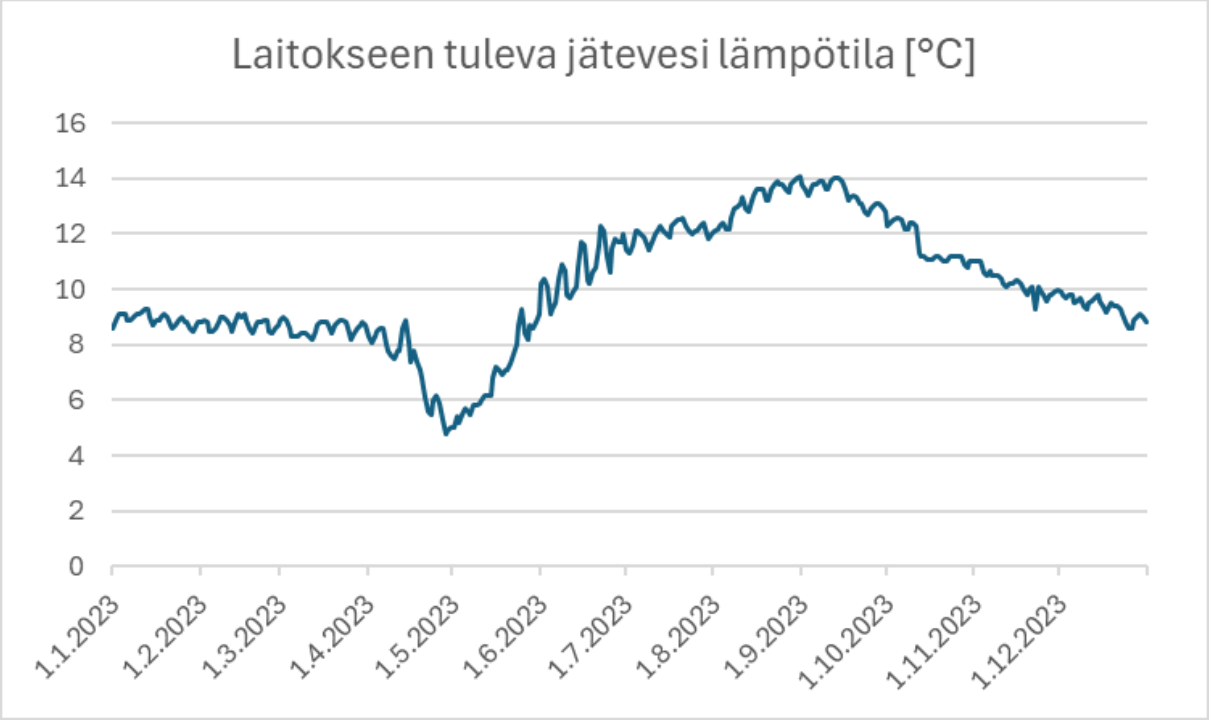
Hukkalämmön hyödyntäminen jäteveden puhdistusprosessissa, investointivertailu

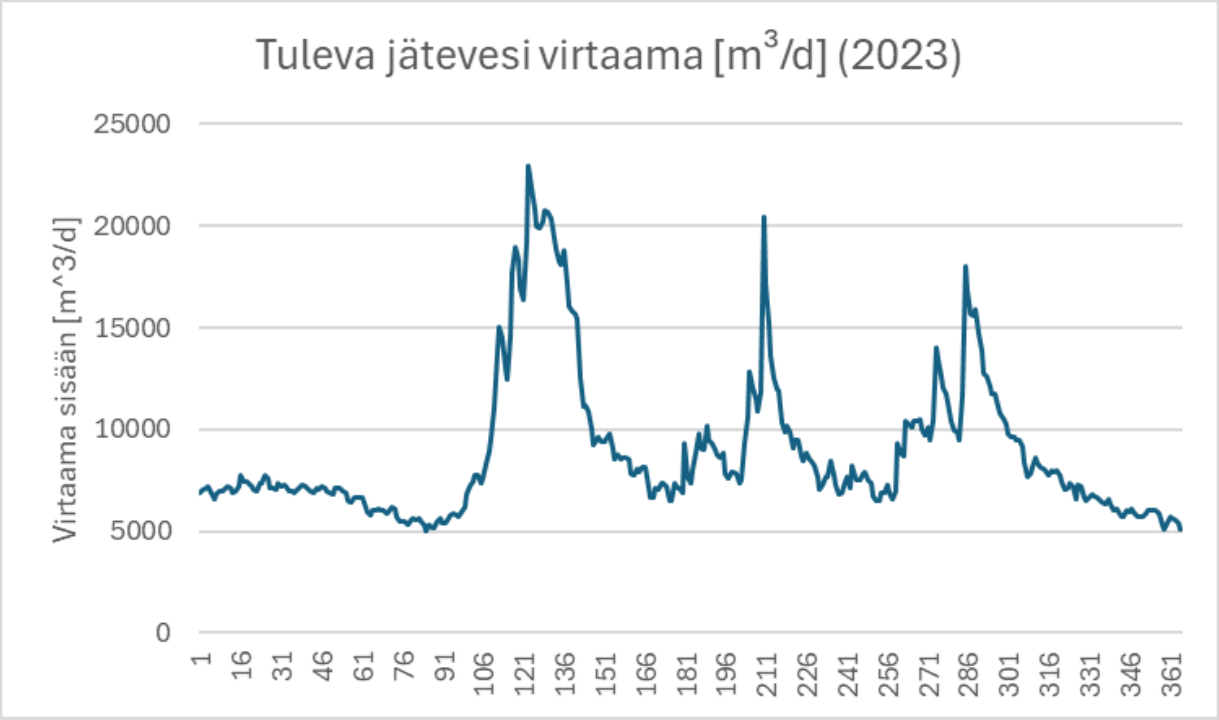
Kajaanin Case

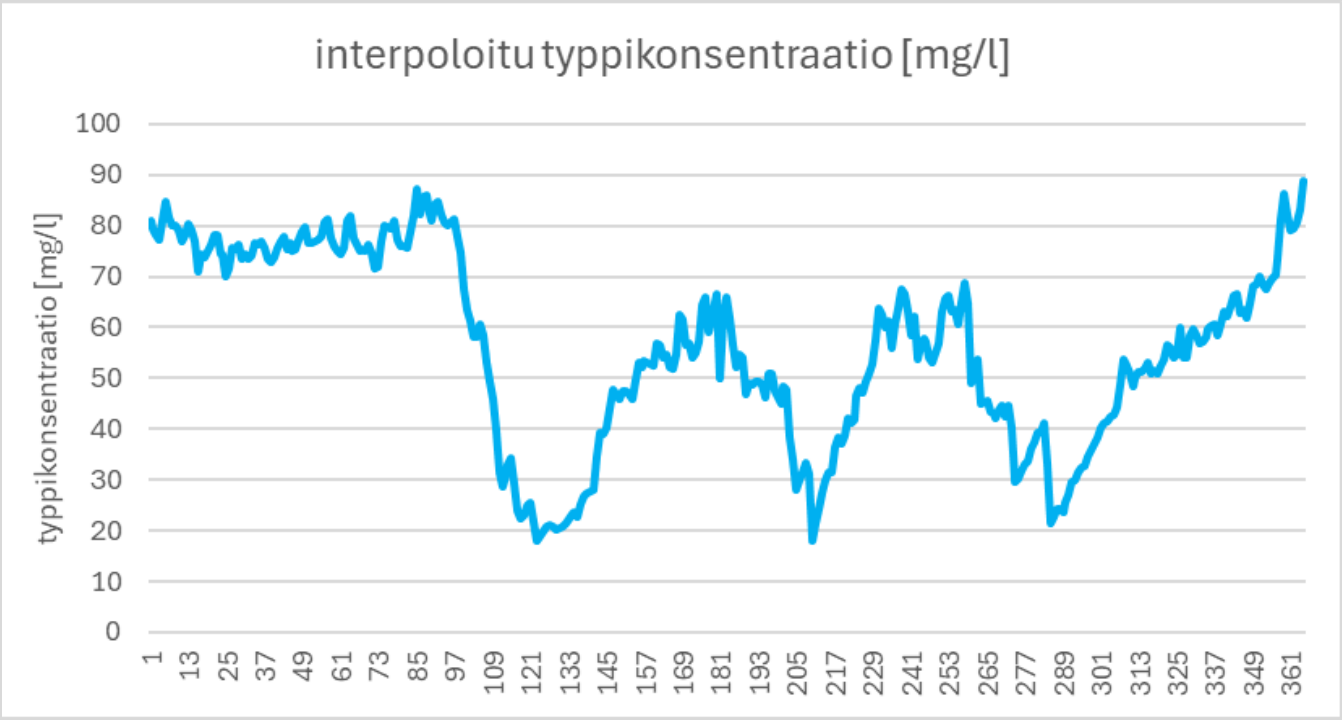
- Datakeskuksien hukkalämpöä tuotetaan Renforsin Rannan teollisuusalueella (datakeskukset) vuonna 2030 arviolta teholla 200 MW.
- Korkeampi jäteveden lämpötila tehostaa koagulaatiota, sekä erityisesti biologista prosessia.
- Kajaanin Vesi teettänyt yleissuunnitelman, jossa typenpoistoinvestointi suunniteltu 80 % ympärivuotisen typenpoistotehon saavuttamiseksi
- Biologinen prosessi suoritetaan 12 nitrifioivalla biostyr-solulla ja 8 denitrifioivalla biostyr-solulla
- Tutkitaan olisiko taloudellisesti kannattavampaa lämmittää jätevesi, jolloin puhdistusprosessi tehostuu, ja typenpoiston investointi ei olisi niin suuri.

Malli

- Prosessin simulointi ja mitotus matlabissa
- Nettonykyarvon laskut Excelissä
- Simulaatiodata 2023







matlab

- **Kemikaalin syöttö:**
- Peuraniemen datasta lineaarinen regressiomalli virtaaman ja lämpötilan suhteen
- **Lämmönvaihdin:**
- Mitoitus maksimilämmitystehon mukaan
- Investointi 100 000 €/MW (Mika Ruusunen)
- **Lämpöpumppu:**
- Investointi https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.104 mukaan. (vakio + lineaarinen riippuvuus)
- Kajaanin kaukolämpöverkko tulee saturoitumaan, joten lämpöpumpun lämmölle ei oletettu myyntiarvoa
- Ei lämmitetä kaukolämpöverkon lämpötilaan -> parempi COP-arvo.
- COP https://doi.org/10.3390/en10040578 mukaan arvioitu 5.

matlab

- **Nitrifikaatio ja denitrifikaatio:**
- **Keskeneräinen**
- Keksitty reaktiotilavuus -> virtaaman vaikutuksen mallinnus.
- Lämpötilariippuvuudet arvioitu kirjallisuuden avulla
- Reaktionopeudet vastaa suunnilleen Peuraniemen yleissuunnitelman arvoja (BaseCase)
- Investointi: arvioitu vakio (1,5 milj. €) + lineaarinen riippuvuus

Skenaariot

- 1: investointi neljään nitrifikaatio-, ja kahdeksaan denitrifikaatio-biostyr-reaktoriin. Yleissuunnitelman mukainen, vuodessa saavutetaan yli 80 % typenpoisto.
- 2: 80 % typenpoistovaatimus vain kun T=12 °C. Tälle ajalle jäteveden lämmitys 20 °C lämpötilaan.
- 3. Typenpoistovaatimus ympäri vuoden. Jäteveden lämmitys (16 °C tai 20 °C) ennen laitosta.
- 3. skenaarioon lisätään osassa vaihtoehdoista lämpöpumppu.
- 3. skenaariossa testataan seuraavia vesistöön sallittuja lämpökuormavaihtoehtoja: Ei lämpöpumppua (kaikki lämmitys menee vesistöön), 20GWh lämpökuorma vesistöön, Ei lämpökuormaa (vuodessa poistetaan saman verran lämpöä kuin lisätään).
- 4: Lämmitys ympäri vuoden 20 °C, lämpöpumppu poistaa kaiken lisätyn lämmön. Tuotetaan kaukolämpöön (COP 3,5, käytetty lämmön hinta 30 €/MWh).

ALUSTAVIA tuloksia

			T = 20 °C	T = 16 °C
	S.1	S.2	S.3	S.3
investoinnit [€]:				
Lämmönvaihdin	0	-791 896	-1 647 741	-1 202 405
Biologinen prosessi	-13 580 288	-6 533 453	-6 533 453	-7 540 144
Lämpöpumppu	0	0	0	0
yht.	-13 580 288	-7 325 350	-8 181 194	-8 742 549
Investoinnin muutos vs S.1	**0**	**6 254 938**	**5 399 094**	**4 837 739**
Käyttö [€/vuosi]:				
Kemikaali PAX	-256 442	-243 177	-197 381	-221 208
Lämpöpumppu_sähkö	0	0	0	0
Lämpöpumppu_lämmön myynti	0	0	0	0
yht.	-256 442	-243 177	-197 381	-221 208
Käyttö muutos vs S.1	**0**	**13 265**	**59 061**	**35 233**
Typenpoistoaste:	0,831	0,671	0,828	0,818
NPV, 20 v, verokanta 0,03	-17 395 497	-10 943 209	-11 117 727	-12 033 573
Vertailu Skenaarioon 1	**0**	**6 452 288**	**6 277 770**	**5 361 924**
Lämpökuorma vesistöön [MWh]	0	8752	38261	23140
Max virtaus dn-solun läpi m^3/d	20000	12500	12500	15000

ALUSTAVIA tuloksia

	T = 20 °C			T = 16 °C			
	S.3	S.3 + LP_jää20GWh	S. 3 +LP_jää0GWh	S.3	S.3 + LP_jää20GWh	S. 3 + LP_jää0GWh	S.4
investoinnit [€]:							
Lämmönvaihdin	-1 647 741	-1 647 741	-1 647 741	-1 202 405	-1 202 405	-1 202 405	-1 647 741
Biologinen prosessi	-6 533 453	-6 533 453	-6 533 453	-7 540 144	-7 540 144	-7 540 144	-6 533 453
Lämpöpumppu	0	-1 917 353	-3 487 187	0	-730 439	-2 300 273	-3 847 570
yht.	-8 181 194	-10 098 547	-11 668 381	-8 742 549	-9 472 988	-11 042 822	-12 028 763
Investoinnin muutos vs S.1	**5 399 094**	**3 481 741**	**1 911 907**	**4 837 739**	**4 107 300**	**2 537 466**	**1 551 525**
Käyttö [€/vuosi]:							
Kemikaali PAX	-197 381	-197 381	-197 381	-221 208	-221 208	-221 208	-197 381
Lämpöpumppu_sähkö	0	-486 697	-1 019 737	0	-83 679	-616 719	-1 631 580
Lämpöpumppu_lämmön myynti	0	0	0	0	0	0	1 606 970
yht.	-197 381	-684 078	-1 217 118	-221 208	-304 887	-837 927	-221 991
Käyttö muutos vs S.1	**59 061**	**-427 637**	**-960 677**	**35 233**	**-48 445**	**-581 485**	**34 451**
Typenpoistoaste:	0,828	0,828	0,828	0,818	0,818	0,818	0,828
NPV, 20 v, verokanta 0,03	-11 117 727	-20 275 907	-29 776 031	-12 033 573	-14 008 938	-23 509 062	-15 331 425
Vertailu Skenaarioon 1	**6 277 770**	**-2 880 410**	**-12 380 534**	**5 361 924**	**3 386 559**	**-6 113 565**	**2 064 072**
Lämpökuorma vesistöön [MWh]	38261	20000	0	23140	20000	0	0
Max virtaus dn-solun läpi m^3/d	12500	12500	12500	15000	15000	15000	12500

ALUSTAVIA johtopäätöksiä

- Lämpötilan nostolla saavutetaan merkittävä parannus erityisesti typen poiston tehokkuudessa.
- Tehokkuuden paraneminen mahdollistaa typenpoistoinvestoinnin pienentämisen nitrifikaatiosolujen osalta (12 -> 8) (nykyisin on jo 8) ja denitrifikaatiosolujen osalta (8 -> 5-6).
- Sulavesi- sekä myrskypiikit aiheuttavat haasteita ja olisi mahdollisesti järkevä pienentää, paikantamalla suurimmat hulevesien tulokohdat, ja tekemällä kohdennettuja korjauksia.
- Jos lämpökuormalle ei rajoituksia, S.3 (T20) on investoinniltaan kannattavin vaihtoehto.
- Jos lämpökuormalle rajoituksia, jätevesi on kannattavinta lämmittää juuri sallitun lämpökuorman rajalle.
- Lämpöpumppu ei ole järkevä, jos lämmölle ei löydy käyttötarkoitusta/ostajaa.