoliitidesse. Aluspõhjakivimite pealispind on maapinnast 4–9 m sügavusel ja laskub Emajõe suunas. Kanali põhjas paljanduvad peamiselt liivsavi või saviliiv ning põhjapoolse kalda lähedal ka Devoni liivakivid ja aleuoliidid. Kanal toitub peamiselt põhjaveest. Kvaternaarisetete veejuhtivus on savikate ja turbarikaste pinnaste tõttu oluliselt väiksem ning ilmselt nendega seotud vesi ei mängi olulist rolli kanali toitumises. Vesi imbub läbi jõe ja kanali vahelise maariba Emajõkke. (Kobras AS, 2014)

2.1.3. Lennusadam

Võrdlusmomendi saamiseks paigaldati Lennusadama süsteemi kahte kohta nelja anduriga automaatomõõtjad, mis registreerisid temperatuure iga 10 minuti järel. Esimeses kohas, kail mõõdetakse merest sissetuleva ja tagasi merre mineva vee temperatuure. Teises kohas on andurid majas, mis mõõdavad majja tuleva ja majast lahkuva etüleenglükooli temperatuure. Enamik kogutud andmetest aitasid mõista suure hoone küttesüsteemi kompleksust ja keerukust, kuid nende käsitlemine antud töös oleks liialt mahukas ja seatud eesmärkidest liiga kaugel. Seetõttu kasutatakse käesolevas töös kogutud andmeridast ainult merevee temperatuuri.

2.2. Metoodika

Emajõest saadava soojusenergia (E) hindamiseks on tehtud arvutused erinevate temperatuuri muutustega, kasutades valemit:

$$E = Q \cdot \Delta\theta \cdot C_{\text{wat}},$$

(Valem 1)

kus Q on veevoolu kiirus l/s, $\Delta\theta$ on vee temperatuuri muutus kelvinites ja C_{wat} on vee soojusmahutavus (4180 J/(IK)).

Väike-Anne kanali potentsiaalse soojusenergia (E) leidmiseks on tehtud arvutused kasutades valemit:

$$E = V \cdot \Delta\theta \cdot C_{\text{wat}},$$

(Valem 2)

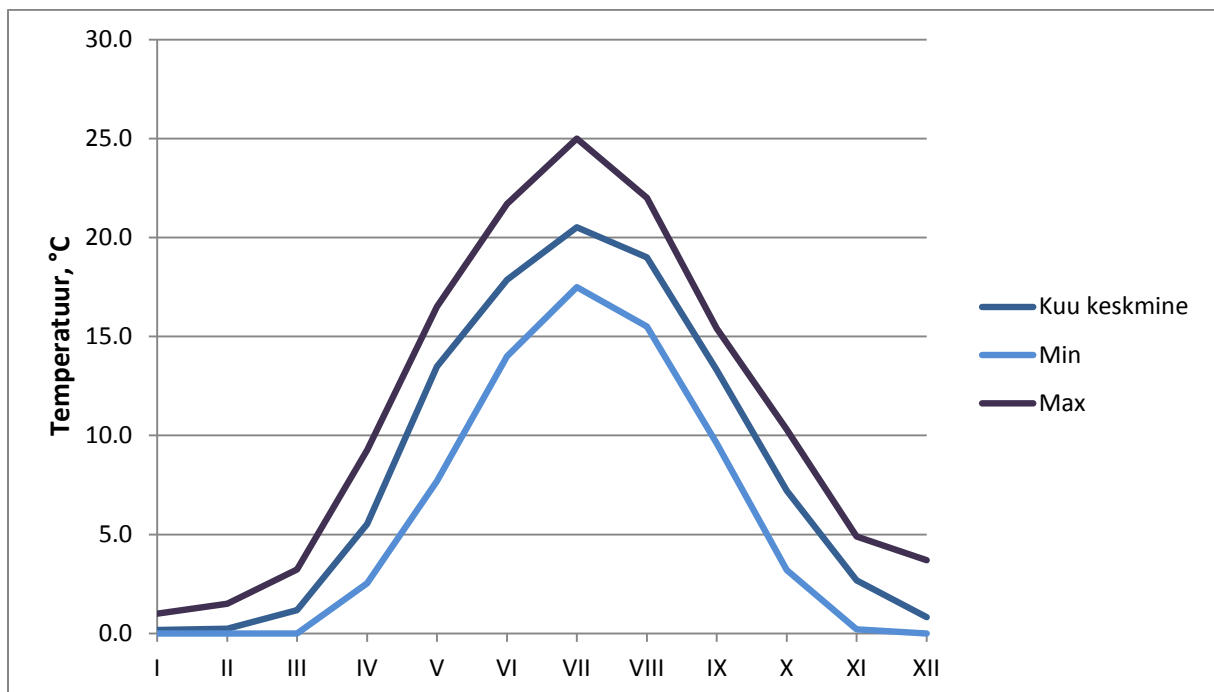
kus V on veekogu maht m^3 , $\Delta\theta$ on vee temperatuuri muutus kelvinites ja C_{wat} on vee soojusmahutavus (4,18 MJ/(m^3K)).

3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1. Veetemperatuurid Emajões, Väike-Anne kanalis ja Lennusadamas

Vee temperatuuride põhjal on võimalik aasta lõikes hinnata Emajõe ja Väike-Anne kanali rakendatavust soojusenergia allikana.

Hindamaks Emajõe vee temperatuuri režiimi, on kasutatud Keskkonnaagentuuri andmeid. Saadud on Tartu Kvissentali seirejaama andmed viimase 30 aasta temperatuuride kohta. Joonisel 5 on näha viimase kolmekümne aasta keskmisi väärtusi koos miinimumide ja maksimumidega.

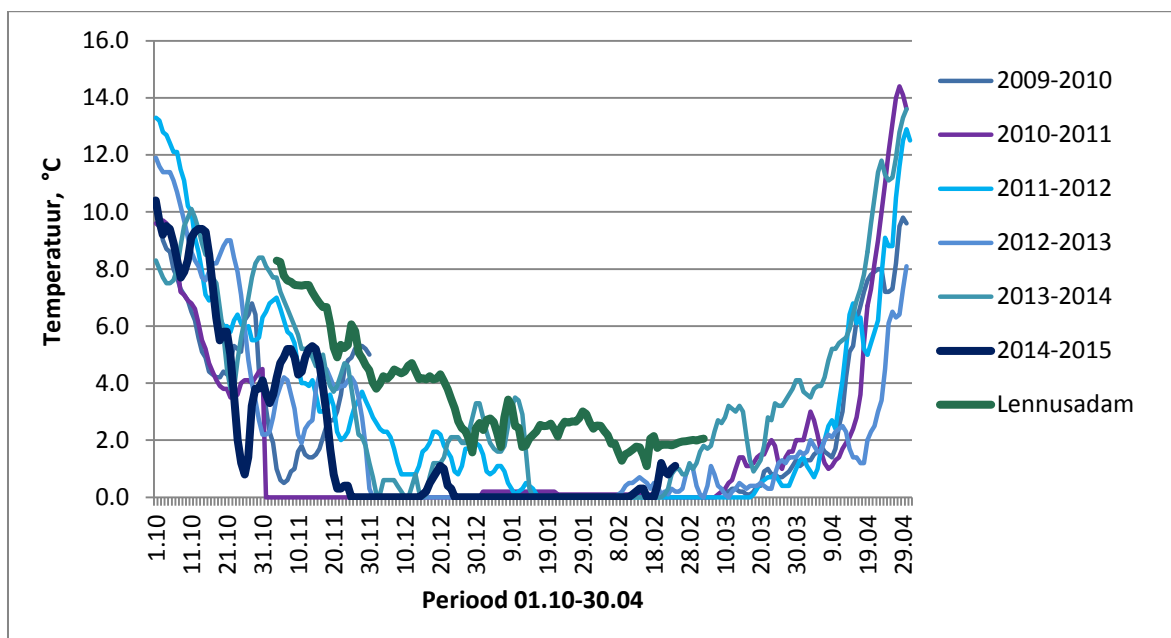


Joonis 5. Emajõe kuu keskmised, minimaalsed ja maksimaalsed jõevee temperatuurid alates aastast 1985.

Emajõe kohta käivad andmed perioodil 1985 kuni 2015 veebruar on antud kuu keskmistena. Keskkonnaagentuurist on aastate vahemiku 1985–2010 kohta märtsi, aprilli, novembri ja detsembri veetemperatuurid toodud eraldi dekaadi keskmistena. Alates 01.07.2008 kuni 24.02.2015 on olemas andmed ööpäeva keskmiste veetemperatuuride kohta.

Tehnilistel põhjustel ei olnud võimalik Väike-Anne kanali temperatuure mõõta aegreana. 2015 aasta veebruaris tehti pisteliselt veetemperatuuri mõõtmisi jää pealt. Kasutatud termomeetri täpsusklass võimaldas anda ainult hinnangu, et vee temperatuur kasvas jääpinna lähedasel 0–1 kraadilt 3–4 kraadini kolme meetri sügavusel.

Vaadeldud perioodil, so 04.11.2014 – 04.03.2015, jäid Lennusadama süsteemis sissepumbatavad merevee temperatuurid vahemikku 1–8 °C. Temperatuuride vahed sissepumbataval ja väljuval mereveel olid keskmiselt 0,5–2 kraadi. Kõrgemad temperatuurid kui ka suuremad temperatuuri vahed jäid peamiselt vaadeldava perioodi esimesse poole. Andmed merevee temperatuuride kohta on toodud graafikul (joonis 6).



Joonis 6. Emajõe viimaste aastate ööpäeva keskmised jõevee ja viimase aasta Lennusadama süsteemi sissetuleva merevee temperatuurid perioodidel 1. oktoober kuni 30. aprill.

Graafikutel nähtavate Emajõe veetemperatuuride põhjal võib kütteperioodi jaotada neljaks alaperioodiks. I perioodil, sügise algul, septembris ja oktoobris, on vesi võrdlemisi soe, keskmiselt 7–13 °C. II perioodil, novembris ja detsembris langevad vee temperatuurid 0,8–3 °C juurde. Kõige külmematel kuudel, jaanuaris ja veebruaris, antud kontekstis III perioodil,

jäävad vee temperatuurid 0,2 kraadi ümber. Uuesti hakkab vesi soojenema märtsis, saavutades IV perioodi alguseks temperatuuri üle 1 kraadi ning olles aprillis keskmiselt 5,5 °C.

Tallinna lahe temperatuurid on vaadeldud perioodil võrreldes Emajõe temperatuuridega 1–5 kraadi kõrgemad. Väiksemad temperatuuri erinevused on nähtavad alles veebruari kuus, siis jäävad vahed 0,8–1,6 kraadi juurde.

3.2. Emajõe soojuspotentsiaal

Vooluveekogus, kus on vee pidev lisandumine tagatud, nagu Emajõe puhul, võiks eelistatult kasutada avatud süsteemi. See ei nõua veekogus enda alla suuri alasid ja on paremini ligipääsetav. Veekogu ekspluateerimise piiranguks on antud juhul jõe vooluhulk. Kui arvutuste aluseks võtta 10% aasta keskmisest vooluhulgast, so 6000 l/s, ja eraldada 0,5–4 kraadi, siis jääksid saadavad võimsused vahemikku 13–100 MW. Arvutustulemused on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Emajõest soojuse eraldamisele vastavad võimsused, kui pumpamise kiirus oleks 6000 l/s

Temperatuuri muutus, K	0,5	1	2	3	4
Võimsus, MW	13	25	50	75	100

Kogu kütteperioodi kõige suuremad võimsused on võimalik kätte saada I perioodil, kui vesi on veel soe. II perioodil, kus ruumide tegelik küttevajadus suureneb, langeb vee temperatuur oluliselt ja selle perioodi keskmised võimsused jääksid vahemikku 25–75 MW. IV perioodi küttevõimsused algaksid 13 megavatist.

Lennusadama põhjal võib öelda, et I, II ja IV perioodil on avatud süsteem rakendatav. Kui temperatuurid jäävad 1 °C juurde, nt novembris ja märtsis, on võimalik vajalike võimsuste saavutamiseks pumpamismahte suurendada.

Mageda vee puhul võiks lugeda viimaseks avatud süsteemi rakendatavuse piiriks 0,5 °C. Kui temperatuur läheneb külmumistemperatuurile, hakkab seadmetes tekkima jää, mis vähendab

efektiivsust ning takistab seadme töötamist. See tähendab, et praktiliselt kaks kuud aastas (III periood) on avatud süsteemi rakendatavus Emajões kaheldav.

Kinnine süsteem toimib ka väga madalate temperatuuride juures ning oleks rakendatav kõige külmematel kuudel. Sobilike soojusvahetite korral saaks minna isegi miinuskraadide juurde. Jää teke soojusvahetil vähendaks mõnevõrra efektiivsust, kuid ei piiraks täielikult süsteemi toimimist.

Emajõe puhul on tegemist laevatatava veekoguga, sobiliku lahenduse leidmisel peaks sellega arvestama. Mõeldav oleks kasutada plaatsoojusvaheteid (joonis 2), mida on jõe puhul võimalik paigaldada kaldapoolsetele äärealadele. Tegemist on erinevas suuruses roostevabast terasest või titaanist plaatidega, mida paigaldatakse veekogusse vertikaalsetena. Selliste soojusvahetite puhul saab plaatide juurde lisamisega tagada suuremaid võimsusi. Ohuna võib näha, et vooluveekogus satub plaatide vahele ujuvprahti, mis lisaks jääle võib samuti vähendada efektiivset soojusvahetust.

3.3. Väike-Anne kanali soojuspotentsiaal

Väike-Anne kanali puhul on tegemist väikese veekoguga, kus kirjanduse põhjal on veevahetus aeglane (Kobras AS, 2014). See tähendab, et veega lisandub soojust vähe ning kasutada saab ainult seda soojust, mis on veekogus olemas. Vastava energia ja potentsiaalsed küttevõimsused saab arvutada võttes aluseks veekogu ruumala ja temperatuuri muutust, rakendades valemit 2 (ptk 2.2.). Arvutatud tulemused Väike-Anne kanalist saadava küttevõimsuste kohta on toodud tabelis 2.

Tabel 2. Väike-Anne kanali jahutamisele vastavad küttevõimsused, kui soojushulk võetakse erineva kestusega kütteperioodi jooksul

Temperatuuri muutus, K	1	2	3	4	5
Võimsus, kW					
212 päeva (oktoober – aprill)	38	75	113	151	188
90 päeva (nt detsember – veebruar)	89	177	266	355	443
60 päeva (nt jaanuar – veebruar)	133	266	399	532	665

Kuna puudub täpne ülevaade aasta lõikes temperatuuri kujunemise kohta, oleks hinnanguliselt realistlik võtta aluseks veekogu jahutamine kuni kolme-nelja kraadi võrra. See tähendab, et keskmised võimsused ulatuksid kuni 532 kilovatini.

Kui ekspluateerida Väike-Anne kanalit ainult siis, kui Emajõe temperatuurid on nullilähedased, saaks veekogu jahutada veelgi vähem. Talve perioodiks on Väike-Anne kanalis tekkinud teatav stratifikatsioon ning mõeldav oleks kogu veekogu jahutada maksimaalselt 1–2 kraadi, mis teeb keskmiseks küttevõimsuseks kuni 266 kilovatti. Väga külmal talvel, kui jääkihi paksus on suurem ja kasutatava vee maht väiksem, saaks soojust eraldada isegi veel vähem.

3.4. Võrdlus linna soojamajandusega

Selleks, et saadud võimsusi hinnata on neid võrreldud nii Tartu soojatootja Fortum Tartu kontserni kuuluva AS Anne Soojus avalike andmetega kui ka valitud hoonete küttevajadustega. Vaadeldavateks hooneteks on Eedeni kaubanduskeskus ja A Le Coq Sport spordihoone. Hoonete valiku puhul on lähtutud nende asupaigast, arvestusega, et need võiksid olla potentsiaalsed soojusenergia tarbijad, kuna nende paiknemine on veekogude läheduses (joonis 7).

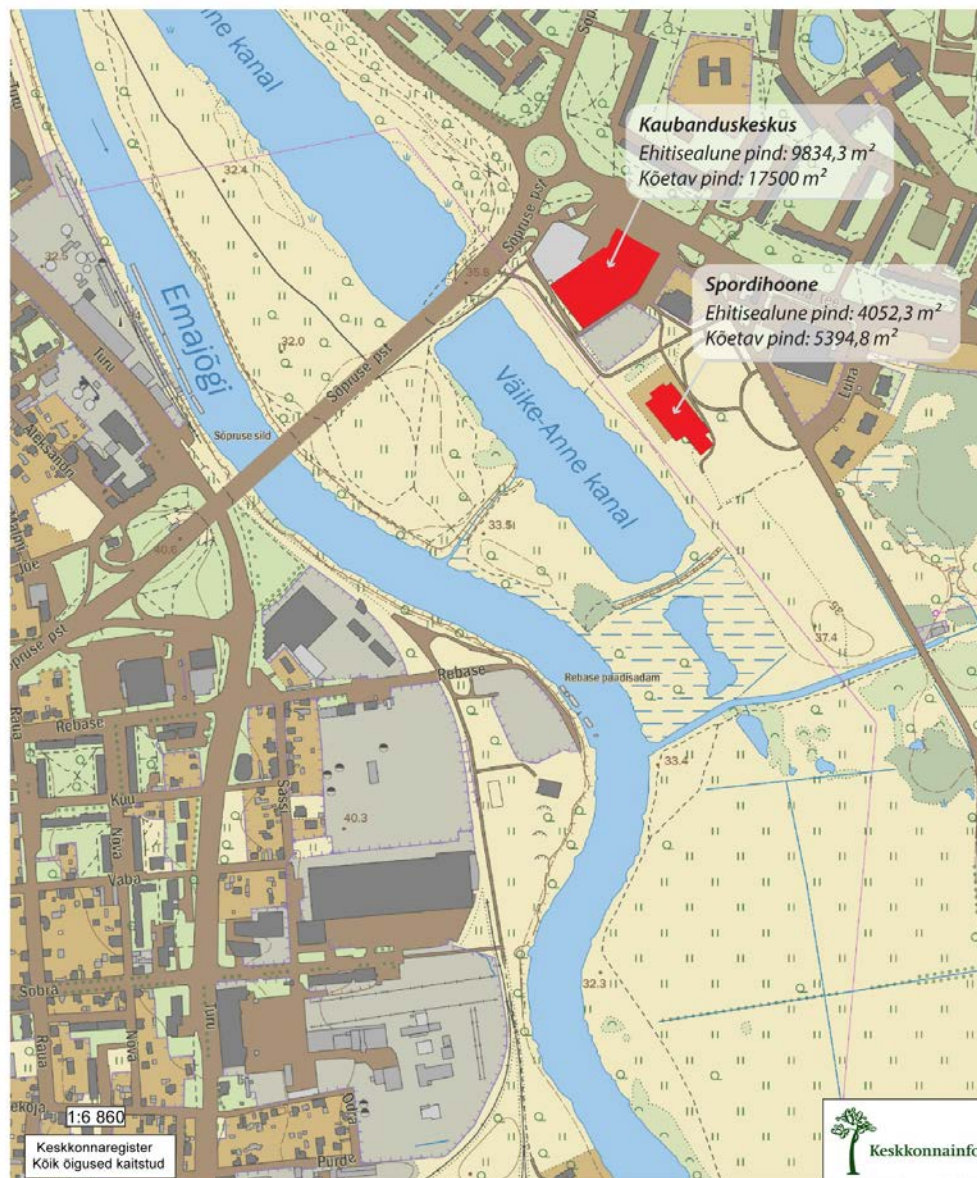
Hoonete küttevajaduseks on sarnaselt teistele autoritele võetud 80 W/m^2 (Hani ja Kõiv, 2012). Kaubanduskeskuse alune pind on Ehitisregistri (2015) andmetel $9834,3 \text{ m}^2$ ja köetav pind 17500 m^2 . Selle soojusvajaduseks võib lugeda 1400 kW. Spordihoone on $4052,3 \text{ m}^2$ põhjapindalaga, mille köetav pind on $5394,8 \text{ m}^2$ ja viimase keskmiseks küttevajaduseks on arvestatud 432 kW.

Fortum Tartu (2015) andmete põhjal müüdi eelmisel aastal 542 GWh soojusenergiat, mis teeb keskmiseks võimsuseks 62 MW. Emajõest saadavad võimsused jäävad juba mõne kraadi eraldamisel sarnasesse suurusjärku. Avatud süsteemi asemel suletud süsteemi eelistades oleks ka kesktalvel (jaanuaris-veebruaris) võimalik jõest soojust ammutada. Seega pakuks Emajõgi soojusallikana arvestatavat alternatiivi muudele senikasutatavatele allikatele.

Väike-Anne kanalit kogu kütteperioodi vältel kasutades samasuguseid väärtusi ei anna. Siis jäävad keskmised võimsused alla paarisaja kilovati, mis ei rahulda isegi veekogu kõrval

paiknevate kaubanduskeskuse ja spordihoone vajadusi. Spordihoone tarbeks oleks mõeldav Väike-Anne kanali rakendamine kuni mõneks kuuks.

Kaubanduskeskuse arvestuslik soojavajadus on mitu korda suurem kui Väike-Anne kanalist võimalik saada. Sellegi poolest, kui otsida alternatiivi, pakub Emajõgi selle võimaluse mõlemale hoonele.



Joonis 7. Töös käsitletud hoonete paiknemine veekogude suhtes koos ehitisaluste- ja kõetavate pindadega. (Keskkonnaregister, 2015; Ehitisregister, 2015)

4. JÄRELDUSED

Tartus on kaks veekogu, Väike-Anne kanal ja Emajõgi, mida võiks kasutada energiaallikana. Arvutustulemustes selgus, et Väike-Anne kanalist saadavad võimsused on võrdlemisi väikesed, et pakkuda lisa linna soojamajandusele. Samuti ei taga antud veekogu suurema küttenõudlusega, selles näites 17500 m² suuruse köetava pinnaga hoone soojavajadusi. Mingisugust alternatiivi pakuks veekogu väiksema vajadusega hoonele.

Soojusallikana on aga märkimisväärselt võimekam Emajõgi, kust saadavad võimsused on võrreldavad praeguse linna nõudlusega. Veekogu suurimaks miinuseks on selle nulli-lähedane temperatuur kõige külmematel kuudel, kui sooja nõudlus on kõige suurem. Iseenesest ei ole see takistuseks pakkumaks alternatiivi. Perioodil, mil veekogus ei ole soojuspumba süsteem rakendatav, saab minna üle juba kasutatavatele soojusallikatele.

On olemas lahendused, mis võimaldaksid kasutada veekogu soojust ka nulli-lähedastel temperatuuridel. Kuid kuna talve perioodil on vee temperatuur väga madal, seega eraldada saaks küllaltki vähe soojust ning võimalik jää teke vähendaks efektiivsust veelgi, ei pruugi ka suletud süsteem vajalikul määral toimida. Vastavate võimsuste saamiseks vajalike tehniliste lahenduste ja majanduslik tasuvus vääriks täiendavat uurimist.

Üldisemas plaanis sõltub soojussüsteemi rakendatavus Eesti kliimatilistes tingimustes konkreetsest veekogust ning selle omadustest. Piisava vee juurdevooluga ning suurema mahuga veekogudes näib soojussüsteem olevat täiesti rakendatav.

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös uuriti Tartu veekogude põhjal pinnaveel põhinevate soojussüsteemide rakendatavust Eesti kliimaatilistes tingimustes. Selleks võrreldi Emajõe temperatuuri režiimi Lennusadama soojussüsteemi allika, Tallinna lahe merevee temperatuuridega ning arutati veekogude soojuspotentsiaalid arvestades veekogude temperatuure ja mahte. Saadud võimsusi vaadeldi nii Tartu linna soojamajanduse kui ka üksikute hoonete soojavajaduse kontekstis.

Tulemustes selgus, et Väike-Anne kanalist saadavad keskmised võimsused tagavad parimal juhul mõne väiksema hoone soojavajadused. Linna soojamajandusele konkreetne veekogu märkimisväärset lisa ei anna.

Emajõest saadavad võimsused on üldjuhul võrreldavad linna soojanõudlusega. Suurimaks piiranguks süsteemi rakendamisele on jõevee nulli-lähedane temperatuur kõige külmematel kuudel, kui soojanõudlus on enamasti kõige suurem. Kogu soojamajandust arvestades ei ole see aga takistuseks pakkumaks alternatiivi ülejäänud perioodidel. Kui soojuspumba süsteem ei ole rakendatav, saab üle minna teistele soojusallikatele.

Üldiselt võib öelda, et soojussüsteem Eesti kliimas on rakendatav, kuid iga veekogu puhul tuleks vaadelda eraldi selle temperatuuri režiimi, vee juurdevoolu ja mahtu.

Assessment of applicability of surface water source heat pump system in Estonian climate based on water bodies in Tartu

Lii Vammus

The present work investigates applicability of surface water heating systems in Estonian climate, based on Tartu water bodies. The temperature regime of Emajõgi River was compared to harbour seawater temperature in Tallinn Bay which is the source for the heating system in Lennusadam, Estonian Maritime Museum, also energy potentials were calculated for water bodies in consideration of temperature changes and capacities. Results were discussed in context of city of Tartu, compared with conventional district heating as well as heating demand of individual buildings.

The results showed that available capacity of the Väike-Anne channel in the best case is enough only for some of the smaller buildings. Particular body of water can not contribute significantly to the city's heat demand.

Capacities coming from river Emajõgi are comparable to the city's heat demand. The biggest limitation here is the near-freezing water temperature during the coldest months, while the demand is greatest. In consideration of the whole heat management this is not an obstacle as it provides alternatives during other periods. The heat pump system can be used in combination with other sources that produce heat when heat pump production is reduced.

In general, it could be said, that water body heat pump systems are applicable in the Estonian climate, but each case should be considered separately having regard to temperature regime, the water flow and volume.

Tänuõnad

Täna juhendajat Argo Jõe lehte jagatud mõtete ja kommentaaride eest.

KASUTATUD MATERJALID:

KASUTATUD KIRJANDUS

1. AWEB Supply, 2006. Slim Jim. The Geo Lake Plate. *Online* http://www.nmdgreen.com/pdf/slimjim-heatexchanger_brochure.pdf. Vaadatud 04.05.2015.
2. Banks, D., 2012. An introduction to thermogeology: ground source heating and cooling, 2nd Edition. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, lk 43, 353–371.
3. Büyükalaca, O., Ekinci, F., Ylmaz, T., 2003. Experimental investigation of Seyhan River and dam lake as heat source–sink for a heat pump. *Energy* 28, lk 157–169.
4. Friothers AG, 2005. Värtan Ropsten – The largest sea water heat pump facility worldwide, with 6 Unitop® 50FY and 180 MW total capacity. Friothers infoleht.
5. Hani, A., Kõiv, T.-A., 2012. The Preliminary Research of Sea Water District Heating and Cooling for Tallinn Coastal Area. *Smart Grid and Renewable Energy*, 3, lk 246–252. <http://dx.doi.org/10.4236/sgre.2012.33034>.
6. Hill, A., 2012. District heating and cooling in Stockholm. Site visit to the Ropsten plant. Esitlusslaudid. *Online* http://www.geopower-i4c.eu/docs/20120503-Anders_Hill-Fortum.pdf, vaadatud 03.05.2015.
7. Järvekülg, A., 2001. Eesti jõed. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus, lk 61–63.
8. Järvet, A., 2003. Võrtsjärve hüdroloogia; Võrtsjärv: loodus, aeg, inimene, Tallinn: Eesti Entsüklopeediakirjastus, lk 141–169.
9. Kaivo, L.-L., 2012. Eesti laevatatavad siseveeteed: Emajõgi. *Eesti Loodus*, 9. *Online* http://www.loodusajakiri.ee/eesti_loodus/artikkel4784_4760.html, vaadatud 29.03.2015.

10. Kindaichi, S., Nishina, D., Wen, L., Kannaka, T., 2014. Potential for using water reservoirs as heat sources in heat pump systems. *Applied Thermal Engineering*, 76, lk 47–53.
11. Kobras AS, 2014. Anne kanal I seisundi uuring suplusvee kvaliteedi tagamiseks. *Keskkonnauuring*, lk 5–7.
12. Kõiv, T., Ott, I., 2011. Sissejuhatus järveteaduse alustesse ja järvede tervendamisse. *Järvede tervendamine. Kogumik, Eesti Maaülikooli põllumajandus- ja keskkonnainstituudi limnoloogiakeskus. Online*
<http://pk.emu.ee/struktuur/limnoloogiakeskus/teadustoo/publikatsioonid/jarvede-tervendamine-kogumik/> , vaadatud 31.03.2015.
13. Kõrs, A., Vilbaste, S., Käiro, K., Pall, P., Piisoo, K., Truu, J., Viik, M., 2012. Temporal changes in the composition of macrophyte communities and environmental factors governing the distribution of aquatic plants in an unregulated lowland river (Emajõgi, Estonia). *Boreal Environment Research*, 17, lk 460–472.
14. Liblik, T., Lips, U., 2011. Characteristics and Variability of the Vertical Thermohaline Structure in the Gulf of Finland in Summer. *Boreal Environment Research*, 16, lk 73–83.
15. Maastik, A. 2008. *Hüdroloogia ja hüdromeetria. Lühikursus*. Tartu: Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut, Veemajanduse osakond, lk 48.
16. Mitchell, M.S., Spitler, J.D., 2013. Open-loop direct surface water cooling and surface water heat pump systems – A review. *HVAC&R Research*, 19, lk 125–140.
17. Morton, A.C. 2013. Assessing the performance of a reservoir-based water source heat pump, A thesis submitted in partial fulfilment for the requirement of the degree Master of Science. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Strathclyde Engineering, lk 10, 63–64.

18. Napits, R., 2010. Emajõe navigatsioonitingimused. Bakalureusetöö, juhendaja Järvet, A., Loodus- ja tehnoloogiateaduskond, Tartu Ülikool, lk 7.
19. Nowacki, J.-E., 2014. Large Water Source Heat Pumps – The Swedish Experience. Esitlusslaidid. *Online*
<http://www.gshp.org.uk/DeMontfort/LargeWaterSourceHeatPumpsSwedish.pdf>,
vaadatud 12.05.2015.
20. Omer, A. M., 2008, Ground-source heat pumps systems and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, lk 344–371.
21. Ott, I., Kõiv, T., 1999, Eesti väikejärvede eripära ja muutused, Tallinn, lk 10.
22. RETScreen International Clean Energy Decision Support Centre, 2005. Ground-Source heat pump project, Clean energy project analysis: RETScreen engineering and cases textbook, lk 9.
23. Said, S.A. M., Habib, M .A., Mokheimer, E.M.A., Al-Shayea, N., Sharqawi, M., 2009. Horizontal Ground Heat Exchanger Design for Ground-Coupled Heat Pumps. King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran Saudi Arabia.
24. Sarbu, I., Sebarchievici, C., 2014. General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings. Energy and Buildings, 70, lk 441–454.
25. Terviseamet, 2011. Anne kanali suplusvee profiil. Lk 10.
26. Vahter, M., 2014. Õhk-vesisoojuspumbad kortermajades. Suured originaalsete SP-küttelahendustega objektid. OÜ AIT-Nord, ettekande slaidid.
27. Wang, Y., Wong, K. K.L., Liu, Q., Jin, Y., Tu, J., 2012. Improvement of energy efficiency for an open-loop surface water source heat pump system via optimal design of water-intake. Energy and Buildings, 51, lk 93–100.

INTERNETI ALLIKAD

28. Ehitisregister, <https://www.ehr.ee/>, vaadatud 27.04.2015.

29. Fortum Tartu, <http://www.fortumtartu.ee/>, vaadatud 27.04.2015.

30. Keskkonnaregister, <http://register.keskkonnainfo.ee>, vaadatud 28.03.2015.

31. Martin Energetics koduleht, <http://www.martinenergetics.com/>, vaadatud 12.05.2015

TEISED ALLIKAD

32. Keskkonnaagentuur, Tartu (Kvissental) seirejaama andmed Emajõe kohta. Andmed seisuga 24.02.2015

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Lii Vammus

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

Eesti kliimaatilistes tingimustes pinnavee soojussüsteemi rakendatavuse hindamine Tartu veekogude põhjal

mille juhendaja on Argo Jõelett

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 lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 15.05.2015