

Petri Hietaharju*, Mika Ruusunen, Jari Ruuska, Jani Tomperi, Pekka Rossi ja Elisangela Heiderscheidt

Kaukolämpö- ja vesihuoltojärjestelmän sektori-integraation mallinnus, simulointi ja optimointi

Tiivistelmä: Paperissa esitetään simulaattori uudentyyppisen kaukolämmön ja vesihuollon sektori-integraation optimointiin, jossa kaukolämmön paluuveden lämpöenergiaa hyödynnetään jäteveden lämmityksessä. Tavoitteena on vähentää kaukolämmöntuotannon polttoaineenkulutusta ja parantaa biologisen jätevedenpuhdistuksen, erityisesti typenpoiston, tehokkuutta. Mallinnuksen, simuloinnin ja optimoinnin avulla tuotetaan uutta tietoa sektori-integraation energiatehokkuus- ja ympäristövaikutuksista sekä optimaalisesta toteutuksesta. Alustavat simulointitulokset osoittavat, että sektori-integraatio mahdollistaa jäteveden lämpötilan ympärivuotisen vakioinnin ja on taloudellisesti kannattavaa kaikille osapuolille.

Asiasanat: sektori-integraatio, kaukolämpö, jätevesi, simulointi, optimointi

***Vastaava kirjoittaja:** Oulun yliopisto, E-mail: petri.hietaharju@oulu.fi

Muut kirjoittajat: Oulun yliopisto, E-mail:
mika.ruusunen@oulu.fi, jari.ruuska@oulu.fi,
jani.tomperi@oulu.fi, pekka.rossi@oulu.fi,
elisangela.heiderscheidt@oulu.fi

1 Tausta

Liika typpi aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä ja hapikatoa, joten sen tehokas poistaminen jätevedestä on tärkeää [1]. Poiston tehokkuus riippuu jäteveden lämpötilasta, jonka tulisi olla bakteerien kannalta optimaalinen. Matala jäteveden lämpötila hidastaa puhdistusprosessia, mikä pienentää käsittelykapasiteettia johtaen lisäinvestointeihin. Lämpötila vaikuttaa myös kasvihuonekaasupäästöihin. Jäteveden lämpötila vaihtelee vuoden- ja vuorokaudenajan mukaan sekä viemäriverkoston vuotovesien vuoksi. Talvisin ja lumen sulamisen aikana lämpötila laskee usein alle prosessin optimin ja sen nostaminen kesän tasolle voisi vähentää päästöjä kolmanneksella.

Suomessa typen poisto lisää jätevedenpuhdistamon investointi- ja käyttökustannuksia [1]. Kylmät olosuhteet

ovatkin johtaneet erikoislupiin typenpoiston vaatimusten osalta. Optimoimalla jäteveden lämpötila ja tehokas käsittelyprosessia voitaisiin nykyisellä laitospasiteetilla käsitellä suurempi määrä jätevettä.

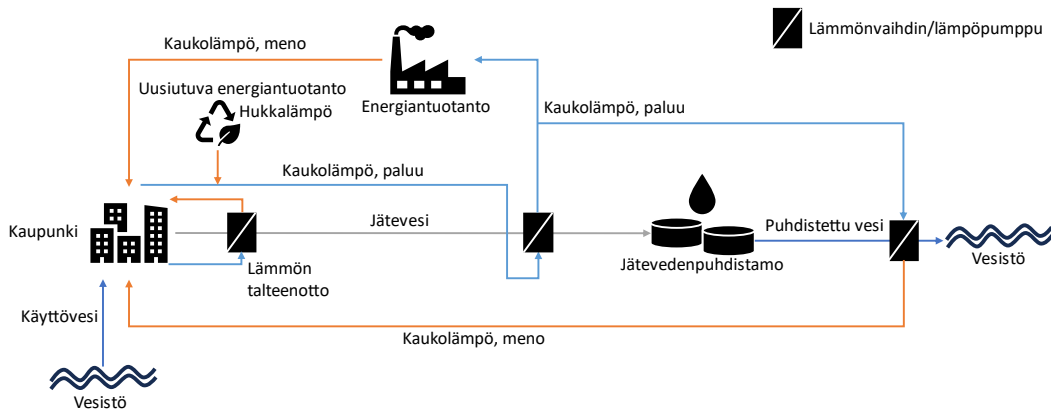
Kaukolämmön paluuvudessa on lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää jäteveden lämmitykseen. Paluuveden lämpötilalla on merkittävä vaikutus polttoaineen käyttöön ja päästöihin voimalaitoksissa. Matalampi lämpötila parantaa lämmöntuotannon hyötysuhdetta ja vähentää polttoaineen kulutusta. Paluuveden lämpöenergian hyödyntäminen mahdollistaa myös uusiutuvan energiantuotannon ja hukkalämpöjen lisäämisen kaukolämmön paluupuolelle sekä kiinteistökohtaisen jäteveden lämmön talteenoton, mikä alentaa puhdistettavan jäteveden lämpötilaa [1,2]. Kaupungeissa jopa 40 % tuotetusta lämmöstä poistuu jäteveden mukana [3], joten jäteveden lämmöntalteenotto voisi tuottaa kotitalouksissa merkittävän määrän energiaa.

2 Tavoitteet

Tutkimus liittyy KAVENERO hankkeeseen [4], joka keskittyy uudentyyppisen kaukolämpö- ja vesihuoltojärjestelmän sektori-integraation kehittämiseen (Kuva 1) energiatehokkuuden ja ympäristönäkökulmien kannalta. Tavoitteena on vähentää kaukolämmöntuotannon polttoaineenkulutusta ja parantaa biologisen jätevedenpuhdistuksen, erityisesti typen poiston, tehokkuutta hyödyntämällä kaukolämmön paluuveden lämpöenergiaa jäteveden lämmityksessä. Hanke tuottaa simulointimallien avulla uutta tietoa sektori-integraation energiatehokkuus- ja ympäristövaikutuksista sekä optimaalisesta toteutuksesta.

3 Menetelmät

Sektori-integraation vaikutusten arvioiminen on haastavaa ja vaatii eri prosessien yhteisvaikutusten tarkastelua. Paperissa esitettävä optimointisimulaattori on kehitetty sektori-integraation vaikutusten tutkimiseen ja optimaalisen toteutuksen löytämiseen. Optimointi huomioi sekä taloudelliset että ympäristölliset vaikutukset kaukolämpö- että vesihuoltojärjestelmien osalta. Kaukolämpöjärjestelmän osalta simulaattorissa on mukana yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto



Kuva 1. Periaatekuva kaukolämpö- ja vesihuoltojärjestelmän sektori-integraatiosta.

(CHP), lämpökattilat (öljy ja sähkö), lämpöpumput sekä lämpövarastot. Lisäksi huomioidaan mahdolliset hukkalämmöt ja uusiutuvat lämpöenergiat. Energian kysyntäpuolella huomioidaan kiinteistökohtainen jäteveden lämmön talteenotto. Vesihuoltojärjestelmän osalta huomioidaan jäteveden lämpötilan vaikutus typen poiston tehokkuuteen.

CHP- ja lämpölaitokset mallinnetaan huomioiden niiden lämmön- ja sähköntuotannon hyötysuhteet, tehon muutosnopeudet sekä savukaasujen lämmön talteenotto (CHP). Lämpöpumppujen lämpökerroin (COP) perustuu lämpötilaeroon nielun ja lähteen lämpötilojen välillä. Varastointijärjestelmissä huomioidaan lämpöhäviöt sekä purku- ja lataustehokkuudet.

Dynaamista lämmönkulutusmallia käytetään ennustamaan rakennusten lämmönkulutusta. Huomioiden kaukolämpöverkkoon liittyvät lämpöhäviöt ja viiveet, lämmöntuotanto ennustetaan tuntitasolla perustuen ennustettuun lämmönkulutukseen. Energian tuotanto ja varastojen käyttö optimoidaan huomioiden taloudelliset ja ympäristölliset näkökohdat. Optimointiongelma muotoillaan joukoksi lineaarisia rajoitteita ja ratkaistaan käyttäen lineaarista sekalukuoptimointia (MILP).

Optimointisimulaattori on rakennettu modulaariseksi niin, että tutkittavan järjestelmän eri komponentteja, kuten lämmönvaihdin, lämpöpumppu, rakennuskohtainen lämmöntalteenotto, hukkalämmöt ja energiantuotantolaitokset, voidaan lisätä ja poistaa tarvittaessa. Tämä mahdollistaa eri skenaarioiden simuloinnin helposti. Simulointiskenaarioissa jätevesi lämmitetään 16, 20 tai 25 °C lämpötilaan hyödyntäen kaukolämmön paluuvettä. Referenssiskenaariona toimii kaukolämpöjärjestelmän ja jätevedenpuhdistamon nykytilanne. Simulaattori mahdollistaa myös tarkastelun tulevaisuuden tilanteelle, jossa kaukolämmön tuotantorakenne sähköistyy merkittävästi nykyisestä. Modulaarinen ja parametrisoitu toteutus mahdollistaa lisäksi simulaattorin siirrettävyyden ja soveltamisen sektori-integraation tutkimiseen eri kaupungeissa.

4 Tulokset ja johtopäätökset

Alustavat simulointitulokset osoittavat, että sektori-integraatio mahdollistaa jäteveden lämpötilan ympärivuotisen vakioinnin. Tämä parantaa merkittävästi puhdistusprosessin ja typenpoiston tehokkuutta, johtaen taloudellisiin säästöihin. Lisäksi sektori-integraatio on tulosten perusteella taloudellisesti kannattavaa kaikille osapuolille.

Rahoitus

Tämä tutkimus on rahoitettu Euroopan Unionin osarahoittaman EAKR hankkeen Kaukolämpö- ja vesihuoltojärjestelmän energiatehokas sektori-integraatio kaupunkien vihreän siirtymän edistämiseksi (KAVENERO) kautta.

Lähdeluettelo

- [1] Ahonen, M. (2021). Effects of wastewater heat recovery on nitrogen removal in Finnish wastewater treatment plants. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- [2] Laitinen, A., & Wallin, A. (2022). Jäteveden lämmön talteenoton energiatase kaupungissa. Tutkimusraportti VTT-R-00582-22. Espoo: VTT, 82 s.
- [3] Hepbasli, A., Biyik, E., Ekren, O., Gunerhan, H., & Araz, M. (2014). A key review of wastewater source heat pump (WSHP) systems. *Energy Convers. Manage.*, 88, 700–722.
- [4] Oulun yliopisto, 2024. KAVENERO – Kaukolämpö- ja vesihuoltojärjestelmän energiatehokas sektori-integraatio kaupunkien vihreän siirtymän edistämiseksi. <https://www oulu.fi/fi/projektit/kavenero-kaukolampo-ja-vesihuoltojarjestelman-energiatehokas-sektori-integraatio-kaupunkien-vihrean>