



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Salla Ruhanen

Kelluvien uima-altaiden energiankulutus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

06.10.2020

Tekijä Otsikko	Salla Ruhanen Kelluvien uima-altaiden energiankulutus
Sivumäärä Aika	40 sivua + 1 liitettä 6.10.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	energiatuotantomenetelmät
Ohjaajat	lehtori Kaj Lindedahl pääinsinööri Kimmo Saharinen projektipäällikkö Vili Tuomisto
<p>Insinöörityön aihe oli kelluvien uima-altaiden energiankulutus. Tavoitteena oli selvittää kelluvien uima-altaiden energiankulutusta Helsingin Allas Sea Poolin 25 metrisen lämminvesialtaan avulla. Työ toteutettiin empiirisellä sekä teoreettisella tutkimusmenetelmällä. Insinöörityö on toteutettu yhteistyössä Bluet Oy:n kanssa.</p> <p>Insinöörityö aloitettiin perehtymällä Allas Sea Pool -merikylpylän ja uimahallin eroihin energiankulutuksessa. Tämän jälkeen tutkimusmenetelmien pohjalta kelluvien uima-altaiden energiankulutus jaettiin kolmeen osa-alueeseen: kelluvien uima-altaiden lämmitys, allasrakenteiden energiahäviöt ja kelluvien uima-altaiden pinnalta tapahtuva haihdunta. Uima-altaiden lämmitys ratkaistiin termodynamiikan lämpövirran kaavan sekä ultraääni-virtausmittarin avulla. Allasrakenteiden energiahäviöiden tutkimisessa hyödynnettiin seinämän U-arvoja. Viimeiseksi tutkittiin laskennallisesti haihdunnan vaikutusta kelluvien uima-altaiden kokonaisenergiankulutukseen. Haihdunnan tutkimuksessa oleellisiksi tekijöiksi osoittautuivat hydrologiset mallit, säätiedot sekä ilmastoon vaikuttavat ympäristötekijät.</p> <p>Työn tulokseksi saatiin kelluvien uima-altaiden hetkellisen kokonaisenergiankulutuksen laskentamalli eri kokoluokan ja varustelutason kelluille uima-altaille. Tulokset pääteltiin valideiksi, kun energiankulutusta vertailtiin Allas Sea Pool -merikylpylän kokonaisenergiankulutukseen. Työn tuloksia voidaan hyödyntää kelluvien uima-altaiden energiankulutuksen jatkotutkimuksissa, esimerkiksi vuosikulutuksen seurannassa.</p>	
Avainsanat	kelluva uima-allas, energiankulutus, Allas Sea Pool

Author Title	Salla Ruhanen Energy consumption of floating pools
Number of Pages Date	40 pages + 1 appendices 6 October 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and environmental technology
Professional Major	Energy production methods
Instructors	Kaj Lindedahl, Lecturer Kimmo Saharinen, Chief Engineer Vili Tuomisto, Project Manager
<p>The topic of the thesis was energy consumption of floating pools. The aim was to study the energy consumption of floating pools with the help of Helsinki Allas Sea Pool's twenty-five-meter hot water pool. The thesis was carried out by using empirical and theoretical research methods. The thesis has been carried out in cooperation with Bluet Oy.</p> <p>The thesis began with the examination of differences in energy consumption between Allas Sea Pool's and an indoor swimming pool. After this, based on the research methods, energy consumption of floating pools was divided into three areas: heating of floating pools, energy losses of the structures of floating pools, and evaporation from the surface of floating pools. Swimming pool's heating was solved using both thermodynamics' heat flux formula and an ultrasonic flow meter. The U-values of the wall were utilized in the study of the energy losses of pool structures. Finally, the effect of evaporation on total energy consumption of floating pools as researched computationally. Hydrological models, meteorological data, and environmental factors affecting the climate proved to be essential factors in the study of evaporation.</p> <p>The result of the thesis was a calculation model of the instantaneous total energy consumption of floating pools for floating pools of different sizes and with different equipment levels. The results were concluded to be valid when comparing energy consumption with the total energy consumption of the Allas Sea Pool. The results of the thesis can be utilized in further studies of the energy consumption of floating swimming pools, for example in the monitoring of annual consumption.</p>	
Keywords	floating pool, energy consumption, Allas Sea Pool

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Uimahallien energiankulutuksen käyttökohteet	2
2.1	Allasveden ja allastilan lämmitys	2
2.2	Lämmityksen lämmönlähteet	3
2.3	Uimahallien kaukolämmön ympäristövaikutukset	4
2.4	Uima-altaiden veden käsittely	6
2.5	Uimahallien energiatehokkuus	7
3	Kelluvien uima-altaiden energiankulutuksen tutkimus	8
3.1	Allas Sea Pool -merikylyplä	8
3.2	Kelluvien uima-altaiden lämmitys	9
3.3	Allasrakenteiden energiahäviöt	10
3.4	Pinnan haihdunta	12
4	Hydrologian perusteet	13
4.1	Veden ominaisuudet	13
4.2	Haihdunnan fysiikka	14
4.3	Haihdunnan määrittäminen laskennallisin menetelmin	16
4.4	Potentiaalinen haihdunta	16
4.5	Haihdunnan jakautuminen alueellisesti maapallolla	19
5	Mittausten suunnittelu ja käytetyt mittalaitteet	20
5.1	Tutkimusmenetelmät	20
5.2	PT878-ultraääni-virtausmittari	20
5.3	PT878-virtausmittarin ohjelmointi	22
5.3.1	Anturi valinnan ohjelmointi-ikkuna	23
5.3.2	Putkiominaisuuksien ja päällysmateriaalin ohjelmointi-ikkuna	23
5.3.3	Virtaavaan nesteeseen ja liikeradan tietojen ohjelmointi-ikkunat	25
5.4	Mittausten toteutus	26

6	Laskentamalli	28
6.1	Kelluvan uima-altaan lämmitys	28
6.2	Kelluvan uima-altaan energiahäviöt	30
6.3	Kelluvan uima-altaan pinnalta tapahtuva haihdunta ja säähavainnot	31
7	Yhteenveto	33
7.1	Insinööriyössä toteutetut virtausmittaukset	34
7.2	Kelluvan uima-altaan energiahäviöiden selvitys	35
7.3	Luotettavien säätilastojen vaikutus työn onnistumisen kannalta	36
8	Kehitysideat	37
	Lähteet	38

Liite 1. Helsingin sään hetkellishavaintojen keskiarvot 27.5.–25.6.2020.

1 Johdanto

Insinööriyön aihe oli kelluvien uima-altaiden energiankulutus. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kelluvien uima-altaiden energiankulutusta esimerkkikohteen avulla. Energiankulutuksen tutkimuksen pohjalta oli tarkoitus luoda energiankulutuksen laskentamalli eri kokoluokan ja varustelutason kelluville uima-altaille. Energiankulutuksen tutkimuksessa otettiin huomioon energiankulutukseen vaikuttavat rakenteelliset ja ulkoiset tekijät. Esimerkkikohteenä insinööriyössä hyödynnettiin Helsingin Allas Sea Poolin 25 metrin lämminvesiallasta, jossa on ympärivuotinen lämmitys.

Helsingin Kauppatorin viereen syksyllä 2016 valmistunut Allas Sea Pool -merikylpylä on teknisenä ratkaisuna ainutlaatuinen kokonaisuus. Kylpylän kelluvan osan rakennusurakasta vastasi Marinetek Finland Oy yhdessä Bluet Oy:n kanssa. [Hirvonen 2020.] Bluet on kelluvan rakentamisen ratkaisuihin erikoistunut itsenäinen suomalainen yhtiö, joka on perustettu vuonna 2016 [Bluetin tarina]. Teknisistä ratkaisuista huolimatta Allas Sea Pool -merikylpylän energiankulutusta voidaan vertailla uimahallien ja maauimaloiden energiankulutukseen. Allas Sea Pool -merikylpylän erikoisuudet energiankulutuksessa ovat ulkoaltaiden ympärivuotinen käyttö ja lämmitys sekä rakenteiden vaikutus kelluviin uima-altaisiin.

Insinööriyössä kelluvien uima-altaiden energiankulutusta on selvitetty empiirisellä tutkimuksella. Ennen tutkimuksen kokeellista vaihetta työssä on tutustuttu uimahallien energiankulutuksen käyttökohteisiin, kelluvien uima-altaiden lämmityksen, allasrakenteiden energiahäviöiden sekä haihdunnan teoriaan ja hydrologian perusteisiin. Näiden tietojen pohjalta on tehty empiirinen tutkimus sekä laskentamalli.

2 Uimahallien energiankulutuksen käyttökohteet

2.1 Allasveden ja allastilan lämmitys

Uimahalli on ympärivuoden käytössä oleva uintiurheilun ja -liikunnan liikuntapaikka, jossa on ensisijaisesti otettu huomioon uimaopetuksen, kuntouinnin, uintiurheilun sekä erityisryhmien tarpeet [Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu 2009: 1]. Miellyttävä ja turvallinen uintikokemus taataan erilaisten ohjeistuksien, asetuksien ja lakien mukaan.

Uimahalleilla on suuri tehon ja energian tarve, joka johtuu ympärivuotisesta allastilojen sekä uima-altaiden lämmityksestä. Uimahallin allasosaston sisäilman lämpötila onkin käytännössä ympäri vuoden ulkoilmaa lämpimämpää, joten uimahallin tuloilmaa on lämmitettävä jatkuvasti enemmän tai vähemmän [Uimahalliportaalin energiatehokkuuden parantamisen osio: 33]. Allastilojen peruslämmitys toteutetaan usein ilmanvaihtoon yhdistettynä ilmalämmityksenä. [Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu 2009: 12]. Ilmanvaihtoon yhdistetty lämmöntalteenoton toiminta on kuvattu yksinkertaisesti kuvassa 1.



Kuva 1. Ilmanvaihtoon yhdistetty lämmöntalteenotto [Heat Recovery Ventilation].

Allastilojen lämmitys on yhteydessä uima-altaiden lämpötilaan sekä haihduntaan, sillä ohjearvo uimahallien pääaltaiden veden lämpötilalle on +26...+28 °C. Veden haihtumisen vähentämiseksi altaista ja uimareiden iholta valitaan allastilan lämpötila korkeammaksi kuin allasveden lämpötila. Vähäisempi haihtuminen pienentää allastilan ilmanvaihdon tarvetta ja sitä kautta energiankulutusta. [Uimahallien ja virkistysuimaloiden

LVIA-suunnittelu 2009: 3.] Käyttäjien vähäisempi veden haihtuminen iholta koetaan myös parempana viihtyvyytenä siirryttäessä suihkuista altaaseen tai altaista suihkutiloihin.

2.2 Lämmityksen lämmönlähteet

Uima-allasvesi lämmitetään usein kaukolämmöllä tai sähköllä. [Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu 2009: 13]. Kaukolämpöä tai aluelämpöä tulisi käyttää aina ensisijaisena ulkopuolisena lämmönlähteenä mahdollisuuksien mukaan. Ellei kaukolämpöä ole saatavilla, lämpö tuotetaan omalla tai vuokratulla lämpökeskuksella. Kaukolämmön toiminta on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. Kaukolämpöveden matka voimalaitokselta kiinteistöjen lämmönjakokeskuksiin [Ryynänen].

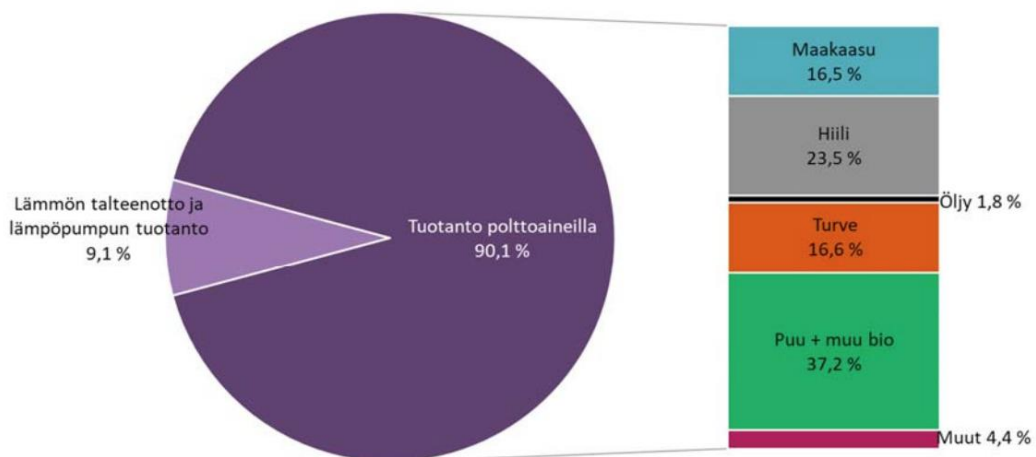
Energialähteen valinta tulee tehdä paikallisten olosuhteiden mukaan. Öljyyn perustuvia ratkaisuja suositellaan vain lyhytaikaisiksi ratkaisuiksi. [Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu 2009: 12.] Suoran sähkölämmityksen käyttö ei ole uimahallien suursta tehon ja energian tarpeesta johtuen suositeltavaa. Sen sijaan sähkön käyttöä lämpöpumppuratkaisuissa on syytä tutkia. [Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu 2009: 12.] Aurinkoenergian käyttö ympärivuotisessa käytössä olevassa uimahallissa

tulee kysymykseen lähinnä lisäenergiälähteenä. Sen kannattavuutta on syytä tarkastella tapauskohtaisesti ottaen huomioon sen vaatiman varaenergiajärjestelmä. Kesäkäyttöisissä uimaloissa aurinkoenergian käyttö saattaa olla perusteltua allasvesien lämmityksessä. [Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu 2009: 13.]

2.3 Uimahallien kaukolämmön ympäristövaikutukset

Aiemmin todettiin, että uima-allasvesi lämmitetään yleensä kaukolämmöllä. Kaukolämmön käyttöä uima-allasvesien lämmityksessä suositellaan uimahallin korkean energiankulutuksen vuoksi. Tällöin suurimmat energiankulutuksesta johtuvat ympäristövaikutukset syntyvät kaukolämmöstä.

Kaukolämmön polttoaineet ovat paikkakunta- ja tuotantolaitoskohtaisesti puu tai muu biomassa, kivihiili, maakaasu, turve, jäte tai öljy. Polttoaineen valinnassa huomioidaan toimitusvarmuus, kokonaistaloudellisuus ja ympäristövaikutukset. [Kaukolämpö tuotetaan lähellä asiakasta.] Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden suhteelliset osuudet vuonna 2018 on osoitettu kuvassa 3.



Kuva 3. Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden suhteelliset osuudet vuonna 2018 Suomessa [Kaukolämpötilastot 2018].

Kaukolämpöä tuotettiin 54,8 % tuotannon polttoaineista (90,1 %) uusiutumattomilla polttoaineilla vuonna 2018. Kivihiilen osuus oli 23,5 %. Kivihiilen energiankäyttö tullaan kuitenkin kieltämään lailla vuonna 2029 [Kivihiilen energiankäytön vuonna 2029 kieltävä laki voimaan huhtikuun alussa 2019]. Lain tuomilla muutoksilla kaukolämmön ympäristövaikutukset pienenevät kivihiilen osalta ja samalla myös uimahallien ympäristövaikutukset tulevat laskemaan niissä halleissa, joiden kaukolämmön tuotantoon on käytetty kivihiiltä.

Kaukolämpöratkaisuja voidaan toteuttaa myös kiertotalouden avulla. Kaukolämmön hiilidioksidipäästöjä vähennetään yleensä sähkön ja lämmön yhteistuotannolla. Kuvassa 4 näytetään kaukolämmön tuotantoa uusiutuvilla energiantuotantomenetelmillä. [Kaukolämmön ABC.]

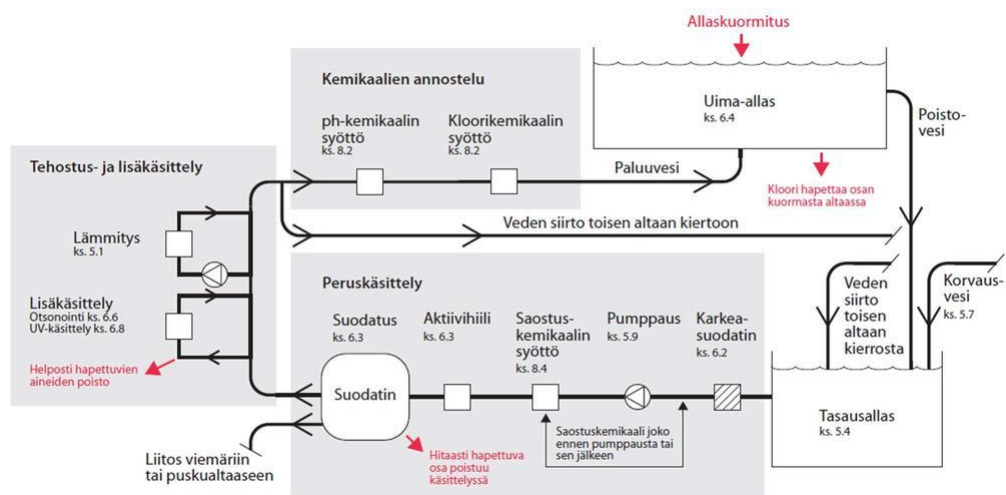


Kuva 4. Kaukolämmön kierto uusiutuvilla energiantuotantomenetelmillä [Kaukolämmön ABC].

Uimahallien osalta on kuitenkin vaikea suoraan vaikuttaa kaukolämmön ympäristövälillisyyteen, sillä kaukolämmön ympäristövaikutukset riippuvat lämmöntoimittajasta. Yksittäiset asiakkaat, esimerkiksi uimahallit, eivät pysty neuvottelemaan hintoja tai toimintusehtoja tai valitsemaan lämmöntoimittajaa [Kohlmann 2020].

2.4 Uima-altaiden veden käsittely

Uima-altaiden veden käsittelyssä hyödynnetään sähköenergialla toimivia prosessilaitteita. Veden käsittely on prosessi, jossa vettä johdetaan jatkuvasti käsittelyyn ja sieltä takaisin uima-altaisiin. Veden kierrätysvirtaama riippuu allastyypistä ja koosta. Kierrätyksen yleisperiaatteena on, että kovankin kuormituksen aikana jokaista uimaria kohden puhdistetaan riittävästi vettä. Kuvassa 5 on esimerkkikaavio uima-altaiden vedenkäsittelyn yleisperiaatteiden soveltamisesta. [Uima-allasvesien käsittely 2019: 7.]



Kuva 5. Uima-altaiden vedenkäsittely. Kuvassa 2 punaisella on merkitty allaskuormitus ja sen poistaminen eri vaiheissa. Kuvassa näkyvät viittaukset ovat RT 103095 -kortista. [Uima-allasvesien käsittely 2019: 7.]

Vedenkäsittelyn yksikköoperaatiot ja -prosessit jaetaan niiden toiminnan ja tavoitteiden perusteella seuraaviin pääryhmiin: peruskäsittely, tehostus- tai lisäkäsittely ja kemikaalien annostelu. [Uima-allasvesien käsittely 2019: 7.] Tiivistettynä vedenkäsittelyn vaiheet on kuvattu seuraavassa kappaleessa.

Veden kierto altaassa järjestetään niin sanotulla sekoittumisperiaatteella, jolloin tulevan veden tulee sekoittua mahdollisimman nopeasti koko altaan vesimassaa. Veden poiston tulee tapahtua mahdollisimman tasaisesti koko altaan pinnalta. Vesi puhdistetaan pääosin veden kierron yhteydessä vedenkäsittelyjärjestelmässä. Hygieenisyyden turvaamiseksi allasvedessä tulee aina olla vapaata klooria, joka tuhoaa mahdollisimman nopeasti uimareista allasvedeen tulevat bakteerit ja muut eliöt. Uimareista tulevat lika-aineet

ovat pääasiassa veteen liukenevia, mutta mukana on myös kolloidisia aineita. Kolloidiset aineet poistetaan tehokkaimmin saostusta ja suodatusta käyttäen. [Uima-allasvesien käsittely 2019: 7.] Veden käsittelyn prioriteetit ovat aina ensimmäisenä puhtaassa allasvedessä, jossa uimarit voivat uida turvallisesti. Puhdas allasvesi on määritelty erilaisten ohjeistuksien, asetuksien ja lakien mukaan. Vasta tämän jälkeen voidaan tarkastella prosessilaitteiden energiankulutusta.

2.5 Uimahallien energiatehokkuus

Uimahallien energiatehokkuutta seurataan kuukausitasolla. Uimahallien kuukausitason seuranta koostuu kaukolämmön, sähkön ja veden kulutuksien kuukausiarvojen seurannasta. [Uimahalliportaalin energiatehokkuuden parantamisen osio: 4.] Kaukolämmön, sähkön ja veden kulutus voidaan jakaa taulukon 1 mukaisiin tekijöihin.

Taulukko 1. Uimahallin kokonaisenergiankulutuksen tekijät [Hemmilä & Laitinen 2018: 12, muokattu].

Kaukolämmön kulutus	Sähkön kulutus	Veden kulutus
Rakennuksen koko	Kosteuden poistaminen huoneilmasta	Kävijämäärä (henkeä/vrk) ja käyttöaika (h/vrk)
Rakennuksen vaipan eristävyys	Ilman vaihto	Altaiden koko
Altaiden ja huoneilman lämpötila	Veden pumppaus	Kävijöiden peseytyminen
Altaiden koko	Veden suodatus, desinfiointi ja vaihto	
	Valaistus	
	Kävijöiden saunominen	

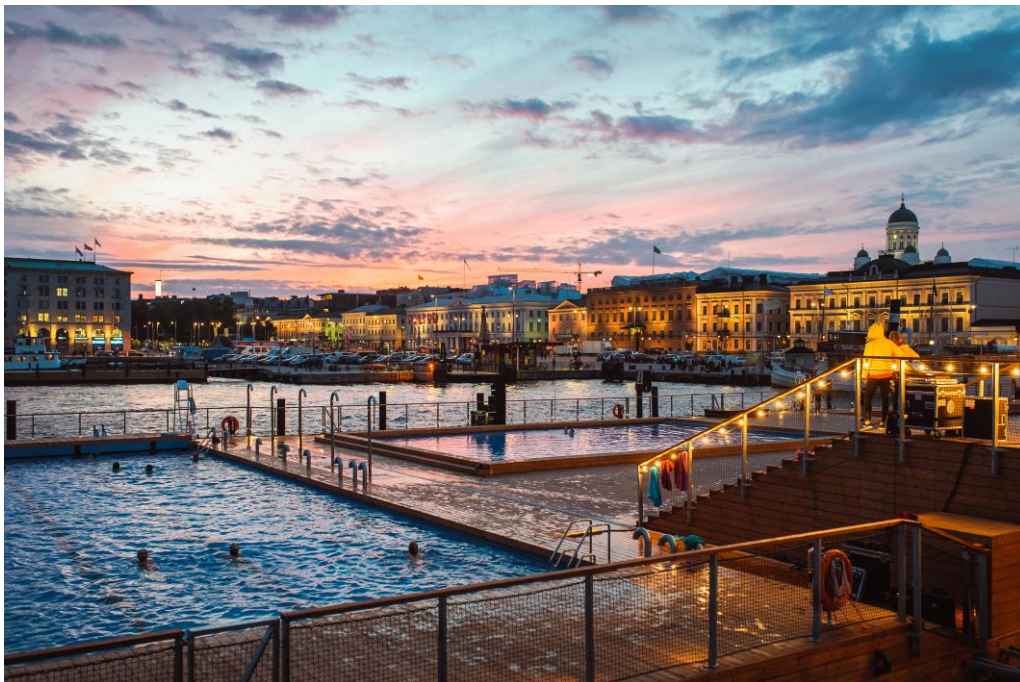
Kaukolämmön energian kulutus on yleensä uimahallien kohdalla suurempi kuin sähkön kulutus, joten sen kulutustiedot kuvaavat paremmin uimahallin kokonaisenergiatehokkuutta. Kaukolämmön ja sähkön kuukausittaiset kulutustiedot ovat saatavissa paikallisilta voimayhtiöiltä. [Uimahalliportaalin energiatehokkuuden parantamisen osio: 4].

Sähkön ja veden suurimmat energiankulutuskohteet löytyvät uima-altaiden veden käsittelystä. Sähköä ja vettä kuluu myös kävijöiden peseytymisen sekä saunomisen yhteydessä. Muita sähkön kulutuskohteita ovat valaistus sekä koneellinen ilmanvaihto.

3 Kelluvien uima-altaiden energiankulutuksen tutkimus

3.1 Allas Sea Pool -merikylpylä

Insinööriyössä tutkittiin Allas Sea Pool -merikylpylässä olevien kelluvien uima-altaiden energiankulutusta. Merikylpylän kokonaisenergiankulutus eroaa uimahallien sisäaltaiden energiankulutuksesta ympärivuotisilla ulkoaltailla (kuva 6).



Kuva 6. Allas Sea Pool -merikylpylän kelluvat uima-altaat [Kuvat medialle].

Kelluvien uima-altaiden energiankulutuksessa on tutkittu seuraavien tekijöiden vaikutusta:

- altaiden koko
- altaiden lämpötila
- altaiden rakennusten eristävyys
- veden pumppaus
- veden suodatus, desinfiointi ja vaihto
- peite.

Allas Sea Pool -merikylpylässä on kolme erilaista uima-allasta, jotka eroavat toisistaan sekä koon että lämpötilan osalta. Allas tiedot on kuvattu taulukossa 2.

Taulukko 2. Allas Sea Pool -merikylpylän kelluvien altaiden allastiedot

allastyyppi	lämmitys	koko	lämpötila	vesi
makeavesiallas	lämmitetty	25 m x 15 m	27 °C	vesijohtovesi
lastenallas	lämmitetty	17 m x 11 m	27 °C	vesijohtovesi
merivesiallas	-	25 m x 12 m	-	suodatettu merivesi

Allas Sea Pool -merikylpylän energiankulutusta voidaan tarkastella kelluvien uima-altaiden osalta, kun tunnetaan allastiedot. Työn esimerkki altaana käytetään lämmitettyä makeavesiallasta (25 m x 15 m), kun selvitetään lämmitettyjen kelluvien uima-altaiden energiankulutusta.

3.2 Kelluvien uima-altaiden lämmitys

Altaiden lämmittäminen lämmönvaihtimella on suurimpia energiankuluttajia kelluvissa uima-altaissa. Tämän vuoksi allaslaitteiden sähkön kulutus voidaan jättää myöhemmälle tarkastelulle laskettaessa kelluvien uima-altaiden kokonaisenergiankulutusta. Lämmitettyjen altaiden kokonaisenergiankulutusta lasketaan lämpövirran kaavalla 1 [Mäkelä ym. 2018: 111].

$$\Phi = q_m c_p \Delta T \quad (1)$$

Φ on uima-altaan lämpövirta eli lämpöteho (W)

q_m on veden massavirta ($\frac{kg}{s}$)

c_p on veden ominaislämpökapasiteetti ($\frac{kJ}{kg^\circ C}$)

ΔT on veden lämpötilan muutos (°C).

Veden massavirta (q_m) saadaan selville massavirran kaavalla 2 [Mäkelä ym. 2018: 99].

$$q_m = \rho Av \quad (2)$$

ρ on tiheys ($\frac{kg}{m^3}$)

Av on tilavuusvirta ($\frac{m^3}{s}$).

Lämpövirran kaavalla saatua tulosta voidaan verrata Allas Sea Pool -merikylpylän kaukolämmön kulutukseen. Allas Sea Pool -merikylpylästä on valmiiksi saatavilla kaukolämmön kulutustiedot vuosilta 2017–2018, jotka antavat osviittaa nykyiselle kulutukselle. Nykykulutuksen tiedot vuodelta 2020 pyritään selvittämään työn aikana.

3.3 Allasrakenteiden energiahäviöt

Altaan seinien kautta johtumalla tapahtuva energiahäviö on yleensä vaikea arvioida. Energiahäviöön vaikuttavat seinämäpaksuudet, materiaalit ja lämpötilaero ulkopuoliseen tilaan nähden. [Uima-allasvesien käsittely 2019: 14.] Lämmitettyjen lasten- ja aikuis-tenaltaan lämmön johtumista tai siirtymistä allasrakenteista meriveteen tarkastellaan seinämän U-arvojen avulla ja lasketaan kaavalla 3 [Mäkelä ym. 2018: 111].

$$\Phi = \frac{A\theta}{R_T} \quad (3)$$

Φ on lämmön siirtyminen seinämässä (W)

A on pinta-ala (m^2)

θ on pintalämpötilojen erotus ($^{\circ}C$)

R_T on kokonaislämmönvastus.

Pintalämpötilojen erotus (θ) lasketaan kaavalla 4 [Mäkelä ym. 2018: 111].

$$\theta = T_i - T_e \quad (4)$$

T_i on lämpötila ennen rakennetta ($^{\circ}C$)

T_e on lämpötila rakenteen jälkeen ($^{\circ}C$).

Kokonaislämmön vastus (R_T) lasketaan kaavalla 5 [Mäkelä ym. 2018: 111].

$$R_T = \frac{1}{U} = R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + R_{si} \quad (5)$$

R_T on kokonaislämmönvastus

U on seinämän U -arvo

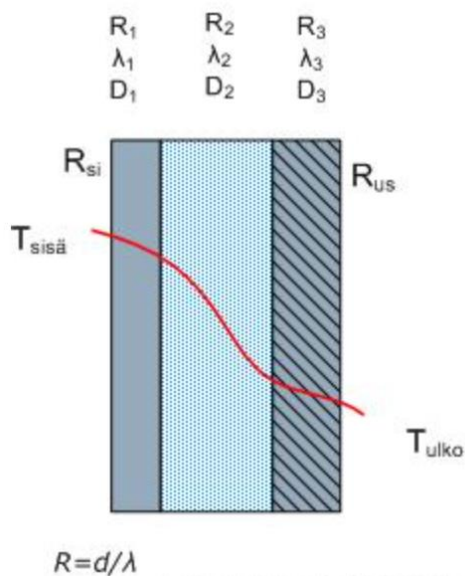
R_{se} on ainekerroksen lämmönvastus alussa (seinämän sisäpinnalla), $(\frac{m^2 K}{W})$

d_1 on ainekerroksen paksuus (m)

λ_1 on lämmönjohtavuus $(\frac{W}{m \times K})$

R_{si} on ainekerroksen lämmönvastus lopussa (seinämän sisäpinnalla), $(\frac{m^2 K}{W})$.

Esimerkkikuva 7 havainnollistaa kaavan 5 käyttöä.



Kuva 7. Lämmön siirtyminen seinämässä [Lämmönläpäisykerroin].

Energiahäviöiden synty johtuu kelluvien uima-altaiden pyrkimisestä termiseen tasapainoon ympäröivän meriveden sekä ulkoilman kanssa. Termisessä tasapainossa lämpötilat pyrkivät tasoittumaan.

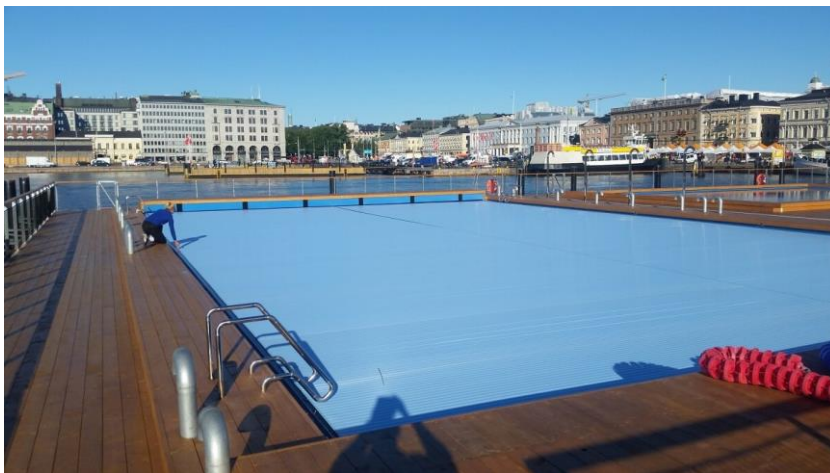
3.4 Pinnan haihdunta

Uimahalleissa allasveden jäähtyminen johtuu pääosin veden haihtumisesta allastilaan, mutta kelluvissa uima-altaissa vesi haihtuu suoraan ulkoilmaan. Haihtuminen riippuu veden lämpötilasta, ilman lämpötilasta ja kosteudesta, vesipinta-alasta, allastyypistä ja allastyypin käyttöasteesta ja mahdollisista laitteista. [Uima-allasvesien käsittely 2019: 14.]

Allas Sea Poolin kelluvissa-altaissa oleellimmat asiat haihdunnan kannalta ovat

- peite
- veden lämpötila
- ilman lämpötila
- ilman kosteus
- tuuli
- vesipinta-ala [Uima-allasvesien käsittely 2019: 15].

Allastyypissä ei ole huomion arvoisia seikkoja eikä allas sisällä erillisiä laitteita, esimerkiksi hierontalaitteita tai vesiliukumäkiä. Veden haihtumista voidaan vähentää ”lepoaikana”, jolloin altaita ei käytetä, allaspeitteillä lämpimien altaiden osalta (kuva 8) [Uima-allasvesien käsittely 2019: 15].



Kuva 8. Allaspeitteellä voidaan vaikuttaa veden haihtumisen minimointiin ”lepoaikana” [Bac Pool Systems].

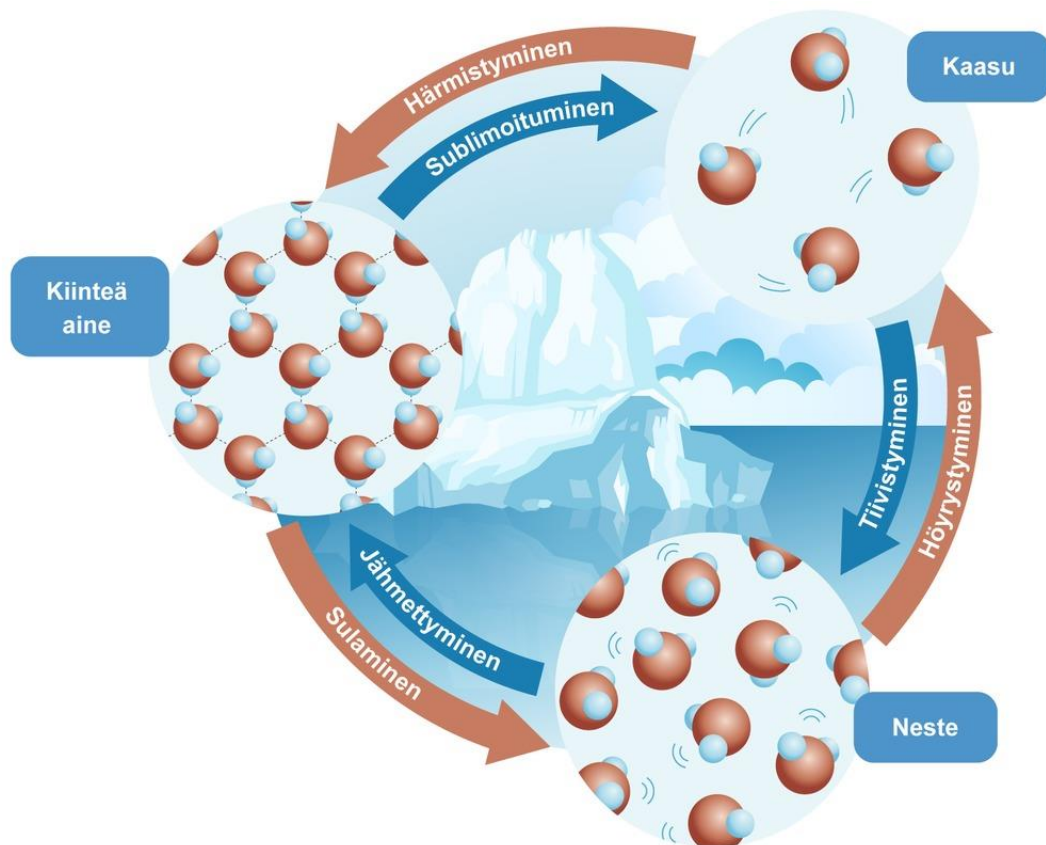
Kelluvien uima-altaiden haihdunnan tutkiminen ei ole helppoa muuttuvien sääolosuhteiden vuoksi. Haihduntaa tutkitaan hydrologian perusteiden avulla.

4 Hydrologian perusteet

4.1 Veden ominaisuudet

Hydrologia tutkii maapallon makean veden varoja ja veden kiertokulkua. Hydrologian tutkimuskohteita ovat sadanta ja haihdunta (hydrometeorologia), valunta, järvet ja joet, maaperän vesi eli maa- ja pohjavesi (geohydrologia), jäätikköhydrologia sekä nämä yhdistävä veden kiertokulku. [Leppäranta ym. 2017: 3.]

Vesi on ainoa aine, joka maapallon luonnonoloissa esiintyy kaikissa olomuodoissa: kaasumaisen, nestemäisen ja kiinteänä. Vesimolekyylit muuttuvat myös olomuodosta toiseen. [Leppäranta ym. 2017: 39.] Kuvassa 9 on esitetty veden olomuodon muutokset.



Kuva 9. Veden olomuodon muutokset [Vesi].

Veden kolmoispiste on lämpötilassa 273,16 K (0,01 °C) ja paineessa 611,73 Pa. Kolmoispisteessä faasit (olomuodot) ovat tasapainossa eli järjestelmän kaikki aine on mahdollista muuttaa kiinteäksi, nesteeksi tai kaasuksi erittäin pienellä paineen tai lämpötilan muutoksella. [Leppäranta ym. 2017: 39.]

Vesi muodostaa varastoja: meri, ilmakehä, järvet, pohjavesi, lumi ja jäätiköt [Leppäranta ym. 2017: 56]. Ilmakehä on välittömässä kytköksessä pintakerroksen vesivarastoihin. Hydrologiset mallit tarvitsevat siksi yksityiskohtaisia tietoja säästä ja ilmastosta, erityisesti lämpötilasta, kosteudesta, tuulesta ja säteilytaseesta. Auringon säteily ja lämpötila seuraavat voimakkaasti vuodenaikoja. [Leppäranta ym. 2017: 60.]

4.2 Haihdunnan fysiikka

Haihduttavan pinnan läheisyydessä ilmassa on runsaasti liikkeessä olevia vesimolekyylejä [Leppäranta ym. 2017: 79]. Pinnasta vapautuu koko ajan vesimolekyylejä ilmaan. Samaan aikaan osa vesimolekyyleistä palaa takaisin pintaa. Kun pintaan palaavien molekyylien lukumäärä on yhtä suuri kuin siitä lähtevien, ilma on haihduttavan pinnan läheisyydessä vesihöyryllä kyllästettyä ja vallitsee tasapainotila. Tarkemmin kyllästetyn vesihöyryn osapaine riippuu lämpötilan lisäksi haihduttavan pinnan kaarevuudesta sekä veden epäpuhtauksista. [Leppäranta ym. 2017: 79.]

Jotta haihduntaa voisi tapahtua, vesihöyryn osapaineen täytyy olla haihduttavan pinnan tuntumassa suurempi kuin yläpuolisessa ilmassa (kuva 10). Vesihöyryn paineen kohottaminen edellyttää, että haihduttavalle pinnalle tuodaan energiaa. [Leppäranta ym. 2017: 79.]



Kuva 10. Järven pinnalta tapahtuva haihdunta [Kelly 2015].

Kelluvien uima-altaiden tapauksessa haihtumiseen tarvittava lämpöenergia on yleensä peräisin itse haihduttavalta pinnalta eli altaasta. Tällöin haihtuminen alentaa haihduttavan alustan lämpötilaa. Jotta haihduntaa tapahtuisi jatkuvasti, vesihöyryn paine-eron alustan ja ilman välillä tarvitaan lisäksi turbulenssia, joka kuljettaa vesihöyryn alustan läheltä ylempiin kerroksiin.

Haihdunnan energiankulutus määritellään kaavan 6 mukaan [Leppäranta ym. 2017: 79].

$$Q_e = -\rho L_{E^*} E \quad (6)$$

Q_e on haihtumislämpö ($\frac{W}{m^2}$)

ρ on tiheys ($\frac{kg}{m^3}$)

L_{E^*} on höyrystymislämpö haihdunnan tapauksessa ($\frac{MJ}{kg}$)

E on haihdunta (m).

Haihdunnan arvioinnin tekee vaikeaksi se, ettei siitä saa visuaalista havaintoa toisin kuin sadannan tapauksessa. [Leppäranta ym. 2017: 80.]

4.3 Haihdunnan määrittäminen laskennallisilla menetelmin

Haihdunta tarvitsee paljon lämpöä (kaava 6), mikä tarjoaa mahdollisuuden haihdunnan arvioimiseksi. Lämpötasemenetelmässä haihdunta määritetään lämpötaseen residuaalina eli jäännöksenä. Sateen tuoma lämpö voidaan jättää pois, sillä sateen aikana ei tapahdu haihduntaa (kaava 7). [Leppäranta ym. 2017: 84.]

$$E = \frac{1}{\rho L_{E^*}} (Q_s - Q_r + Q_{La} - Q_{Lo} + Q_c - k \frac{\partial T}{\partial z} |_{z=0^-}) \quad (7)$$

ρ on ilman tiheys ($\frac{kg}{m^3}$)

L_{E^*} on höyrystymislämpö haihdunnan tapauksessa ($\frac{MJ}{kg}$)

Q_s on pintaan tuleva auringonsäteily ($\frac{W}{m^2}$)

Q_r on pinnasta heijastuva ja siroava auringonsäteily ($\frac{W}{m^2}$)

Q_{La} on ilmakehästä pintaan tuleva lämpösäteily ($\frac{W}{m^2}$)

Q_{Lo} pinnasta lähtevä lämpösäteily ($\frac{W}{m^2}$)

Q_c on aistittavan lämmön vuo ($\frac{W}{m^2}$)

k on alustan lämmönjohtokerroin ($\frac{W}{m \times K}$).

Kaikista osapuolen termeistä ei aina saada tarvittavaa tietoa, joten eri menetelmien käyttö haihdunnan selvittämiseksi ja laskemiseksi on suotavaa. Esimerkiksi Penmanin menetelmä soveltuu potentiaalisen haihdunnan selvittämiseksi, jos halutaan hyödyntää sääasemahavaintoja.

4.4 Potentiaalinen haihdunta

Haihdunta määräytyy ilman ja pinnan välisestä kosteuserosta sekä tuulen nopeudesta. Potentiaalisen haihdunnan laskemiseksi riittää tietää pinnan lämpötila, sillä pinnan kosteuden oletetaan olevan kyllästystilassa. Penmanin kaavan avulla voidaan määrittää potentiaalihaihdunta käyttäen sääasemahavaintoja. Menetelmän ideana on eliminoida pintalämpötila käyttäen kahta haihtumisyhtälöä lähtökohtana. Aerodynaamista yhtälöä

(kaava 8) käytetään vesihöyryn siirron peruskaavana, ja energiataseen pohjalta (kaava 7) tehdään korjaus pintalämpötilaan. [Leppäranta ym. 2017: 85.]

$$E = -\frac{\rho_a}{\rho} C_E (q_a - q_0) U_a \quad (8)$$

ρ_a on ilman tiheys ($\frac{kg}{m^3}$)

ρ on veden tiheys ($\frac{kg}{m^3}$)

$C_E \sim 1,5 \times 10^{-3}$ on haihtumislämmön vaihtokerroin

q_a on ilman ominaiskosteus ($\frac{g}{kg}$)

q_0 on maanpinnan kosteus ($\frac{g}{kg}$)

U_a on tuulen nopeus ($\frac{m}{s}$). [Leppäranta ym. 2017: 72.]

Aerodynaaminen yhtälö voidaan kirjoittaa kaavan 9 muodossa.

$$E = f(U_a)[e_s(T_0) - e_a] \quad (9)$$

f on tuulen funktio ($\frac{g}{m^3}$)

U_a on tuulen nopeus ($\frac{m}{s}$)

T_0 on pinnan lämpötila ($^{\circ}C$)

e_s on vesihöyryn kyllästyspaine (Pa)

e_a on vapaasti virtaavan höyryn paine (Pa).

Kaksi tarvittavaa apusuuretta Penmanin menetelmässä ovat psykrometrinen vakio $\gamma = 0,66 \text{ mbar}^{\circ}C^{-1}$ ja vesihöyryn kyllästyspaineen lämpötilaherkkyys Δ . Psykrometrinen vakio saadaan Bowenin suhteesta johtamalla, ja vesihöyryn kyllästyspaineen lämpötilaherkkyys Δ voidaan laskea kaavalla 10 [Leppäranta ym. 2017: 85].

$$\Delta = \frac{e_s(T_0) - e_s(T_a)}{T_0 - T_a} \quad (10)$$

e_s on vesihöyryn kyllästyspaine (Pa)

T_0 on pinnan lämpötila ($^{\circ}C$)

T_a on ilman lämpötila (°C).

Penmanin menetelmän antama potentiaalinen haihdunta lasketaan kaavalla 11 [Leppäranta ym. 2017: s.85].

$$\widetilde{E}_P = \frac{1}{\rho L_{E^*}} \times \frac{Q_{R0} + \gamma \Delta^{-1} f(U_a) [e_s(T_a) - e_a]}{1 + \gamma \Delta^{-1}} \quad (11)$$

ρ on ilman tiheys ($\frac{kg}{m^3}$)

L_{E^*} on höyrystymislämpö haihdunnan tapauksessa ($\frac{MJ}{kg}$)

Q_{R0} on pintaan tuleva auringonsäteily ($\frac{W}{m^2}$)

γ on psykrometrinen vakio ($\frac{mbar}{^\circ C}$)

Δ^{-1} on vesihöyryn kyllästyspaineen lämpötilaherkkyys (vakio)

f on tuulen funktio ($\frac{g}{m^3}$)

U_a on tuulen nopeus ($\frac{m}{s}$)

e_s on vesihöyryn kyllästyspaine (Pa)

T_a on ilman lämpötila (°C)

e_a on vapaasti virtavan höyryn paine (Pa).

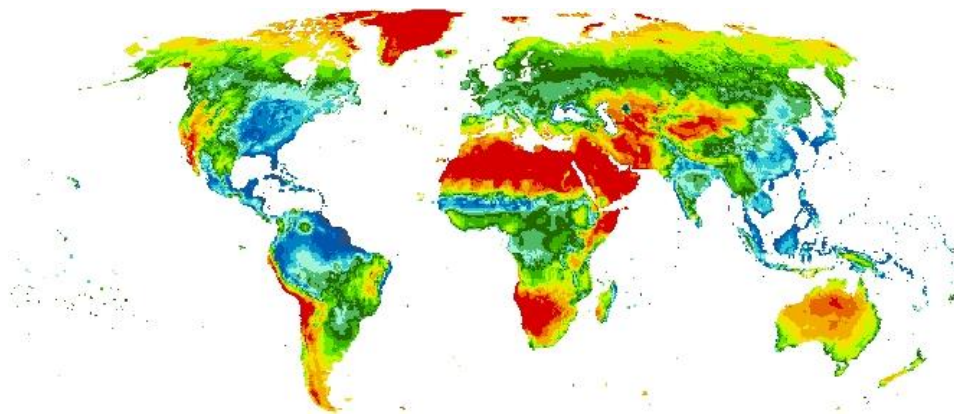
Penmanin menetelmän on usein todettu antavan ylöspäin meneviä arvioita, jotka eivät pidä paikkaansa. Tämän vuoksi Penmanin menetelmään on kalibroitu korjauskerroin (kaava 12). [Leppäranta ym. 2017: s.85.]

$$E_P = r \times \widetilde{E}_P, \quad r \approx 0,7 - 0,9 \quad (12)$$

Penmanin menetelmän käyttöä voidaan vähentää mitattaessa satelliittien avulla alustan lämpötilaa. Penmanin menetelmä on kuitenkin edelleen soveltuva lähestymistapa haihdunnan mittaamiseksi, jos hyödynnetään sääasemahavaintoja. [Leppäranta ym. 2017: s.85.] Penmanin menetelmää voidaan soveltaa ympäri maapalloa, mutta käytön helpottamiseksi on hyvä tuntea haihdunnan alueellista jakautumista maapallon eri osissa.

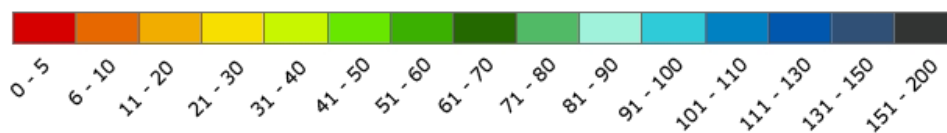
4.5 Haihdunnan jakautuminen alueellisesti maapallolla

Haihdunnan jakautuminen maapallon pinnalla riippuu käytettävissä olevasta energian määrästä ja käytettävissä olevasta vedestä [Leppäranta ym. 2017: 80]. Höyrystymisnopeuteen vaikuttavat lämpötila, auringonpaiste, tuuli ja ilman kosteus. Lämpötila ja auringon paiste ovat tärkeimpiä höyrystymisnopeuteen vaikuttavia tekijöitä. Kuvassa 11 on kuvattu haihdunnan määrä elokuussa 15 vuoden keskiarvona (1985–1999) eri puolilla maapalloa [Evporation in Average Year].



Kuva 11. Keskimääräinen haihdunta elokuussa [Evporation in Average Year].

Kuvasta 12 selviää haihdunnan määrän asteikko (mm/kk) [Evporation in Average Year].



Kuva 12. Haihtumisen asteikko (mm/kk) [Evporation in Average Year].

Joillakin maapallon alueilla haihtumisaste on alhainen ympäri vuoden, koska maaperän vesipitoisuus on alhainen. Esimerkiksi Saharan autiomaassa on vähän haihtumista kii-vien olosuhteiden vuoksi korkeasta auringon säteilystä huolimatta. [Evporation in Average Year.] Etelä-Suomen keskimääräiseksi aluehaihdunnaksi on arvioitu 400–500 mm vuodessa järvisyydestä riippuen [Leppäranta ym. 2017: 80].

5 Mittausten suunnittelu ja käytetyt mittalaitteet

5.1 Tutkimusmenetelmät

Insinööriyön tavoitteena oli selvittää ja tutkia konkreettista esimerkkiä käyttäen kelluvien uima-altaiden energiankulutusta. Kelluvien uima-altaiden energiankulutukseen tutkimiseen valittiin kolme osa-aluetta:

- kelluvien uima-altaiden lämmitys
- allasrakenteiden energiahäviöt
- kelluvien uima-altaiden pinnalta tapahtuva haihdunta.

Kelluvien uima-altaiden lämmitystä on selvitetty empiirisellä tutkimuksella. Empiirinen tutkimus eli kokemusperäinen tutkimus perustuu tutkimuskohteen havainnointiin ja mittaamiseen. Kelluvien uima-altaiden lämmitystä selvitettiin Allas Sea Pool -merikylpylässä suoritetuilla virtausmittauksilla. Allasrakenteiden energiahäviöiden sekä kelluvien uima-altaiden pinnalta tapahtuvan haihdunnan tutkimus perustui enemmän teoreettiseen tutkimukseen, koska mittaus-/koejärjestelyt olisivat tarvinneet pidemmän mittausjakson kuin kelluvien uima-altaiden virtausmittausten tutkiminen. Näihin tutkimuksiin ei ollut tarvittavia aikaresursseja, jotka olisivat taanneet luotettavan tutkimustuloksen.

5.2 PT878-ultraääni-virtausmittari

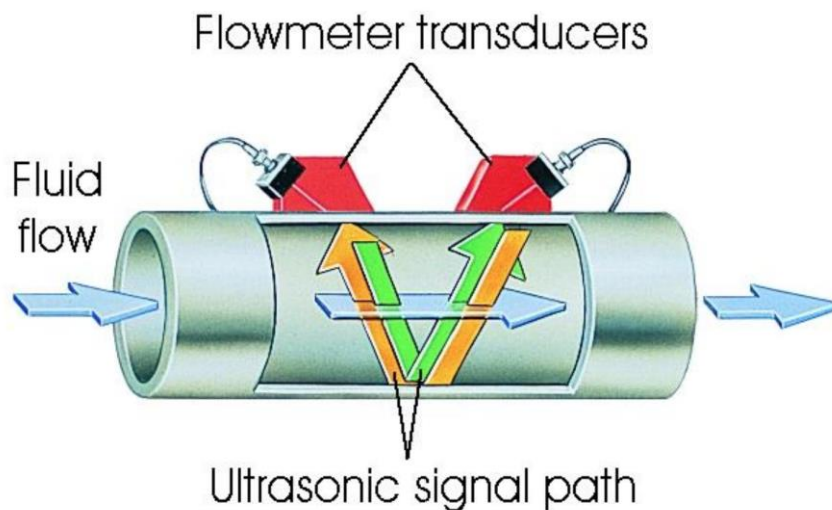
Insinööriyössä kelluvien uima-altaiden lämmityksen kulut pyrittiin erottelemaan Allas Sea Pool -merikylpylän energiankulutuksesta. Kelluvien uima-altaiden kaukolämmönkulutukselle ei ollut tutkimuskohteessa (Allas Sea Pool -merikylpylä) omaa kaukolämmönkulutuksen mittaria, joten kelluvien uima-altaiden kaukolämmön kulutusta lähdettiin selvittämään lämpövirran kaavaa hyväksi käyttäen (kaava 1). Lämpövirran kaavasta tuntematon kohde oli massavirta (kaava 2), jonka selvittämiseksi lähdettiin tutkimaan kelluvien uima-altaiden käyttämää tilavuusvirtaa. Tilavuusvirran tutkimisessa hyödynnettiin PT878-ultraäänivirtausmittaria (kuva 13), koska kelluvien uima-altaiden kaukolämmön meno- ja paluuputkiin ei ollut asennettu omia virtausmittareita.



Kuva 13. PT878-ultraääni-virtausmittari

PT878-virtausmittari käyttää kulkuajan virtauksen mittaustekniikkaa. Tässä menetelmässä kaksia anturia toimii sekä ultraäänisignaali-generaattorina että -vastaanottimena. PT878-virtausmittarilla voidaan mitata virtausta muovi-, metalli- tai betonivuoratuista putkista. Mittaukset voidaan suorittaa putken seinämän läpi kosketuksettomasti ja painehäviöttömästi ilman vuotojen tai ympäristön saastumisen riskiä. [PT878.]

Putkeen asennetut anturit viestivät akustisesti keskenään. Akustisessa viestinnässä toinen muunnin voi vastaanottaa ultraäänisignaaleja ensimmäiseltä anturilta ja päinvastoin (kuva 14).



Kuva 14. Putkeen asennettu PT878-virtausmittarin antureiden akustisen viestinnän havainnollistaminen [PT878 ohjelmointi: 14].

Aikaväli ultraäänisignaalien lähettämisen ja vastaanoton välillä mitataan molempiin suuntiin. Kun putken neste ei virtaa, ultrasignaalien kulku-aika virtauksen suuntaan on yhtä suuri kuin kulku-aika virtausta vastaan. Kun neste virtaa, ultrasignaalien kulku-aika virtauksen suuntaan on pienempi kuin kulku-aika virtausta vastaan. Kulku-aikojen erotus virtausten välillä on verrannollinen virtaavan nesteen nopeuteen, ja sen merkki osoittaa virtaussuunnan. [TransPort® PT878 Panametrics Portable Liquid Ultrasonic Flowmeter: 3.]

Putken seinämän paksuuden tuntemus on kriittistä, jotta voidaan varmistaa, että mittari tarjoaa parhaan mahdollisen tarkkuuden. Seinämän paksuus vakioputkessa voi vaihdella jopa 13 %. PT878:lla on kyky mitata putken seinämän paksuus standardien mukaan. Tämä vaatii paksuusmittarin käyttöä, joka liitetään suoraan anturin portteihin. Näin ollen erillistä laitetta ei tarvita. [TransPort® PT878 Panametrics Portable Liquid Ultrasonic Flowmeter: 4.]

5.3 PT878-virtausmittarin ohjelmointi

Ennen PT878-virtausmittarin käyttöönottoa virtausmittari on ohjelmoitava. Virtausmittarin ohjelmointi kieleksi valittiin englanti, koska suomen kieltä ei ollut vaihtoehtona. Tämän vuoksi luvussa esiintyvien taulukoiden ja kuvien tietoalinnat ovat englanniksi.

PT878-virtausmittari ohjelmoidaan aina mitattavan kohteen (putken) mukaan. Ohjelmointi sisältää viisi eri vaihetta:

- antureiden valitseminen
- putkiominaisuuksien valinta
- putken päällysteen/vuoren valinta
- putkessa virtaavan nesteen tiedot
- liikeradan tiedot.

PT878-virtausmittarilla suoritettavien mittausten onnistumiseksi on tärkeää edetä järjestelmällisesti mittaustietoja asennettaessa, koska ensimmäisissä vaiheissa anturin ja putken vaihtoehdoissa määritetään myöhemmin saatavissa olevat kehotteet. Jos PT878 ei

viritetä tiettyyn parametriin, sitä ei tarvita kyseiselle anturille tai putkityypille. [GE Panametrics 2002: 3–4.]

5.3.1 Anturi valinnan ohjelmointi-ikkuna

Virtausmittarin asetusten valitseminen mittausta varten aloitetaan valitsemalla anturin tiedot. Taulukossa 3 on havainnollistettu virtausmittarin ohjelmoinnin näyttöä ja työssä valittuja arvoja.

Taulukko 3. Virtausmittarin anturin tietojen valinta.

TRANSDUCER		
Type	Clamp-on	
Transducer	SPECIAL	
Frequency	0,5	MHz
Tw	10,6	µs
Wedge Ang	30	°
Wedge Tmp	12	°C
Wedge SS	3100	m/s

Ensimmäiseksi pyydetään valitsemaan kostutettu (wetted) tai kiinnitetty (clamp-on) anturityyppi (type). Tämän jälkeen valitaan anturin muuntaja (transducer). Jos anturin muuntajaksi valitaan ”special”-anturi, mittauksen suorittajan tulee syöttää manuaalisesti taajuus (frequency) ja aika viive (Tw, the time delay). Koska muuntajaksi on valittu ”special”-anturi ja kiinnitetty anturityyppi, mittauksen suorittajan tulee lisätä vielä kolme syötettä: teroituskulma (wedge angle), kiilan lämpötila (wedge temperature) ja kiilan äänen nopeus (wedge sound speed). [GE Panametrics 2002: 3–5.]

5.3.2 Putkiominaisuuksien ja päällysmateriaalin ohjelmointi-ikkuna

Virtausmittauksen onnistumiseksi on tärkeä tuntea putkiominaisuudet. Putken ohjelmoinnissa valitaan ensin putkimateriaali (taulukko 4). Putkimateriaalin valitsemisen helpottamiseksi virtausmittarissa on valmiiksi ohjelmoitu putkimateriaalien taulukko.

Taulukko 4. Putkiominaisuudet ja materiaalin valinta.

PIPE (meno/lämpö)		
Material	Other	
SndSpeed	3100	m/s
Measure Wall with Tgauge		
OD	114,3	mm
OD x PI	359,08	mm
Wall	3,6	mm
Nominal		

Kelluvien uima-altaiden kaukolämmön meno- ja paluuputken materiaali on P235GH. Materiaalin valmistusstandardi on EN 10216-2. [Teräsputki hitsattava saumaton 4" 114,3x3,6mm.] Valmistusstandardin mukaan teräslajin P235GH:n materiaali luokitellaan standardin EN 10020 mukaan seostamattomaksi laatuteräkseksi [SFS-EN 10216-2: 8]. Koska putkimateriaalitulokko ei sisällä seostamatonta laatuterästä, putkimateriaaliksi valitaan "other" (taulukko 4). [GE Panametrics 2002: 3–8.] Seuraavaksi on vuorossa äänen nopeuden valinta. Äänen nopeus annetaan valmiina, jos käytetään valmiiksi ohjelmoidun putkimateriaalin taulukkoa. Kun putkimateriaaliksi on valittu "other", äänen nopeus täytyy syöttää itse. Virtausmittari pyytää myös syöttämään putken halkaisijan (OD) sekä seinämän paksuuden (Wall).

Antureiden ja putkiominaisuuksien valitsemisen jälkeen siirrytään päällystemateriaalin valintaan. Tässä kohdassa ollaan puolella välissä virtausmittarin ohjelmoinnissa. Päällystemateriaali valitaan materiaaliluettelosta (taulukko 5).

Taulukko 5. Päällystemateriaalin valinta.

LINING		
Material	None	
SndSpeed	3280	m/s
Thickness	0	mm

Kyseisessä mittauksessa ei ole erillistä päällystemateriaalia, joten materiaaliksi valitaan "none". Tämän jälkeen virtausmittari antaa suoraan äänennopeuden sekä paksuuden.

5.3.3 Virtaavaan nesteeseen ja liikeradan tietojen ohjelmointi-ikkunat

Neljännessä vaiheessa tarkastellaan putkessa virtaavan nesteen tietoja. Ensimmäiseksi virtausmittari kysyy, haluaako käyttäjä valita seurantaikkunan. Näitä ikkunoita käytetään tunnistamaan vastaanottosignaali, kun ei olla varmoja nesteen äänen nopeudesta. [GE Panametrics 2002: 3–13.] Tässä tutkimustyössä valitaan ”kyllä”, koska seurantaikkunat halutaan näkyviin. Yleensä oletuksena on ”ei” [GE Panametrics 2002: 3–13]. Toisena valintana on virtaava neste. Tämän jälkeen virtausmittari antaa äänennopeuden arvon sekä äänen nopeuden minimi- ja maksimiarvot.

Koska kelluvien uima-aldaiden energiankulutuksen tutkimisessa tutkitaan kelluvien uima-aldaiden lämmitystä, virtausmittaukset suoritetaan sekä kaukolämmön menoputkesta että paluuputkesta. Tämän vuoksi nesteen meno- ja paluuputken tiedot eroavat toisistaan (taulukko 6).

Taulukko 6. Virtaavaan nesteeseen valintaikkunoiden eroavaisuudet kaukolämmön meno- ja paluuputken välillä.

FLUID (meno/lämpö)		FLUID (paluu/kylmä)	
Tracking Windows?	YES	Tracking Windows?	NO
Fluid	Water/0–100°C	Fluid	Water/0–260 °C
Sound Speed	1555,11 m/s	Sound Speed	1509,43 m/s
Speed Min	1198,4 m/s	Speed Min	1198,4 m/s
Speed Max	1797,6 m/s	Speed Max	1797,6 m/s
Temp	70 °C	Temp	30 °C
Glycol	0 %	Glycol	0 %

Viimeisessä vaiheessa valitaan liikeradan tiedot, kun kaikki muut valinnat on tehty. Liikeradan vaihtoehdot käytössä oleville kohteille riippuvat siitä, onko aiemmin valittu kiinnitettävät (clamp-on) vai kostutetut (wetted) anturit Anturi-valikosta (Transducer) [GE Panametrics 2002: 3–16]. Taulukossa 7 on kuvattu liikeradan tietojen valintaa.

Taulukko 7. Liikeradan tietojen valintaikkuna.

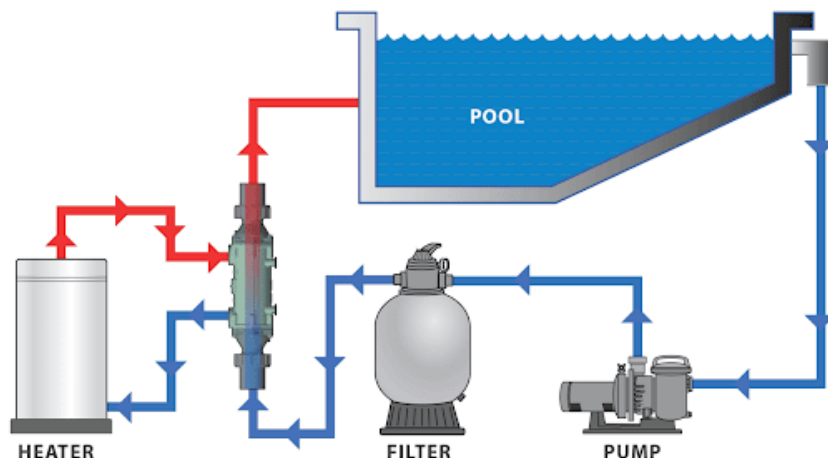
PATH		
Path Length	230,62	mm
Axial Length	85,46	mm
Traverses	2	
Spacing	92,66	mm

Tässä tapauksessa valintana on ollut kiinnitetty anturityyppi, joten liikeradan valikko sisältää kaksi parametria: kulkusuunta ja välimatka [GE Panametrics 2002: 3–17].

5.4 Mittausten toteutus

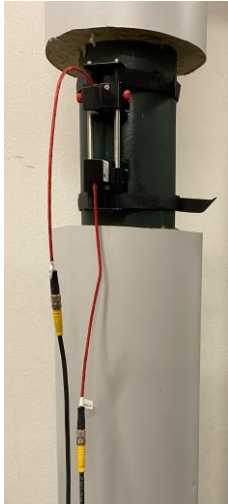
Insinööriyössä toteutettiin empiirinen virtausmittausten tutkimusjakso 27.5.–25.6.2020. Virtausmittauksia toteutettiin yhteensä neljä kertaa viikon välein samaan vuorokauden aikaan, jotta virtausmittaukset olisivat mittaustavan myötä vertailukelpoisia.

Kuvassa 15 nähdään uima-altaan lämmitys. Mittauspisteiden valinnassa tulee huomioida energiankäytön ja lämmityksen lisäksi veden käsittely. Tämän vuoksi mittauspisteet valittiin ennen allaslaitteiston lämmönsiirintä.



Kuva 15. Uima-altaan lämmityksen kuvaus sekä mittauspisteet [Heat Swapper].

Kaukolämmön menoveden tilavuusvirta mitattiin kelluvalle uima-altaalle menevästä kaukolämpöputkesta (kuva 16), ja kaukolämmön paluuv veden tilavuusvirta mitattiin kelluvalta uima-altaalta palaavasta kaukolämpöputkesta (kuva 17). Kahdella mittauspisteellä pyrittiin varmistamaan tulosten yhteneväisyys suljetussa kaukolämpökierrossa. Muut mitaustiedot on kerätty kelluvien uima-altaiden Fidelixin etäjärjestelmästä.



Kuva 16. Kaukolämmön menoveden virtausmittaus.



Kuva 17. Kaukolämmön paluuv veden virtausmittaus.

Mittauspisteiden tarkoitus oli ensisijaisesti selvittää kaukolämmön kulutuksen suuruutta kelluvissa uima-altaissa. Virtausmittausten tuloksia hyödynnettiin kelluvien uima-altaiden kokonaisenergianlaskemisessa.

6 Laskentamalli

Tässä luvussa käydään läpi tehtyjen mittauksen tuloksia sekä niiden pohjalta luotua laskentamallia. Laskentamallissa on hyödynnetty luvussa 3–4 esiintyviä kaavoja. Energianlaskentamalli on jaettu kolmeen osa-alueeseen empiirisen tutkimuksen helpottamiseksi. Osa-alueet ovat

- kelluvan uima-altaan lämmitys
- kelluvan uima-altaan energiahäviöt
- kelluvan uima-altaan pinnalta tapahtuva haihdunta.

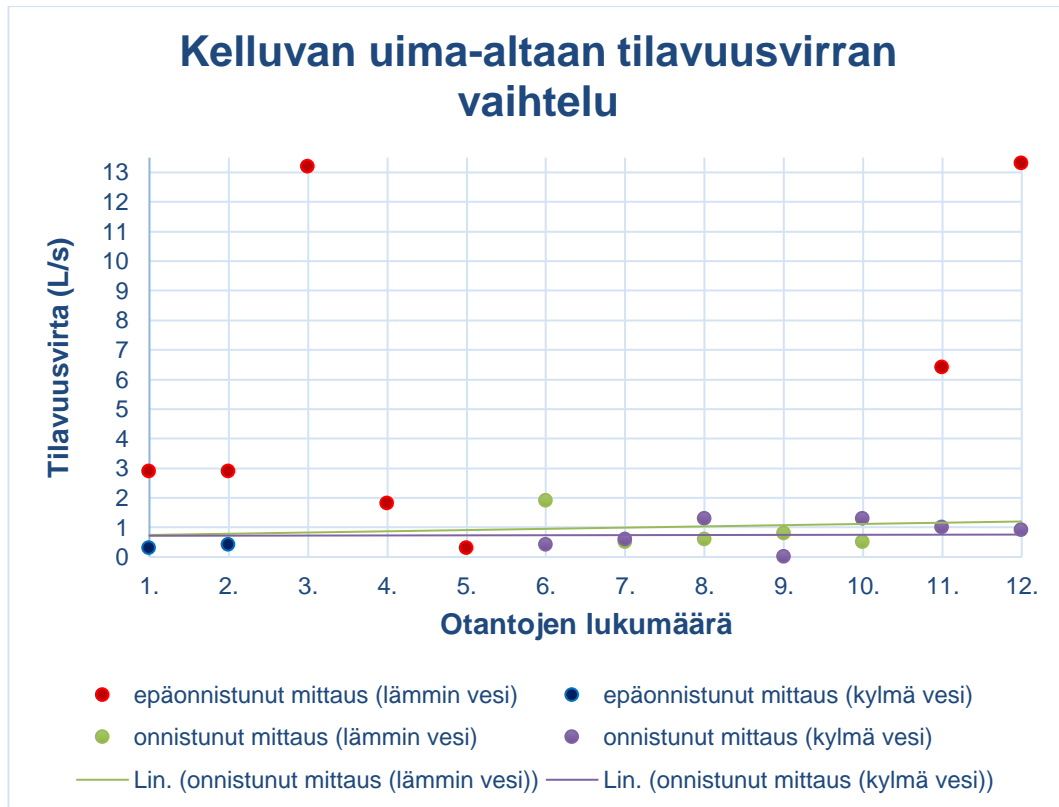
Jokaisella osa-alueella on omat erityispiirteensä sekä tutkimusmenetelmänsä.

6.1 Kelluvan uima-altaan lämmitys

Kelluvien uima-altaiden lämmitystä tutkittiin lämpövirran kaavan avulla. Kaavan tuntemattomat muuttujat olivat ennen laskentamallin tekoa

- kelluvaan uima-altaaseen menevä kaukolämmön meno- ja paluuvirtauksen tilavuusvirta (A_v)
- kelluvan uima-altaan kaukolämmön menoveden lämpötila (T_{in})
- kelluvan uima-altaan kaukolämmön paluuv veden lämpötila (T_{out}).

Kaukolämmön meno- ja paluuvirtauksen tilavuusvirtaa tutkittiin PT878-virtausmittarilla 27.5.–25.6.2020, ja kelluvan uima-altaan kaukolämmön meno- ja paluuv veden lämpötilat selvitettiin lämmönjakohuoneissa sijaitsevista mittareista. Virtausmittaukset suoritettiin kerran viikkoon eli yhteensä neljä kertaa tutkimusjakson aikana. Jokaisena mittauspäivänä kerättiin otantojen tilavuusvirran vaihtelusta kelluvaan uima-altaaseen menevästä kaukolämmön meno- sekä paluuputkesta. Kaikkien mittauskertojen tilavuusvirran vaihtelut kerättiin yhteiseen pistekaavioon (kuva 18).



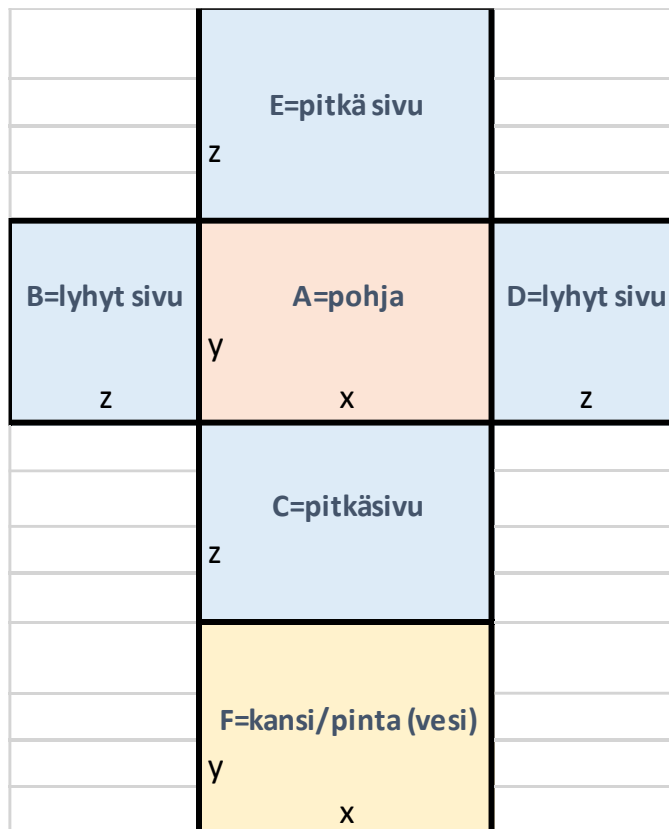
Kuva 18. Kelluvan uima-altaan tilavuusvirran vaihtelu kuvattuna pistekaaviona.

Pistekaaviossa on kuvattuna neljä sarjaa. Punaiset pisteet kuvaavat epäonnistunutta lämpimän menoveden tilavuusvirran mittausta kelluvaan uima-altaaseen, ja siniset pisteet (2 kpl) kuvaavat epäonnistunutta kylmän paluueden tilavuusvirran mittausta kelluvasta uima-altaasta. Epäonnistuneiden mittauspistetuloksien määritelmä on joko vääränlainen mittaustekniikka tai allassiirtimen kaukolämmön mitoitusrajan ylitykset. Vihreät pisteet kuvaavat onnistunutta lämpimän menoveden tilavuusvirran mittausta kelluvaan uima-altaaseen, ja harmaat pisteet kuvaavat onnistunutta kylmän paluueden tilavuusvirran mittausta kelluvasta uima-altaasta. Onnistuneista mittauseroista on tehty myös tilavuusvirran ennustettava suunta lineaarisella trendiviivalla.

Tuloksia voidaan pitää luotettavana sillä virtausmittauksen otannat pysyvät allassiirtimen kaukolämmön mitoituksen rajoissa. Ainoastaan yksittäiset yli 6 l/s olevat otannat ovat poikkeuksia. Näiden virtaustulosten poikkeava vaihtelu ei ole selvillä. Tämän vuoksi tilavuusvirran trendiviiva kuvaa paremmin kelluvan uima-altaan lämmityksen hetkellistä energiankulutusta kuin keskiarvolla kuvattu tilavuusvirta, sillä yli 6 l/s olevat tilavuusvirran poikkeavat tulokset nostavat keskiarvolla saatua energiankulutuksen määrää.

6.2 Kelluvan uima-altaan energiahäviöt

Kelluvan uima-altaan allasrakenteiden energiahäviöiden selvittämiseksi hyödynnettiin seinämän U-arvoja. Koska 25 m x 15 m kelluvassa makeavesialtaassa ei ole yhteneväiset materiaaliratkaisut eri puolilla allasta, kelluva uima-allas ajateltiin kaksikulotteisena avattuna särmiönä tai origamimallina (kuva 19)



Kuva 19. Kelluva makeavesiallas origamimallina.

Jokaiselle sivulle A–F tehtiin oma materiaaliluettelo. Materiaaliluettelo sisälsi tiedot lämmönjohtavuudesta sekä ainekerroksen paksuudesta. Näiden pohjalta laskettiin jokaisen materiaalin lämmönläpäisykerroin sekä seinämän R-arvo. R-arvon pohjalta saatiin ratkaistua seinämän U-arvo ($U = \frac{1}{R}$).

Lopuksi kerättiin yhteiseen taulukkoon kaikkien sivujen pinta-alat sekä U-arvot. Näistä arvoista saatiin laskettua kokonaislämpövirrantiheys sekä allasrakenteista johtuva energian määrä ympäröivään meriveteen.

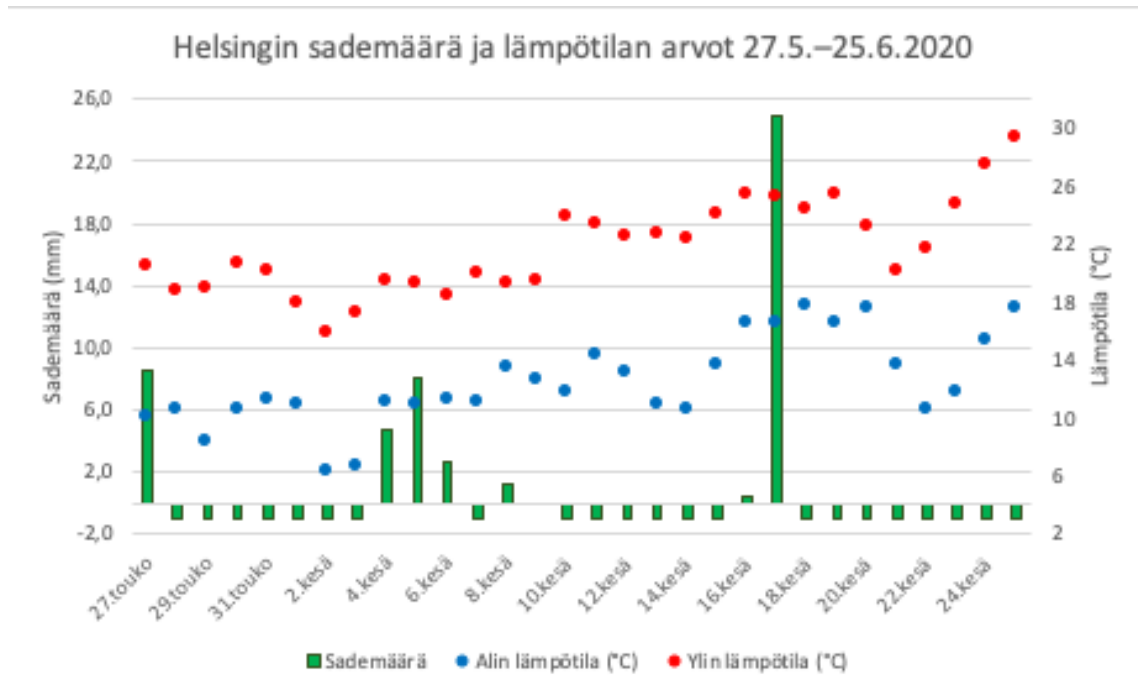
6.3 Kelluvan uima-altaan pinnalta tapahtuva haihdunta ja säähavainnot

Haihdunnan laskennallinen selvittäminen kelluvista uima-altaista oli laskentamallin haasteellisin osio, sillä haihdunnan määrän vaihtelut ovat sidoksissa muuttuviin sääolosuhteisiin. Tämän vuoksi kerättiin säätietoja Ilmatieteen laitokselta mittausjakson ajalta, jotta potentiaalisen haihdunnan selvittäminen Penmanin menetelmän avulla voisi onnistua. Penmanin menetelmä on kuvattu tarkemmin luvussa 4. Haihdunnan määrä laskettiin Microsoft Exceliä hyödyntäen.

Säähavainnot on kerätty Ilmatieteen laitokselta kuukausihavainnoista, vuorokausihavainnoista sekä hetkellishavainnoista Kumpulan havaintoasemalta Helsingistä. Kerättyjä havaintosuureita ovat

- sademäärä (mm)
- ylin lämpötila (°C)
- alin lämpötila (°C)
- kuukauden sadesumma (mm)
- kuukauden keskilämpötila (°C)
- kokonaissäteily (W/m²)
- ilmanpaine (hpa)
- suhteellinen kosteus (%)
- tuulen nopeus (m/s).

Kuvassa 20 on kuvattu mittausjakson (27.5–25.6.2020) lämpötilan vaihtelua sekä sademäärää.



Kuva 20. Helsingin sademäärän ja lämpötilan arvot ajanjaksolla 27.5.–25.6.2020 [Havaintojen lataus, muokattu].

Kuvassa 20 vihreä pylväs kuvaa sademäärää, sininen pallo päivän alinta lämpötilaa ja punainen pallo päivän ylintä lämpötilaa. Päivän negatiivinen sademäärän arvo tarkoittaa, että kyseisenä päivänä on tapahtunut vain haihtumista. Päivän ylintä ja alinta lämpötilaa on kuvattu pallomallilla, koska lämpötilan vaihtelu päivän aikana ei ole lineaarista. Eli päivän kuumin ja kylmin hetki sijoittuvat eri kellon ajoille päivästä riippuen. Kuukauden sadesumma sekä keskilämpötila on kuvattu taulukossa 8.

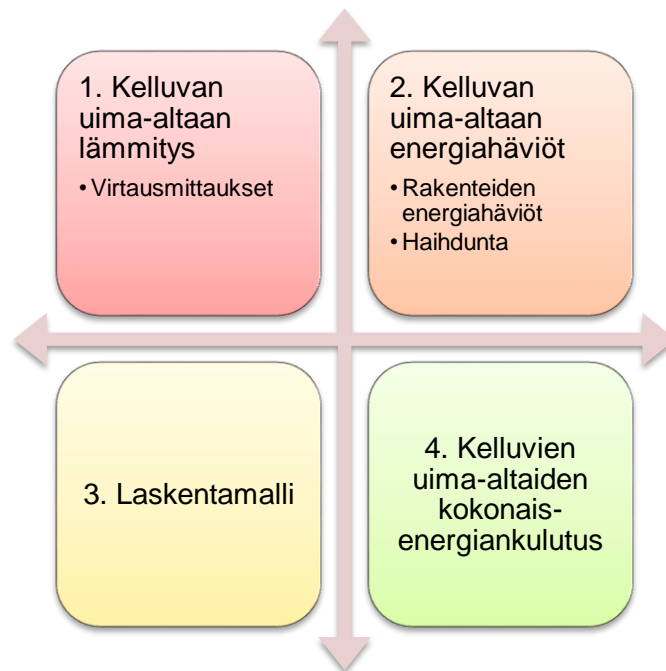
Taulukko 8. Kuukauden sadesumma ja keskilämpötila [Havaintojen lataus].

Kuukauden sadesumma (mm)	Kuukauden keskilämpötila (°C)
78,2	18,1

Haihduntaa pyritään mittaamaan yleensä kuukausitasolla, sillä lyhyemmän aikavälin, esimerkiksi päiväkohtainen haihdunta, on hankala määrittää. Tämän vuoksi hetkellishavainnoista, jotka on mitattu tunnin välein, lasketaan päivittäiset keskiarvot. Hetkellishavaintojen päiväkohtaiset keskiarvot löytyvät liitteestä 1.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin kelluvien uima-altaiden energiankulutusta esimerkikohteen avulla. Esimerkkikohteenä insinööriyössä hyödynnettiin Helsingin Allas Sea Pool -merikylpylän 25-metristä lämminvesiallasta. Kuvassa 21 on havainnollistettu työn vaiheet kelluvien uima-altaiden energiankulutuksen selvityksessä.



Kuva 21. Matriisi kelluvien uima-altaiden energiankulutuksen selvityksestä.

Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin virtausmittauksia, joiden avulla voidaan laskea kelluvien uima-altaiden lämmitykseen tarvittavan energian määrää lämpövirran kaavan avulla (kaava 1). Työn toisessa vaiheessa tutkitaan kelluvan uima-altaan energiahäviöitä. Energiahäviöiden tutkimus jaettiin kelluvan uima-altaan rakenteiden energiahäviöihin sekä kelluvan uima-altaan pinnalta tapahtuvan haihdunnan aiheuttamaan energiahäviöön. Kolmannessa vaiheessa luotiin energiankulutuksen laskentamalli eri koko luokan ja varustelutason kelluville uima-aitaille. Neljäs vaihe eli kelluvien uima-altaiden kokonaisenergiankulutus mitataan kuukausi ja vuosiseurannalla Bluetin toimesta.

7.1 Insinööriyössä toteutetut virtausmittaukset

Ensimmäisessä vaiheessa insinööriyössä tehtiin virtausmittaukset kesäkuun seuranta-jakson aikana. Virtausmittausten avulla selvitettiin kelluvan uima-altaan lämmityksestä aiheutuva energiankulutus. Virtausmittaukset tehtiin kerran viikossa ja toteutettiin samaan aikaan vuorokaudesta. Näin mittaustuloksia pystyttiin vertailemaan sään aiheuttamaan energiankulutuksen vaihteluihin. Mittaukset tehtiin kelluvan uima-altaan kaukolämpöpiirin meno- ja paluuputkien pinnoista. Tämän lisäksi jokaisena mittauskertana dokumentoitiin 25 metrisen lämminvesialtaan lämpötila proomun sisällä olevasta Fidelixin etäjärjestelmästä.

Virtausmittaukset tuottivat haasteita, kun pyrittiin selvittämään kelluvan uima-altaan lämpövirran kulutusta lämmönjakopiiristä. Ensimmäinen mittauskerta ei esimerkiksi onnistunut, sillä virtausmittarista ei saatu tuloksia ulos. Ensimmäisen virtausmittausten epäonnistumisen syynä oli väärät ohjelmointitiedot. Toisella mittauskerralla virtausmittarin ohjelmointi onnistui jo paremmin, mutta kaukolämpöputkimateriaali oli edelleen valittu väärin. Kolmas mittauskerta onnistui, koska kaikki aikaisempien mittausten puutteet oli korjattu. Tämän jälkeen toteutettiin vielä neljäs mittauskerta, jotta onnistunut kolmas mittauskerta pystyttiin todentamaan.

Virtausmittausten tulokset tuottivat mielenkiintoisen pistemallin (kuva 18), josta näkyy selkeästi kaukolämpövirtaaman jatkuva vaihtelu. Virtausmittausten katsotaan onnistuneen, vaikka alkuun olikin hankaluuksia, sillä lopulliset mittaustulokset pysyvät allassiirtimen kaukolämmön mitoituksen rajoissa. Mittaustuloksista huomattiin myös, että tilavuusvirran trendiviiva kuvaa paremmin kelluvan uima-altaan lämmityksen hetkellistä energiankulutusta, sillä yksittäiset poikkeamat mittaustuloksissa nostavat keskiarvolla saatua energiankulutuksen määrää. Virtausmittauksesta selvitettyllä tilavuusvirralla laskettiin kelluvan uima-altaan hetkellistä lämpövirran kulutusta kilowatteina. Kulutuksen määrää vertailtiin yrityksen sisäisesti saatuun Allas Sea Pool -merikylpylän kaukolämmön kesäkuun kulutustietoihin vuodelta 2017, josta selvisi hetkittäisen tehon määriä. Näiden tietojen pohjalta huomattiin, että kelluvien uima-aitaiden hetkellinen lämpövirran kulutus (kW) oli realistinen.

7.2 Kelluvan uima-altaan energiahäviöiden selvitys

Kelluvan uima-altaan kokonaisenergiankulutuksen selvityksessä oli huomioitava lämpövirran lisäksi (vaihe 1) rakenteista sekä uima-altaan veden pinnasta tapahtuvat energiahäviöt (vaihe 2), jotta pystyttiin luomaan yritykselle tarvittava laskentamalli (vaihe 3).

Kelluvan uima-altaan rakenteista tapahtuvaa energiahäviöitä tutkittiin teoreettisesti laskemalla. Tutkimuksen haaste oli luoda visuaalisesti selkeä laskentamalli Microsoft Excel-pohjalle. Rakenteista tapahtuvan energiahäviöiden visuaalisessa laskentamallissa onnistuttiin kuitenkin hyvin, kun ideana hyödynnettiin kaksiulotteisesti avattua särmiötä. Tuloksiksi saadut hukkalämmön johtumisen arvot ympäröivään ilmaan ja meriveteen olivat myös realistisia.

Kelluvan uima-altaan veden pinnan haihtumisen selvittäminen oli tämän insinööriyön vaikein osio. Haihtumista olisi voitu tutkia työn aikana kokeellisesti, mutta se olisi kasvattanut työhön käytettäviä aikatauluresursseja turhan paljon. Tämän vuoksi kelluvien uima-altaiden pinnoilta tapahtuvaa haihduntaa pyrittiin selvittämään teoreettisten laskujen avulla. Teoreettisten laskujen pohjalta luotiin haihdunnan laskentamalli.

Haihdunnan laskemisen teorian pohjaksi valittiin Penmanin menetelmä. Penmanin menetelmä osoittautui kuitenkin liian työlääksi käyttää yrityksen kelluvien uima-altaiden energiankulutuksen laskennassa. Yrityksen päätyö on toteuttaa kelluvia ratkaisuja, jolloin liian työläs laskentamenetelmä ei tulisi käyttöön arkipäivän työskentelyssä. Penmanin menetelmän käyttö olisi myös vaatinut enemmän osaamista hydrologian opinnoista. Tämän vuoksi insinööriyöntekijä yhdessä toimeksiantajan kanssa selvitti yksinkertaisempaa vaihtoehtoa haihdunnan laskemiseksi. On hyvä kuitenkin muistaa, että yksinkertaisemmatkin vaihtoehdot perustuvat usein Penmanin menetelmään, joten hydrologian teorian tuntemus ei ole huono asia.

Vaihtoehtoisesti kelluvan uima-altaan pinnalta tapahtuvan haihtumisen laskemiseksi valittiin Yhdysvaltain EPA:n tuottama haihdutusyhtälö (kaava 13) [Wanamaker, Christopher].

$$E = \frac{7,4PA(0,447W)^{0,78}}{T+459,67} \quad (13)$$

E on haihtumisnopeus (gallona/päivä)

A on altaan pinta-ala (ft²)

W on tuulen nopeus uima-altaan yläpuolella (mph)

P on veden höyrynpaine ympäristön lämpötilassa (mmHG)

T on lämpötila (°F).

EPA:n tuottamalla haihdutusyhtälöllä saatiin ratkaistua haihdunnan määrä päivässä melko luotettavasti. Haasteen yhtälön käytössä tuottaa Yhdysvaltain käyttämä mittausjärjestelmä, jolloin tulosten ja lähtöarvojen muunnoksissa on oltava tarkkana. Lisäksi haihduntaan vaikuttava tuulen nopeus altaan yläpuolella muuttaa tuloksia ja tätä tuulen nopeutta ei pystytty täysin luotettavin keinoin selvittämään. Tiedossa oli ainoastaan 25 metrin korkeudelta saadut tuulen nopeuden mittaustulokset, mutta altaan pinnalla tapahtuva tuulen nopeus ei ollut tiedossa.

7.3 Luotettavien säätilastojen vaikutus työn onnistumisen kannalta

Insinöörityössä jouduttiin paljon käyttämään paikallisia sää tietoja. Luotettavat sää tiedot haettiin Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta. Havaintoasemana käytettiin Helsingin Kumpulan havaintoasemaa.

Sää tietojen keruu ei tuottanut haasteita, vaan haasteita tuottivat sää tietojen yhdistäminen. Sää tietojen tulkinnassa sekä hyödyntämisessä laskennassa onnistuttiin hyvin.

Sää tietoja on saatavilla kuukausihavaintoina, vuorokausihavaintoina sekä hetkellishavaintoina. Koska kaikkia sää tietoja ei ollut saatavilla vuorokausi- ja kuukausihavaintoina, tutkimuksessa hyödynnettiin pääasiassa hetkellishavaintoja laskentamallin luomisessa ja laskujen ratkaisuisa. Tämän vuoksi energiankulutuksen laskentamallista ei saatu kuukausikohtaisten energiankulutuksen vaihteluiden eroja (neljäs vaihe).

8 Kehitysideat

Insinööriyössä selvitettiin kelluvien uima-altaiden energiankulutusta virtausmittarin, säätilastojen sekä teoreettisten laskujen pohjalta.

Luotettavampi sekä pitkäjänteisempi energian seuranta saataisiin asentamalla omat energiankulutuksen mittarit jokaiseen kelluvan uima-altaan lämmönjakopiiriin. Tällöin saavutettaisiin kaikista tarkin päivä-, kuukausi- sekä vuosikohtainen energiankulutuksen vaihtelu, joka ei perustuisi pelkästään laskelmiin vaan realistisiin mittaustuloksiin. Energiankulutuksen mittareihin sijoittaminen maksaisi myös itsensä takaisin, kun energian säästökohteiden selvitystyö helpottuu.

Haihdunnan merkitys energiahäviöissä on huomattava, minkä vuoksi sen vähentäminen olisi merkittävä säästökohde energiankulutukselle. Laskennan tuloksena altaan pinnasta tapahtuva lämmön johtuminen haihdunnan muodossa vastaa noin 50 %:a kelluvan uima-altaan rakenteiden kokonaisenergiähäviöistä. Teoreettisen tuloksen pohjalta voidaan todeta, että haihdunnan tarkempi tutkiminen olisi suotavaa. Haihdunnan tarkempaa tutkimusta voitaisiin tehdä pienten sääasemien avulla, jotka asennettaisiin kelluvien uima-altaiden läheisyyteen. Sääaseman avulla voitaisiin mitata esimerkiksi tuulen nopeutta altaiden pinnalta, jolla on merkittävä rooli hetkellisen haihdunnan määrässä. Tämän jälkeen tiedettäisiin todellinen haihdunnan määrä eri sää- ja ilmasto-olosuhteissa, jolloin uusien kohteiden tuleva energiankulutus ei olisi pelkästään arvailujen varassa.

Uimahallien energiankulutusta seurataan aina kuukausitasolla, josta pystytään selvittämään vuosikohtaiset energiankulutuksen vaihtelut. Tämän vuoksi kelluvissa uima-altaisakin olisi tärkeä kerätä kuukausikohtaista energiankäyttöä, esimerkiksi kaukolämmön osalta, jotta vuoden aikaiset energian vaihtelut voitaisiin selvittää. Kuukausikohtaisella energiantarkastelulla pystytään myös paremmin havainnoimaan energiasyöppöjä sekä hukkaenergian määrää. Näiden tulosten pohjalta voidaan myöhemmissä vaiheissa myös vertailla sähkö- ja lämpöenergian lähteitä toisiinsa.

Lähteet

Bac Pool Systems. Verkkoaineisto. Suomen Allaslaite Oy. < <https://www.suomenallaslaite.fi/allasvarusteet/allaspeitteet/bac-pool-systems/>>. Luettu 09.08.2020.

Bluetin tarina. Verkkoaineisto. Bluet. <<https://bluet.fi/yhteydenotto/>>. Luettu 11.5.2020.

Cengel, Yunus A.; Boles, Michael A. & Kanoglu, Mehmet. 2019. Thermodynamics. An Engineering Approach. 19th ed. New York: McGraw-Hill Education.

Evaporation in Average Year. Verkkoaineisto. Watch Water and Global Change. < <http://www.waterandclimatechange.eu/evaporation/average-monthly-1985-1999>> Luettu 7.8.2020.

GE Panametrics. 2002. PT878 Portable Liquid Flowmeter. Mexico.

Havaintojen lataus. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>>. Luettu 27.08.2020.

Heat Recovery Ventilation. Verkkoaineisto. Easi cooling LTD. <<http://www.easicooling.co.uk/heat-recovery-ventilation.html>>. Luettu 30.7.2020.

Heat Swapper. Verkkoaineisto. Quality Pool Supply. < <http://www.heatswapper.com/heat-swapper.html>>. Luettu 17.8.2020.

Hemmilä, Kari & Laitinen, Ari. 2018. Tavoitteena nollaenergia-liikuntarakennukset. VTT Technology 320. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Hirvonen, Maarit. 2020. Allas Sea Pool on ainutlaatuinen kokonaisuus. Verkkoaineisto. Bluet. <<https://bluet.fi/allas-sea-pool-on-ainutlaatuinen-kokonaisuus/>>. Luettu 11.5.2020.

Kaukolämmön ABC. Verkkoaineisto. Vantaan Energia. < <https://www.vantaanenergia.fi/lampo/nykylampo/kaukolammon-abc/>>. Luettu 2.9.2020.

Kaukolämpötilastot 2018. 2019. Energiateollisuus ry.

Kaukolämpö tuotetaan lähellä asiakasta. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. < https://energia.fi/energiasta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto>. Luettu 2.9.2020.

Kelly, Daniel. 2015. Lake Evaporation Study Examines Wind's Role In Freshwater Systems. Verkkoaineisto. Environmental monitor. < <https://www.fondriest.com/news/lake-evaporation-study-examines-winds-role-in-freshwater-systems.htm>>. Luettu 2.9.2020

Kivihiilen energiankäytön vuonna 2029 kieltävä laki voimaan huhtikuun alussa. 2019. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. Työ- ja elinkeinoministeriö 28.03.2019. < <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/kivihiilen-energiakayton-vuonna-2029-kieltava-laki-voimaan-huhtikuun-alussa>>. Luettu 2.9.2020.

Kohlmann, Jens. 2020. Energiantuotanto. Luentomoniste 6. Metropolian Ammattikorkeakoulu.

Kuvat medialle. Verkkoaineisto. Allas Sea Pool. < https://images.ctfa-sets.net/07d9secrcl5c/61ZcNAKF1uysEkelqAQco/21b56a531bbe55306653f82f50b29c8b/allas-2016-opening_party-eetu_ahanen-045.jpg>. Luettu 4.8.2020.

Leppäranta, Matti; Huttula, Timo & Virta, Juhani. 2017. Hydrologian perusteet. Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos. Helsinki.

Lämmönläpäisykerroin. Verkkoaineisto. Ensto. < <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1195454056021/1239039810756/1239039865653/1239039969182.html>>. Luettu 14.09.2020.

Mäkelä, Mikko; Soininen, Lauri; Tuomola, Seppo & Öistämö, Juhani. 2018. Tekniikan kaavasto. 18., painos. Tampere: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy.

PT878. Verkkoaineisto. FinnPri Oy. < <https://www.finnpri.com/p/pt878>>. Luettu 10.08.2020.

PT878 ohjelmointi. Verkkoaineisto. FinnPri Oy. <<https://www.finnpri.com/uploads/4OLPFxhI/PT878-Pika-Ohjelmointi.pdf>>. Luettu 10.08.2020.

Ryynänen, Henna. Verkkoaineisto. Oulun Energia. < <https://www.ouluenergia.fi/blogi/mita-on-kaukolampo>>. Luettu 02.09.2020.

SFS-EN 10216-2. Saumattomat painelaiteteräsputket. 2014. Tekniset toimitusehdot. Osa 2: Kuumalujat seostamattomat ja seostetut teräsputket. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Teräsputki hitsattava saumaton 4" 114,3x3,6mm. Verkkoaineisto. Talotuote.fi. <<https://www.talotuote.fi/TERASPUTKI-HITSATTAVA-SAUMATON-4-1143X36>>. Luettu 15.06.2020.

TransPort® PT878 Panametrics Portable Liquid Ultrasonic Flowmeter. Verkkoaineisto. FinnPri Oy. <https://www.finnpri.com/uploads/z0N5GeSW/transport_pt878_portable_liquid_ultrasonic_flowmeter_brochure_english.pdf>. Luettu 1.6.2020.

Uima-altaat. Verkkoaineisto. Allas Sea Pool. <<https://www.allasseapool.fi/fi/>>. Luettu 14.5.2020.

Uima-allasvesien käsittely. 2019. RT 103095. Rakennustieto Oy.

Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu. 2009. LVI 06-10451. Rakennustieto Oy.

Uimahalliportaalin energiatehokkuuden parantamisen osio. Verkkoaineisto. Uimahalliportaali. <https://uimahalliportaali.fi/files/Energiatehokkuuden_parantaminen_Printattava_versio.pdf>. Luettu 11.05.2020.

Vesi. Verkkoaineisto. Kemiaa ympärillämme. <<https://peda.net/oppimateriaalit/eoppi/verkkokauppa/yl%C3%A4koulu/lukuvuosi-19-20/k7uo/1/2>>. Luettu 9.8.2020.

Wanamaker, Christopher. 2019. How to Calculate Water Evaporation Loss in a Swimming Pool. Verkkoaineisto. Dengarden. <<https://dengarden.com/swimming-pools/Determine-Evaporation-Rate-for-Swimming-Pool>>. Luettu 2.9.2020.

Helsingin sään hetkellishavaintojen keskiarvot 27.5.–25.6.2020.

	Kokonaissäteily (W/m ²)	ilmanpaine (hPa)	Suhteellinen kosteus (%)	Tuulen nopeus (m/s)
27.touko	320	1023	55	4,1
28.touko	146	1023	63	4
29.touko	258	1025	49	3
30.touko	339	1027	43	5
31.touko	310	1027	47	4
1.kesä	192	1025	61	3
2.kesä	348	1021	50	3
3.kesä	355	1014	48	5
4.kesä	129	1005	69	4
5.kesä	132	999	87	4
6.kesä	151	1000	78	6
7.kesä	295	1011	66	5
8.kesä	97	1012	84	3
9.kesä	166	1016	78	4
10.kesä	300	1018	63	3
11.kesä	339	1020	64	4
12.kesä	359	1024	50	5
13.kesä	360	1027	48	3
14.kesä	360	1024	46	4
15.kesä	327	1017	56	4
16.kesä	170	1015	73	3
17.kesä	315	1016	72	2
18.kesä	226	1014	82	3
19.kesä	347	1015	60	3
20.kesä	354	1020	66	5
21.kesä	356	1022	61	4
22.kesä	363	1019	60	3
23.kesä	352	1020	53	3
24.kesä	344	1025	56	2
25.kesä	345	1026	45	4