

Rakennusten ja pienten lämpölaitosten toiminnan yhteensovittaminen, ehdotus kokonaisuudeksi

Samuli Rinne / Chat GPT v5,
kommentoinut Sweco / Antti Mattila ja Jouko Väärälä

29.12.2025

Tiivistelmä

Kokonaisuudessa ehdotetaan pienille lämpölaitoksille ja rakennuksille, jotka käyttävät niiden tuottamaa lämpöä, seuraavaa pakettia ja mahdollisuuksien mukaan tuotteistamista:

- hyvään jäähtymään kannustava kaukolämmön hinnoittelu
- matalalämpötilainen lämmönjako lisälämmönsiirtopinta-alalla, järjestelmätason energiatehokkuus
- savukaasupesuri lämpölaitoksille, ellei jo ole, puhdasta ilmaa ja lähes ilmaista energiaa talteen
- sähkökattila, halvan sähkön tunnit käyttöön
- laitteet ja strategia biokattilan käyttöiän jatkamiseksi, vältetään lisäinvestoinnit
- ORC-turbiini pienimuotoiseen sähköntuotantoon, lisätuloja, joustavuutta ja huoltovarmuutta
- dieselaggregaatti CHP-kytkennällä, arvokas sähkön kalleimmilla tunneilla ja huoltovarmuuden kannalta
- lämpövarasto, mahdollistaa muutaman tunnin joustot siirtymille
- em. lämmönlähteiden käytön vuorottelun ja sähköntuotannon optimointiohjelma, joka mahdollistaa fyysisten laitteiden optimaalisen käytön

Toisin sanoen, järjestelmän toimintalogiikan olennaisia kohtia ovat mm. seuraavat:

- kun sähkö on alle polttoaineen hinnan, käytetään sähkökattilaa
- kun sähkö on yli polttoaineen hinnan, tuotetaan sähköä omalla turbiinilla tai pelkkää lämpöä polttoaineella ellei turbiinia ole
- kun lämpöä on tallessa halvoilta tunneilta, sitä otetaan varastosta
- kun kaukolämmön paluu saadaan viileänä, pesuri tuottaa maksimaalisesti

Konsepti on monistettavissa ja soveltuvuu tulevaisuudessakin olosuhteisiin, jossa esim. sähkön hinta edelleenkin vaihtelee voimakkaasti ja biomassan saatavuudessa voi olla rajoituksia eli käytännössä sen hinta nousee. Kun ratkaisuja suunnitellaan tällainen kokonaisuus mielessä, kyseessä on ikään kuin vakuutus tarpeettomia lisäkuluja vastaan tulevaisuudessa. Taloudellisesti mielessä kyse on siis kaksinkertaisen työn välttämisestä ja riskinhallinnasta.

Esityksessä keskitytään siihen, mikä on uutta tai melko vähän julkisuudessa keskusteltua eli tavanomainen energiatehokkuus (eristystaso, ikkunat, ledit, ilmanvaihdon LTO, invertterit jne.)

on pääosin rajattu pois. Olemassa olevassa rakennuskannassa nämä keinot on joko yleensä käytetty tai totutus on runsaasti liian kallista, esim. ulkovaipan lisäeristys ilman muuta korjaustarvetta.

Tavoitteena on luoda monistettava, kustannustehokas ja tulevaisuuden epävarmuuksia kestävä energiapaketti, joka:

- pienentää polttoaineenkulutusta 20–70 % savukaasupesurin paremman hyödyntämisen ja sähkökattilan avulla
- mahdollistaa matalalämpötilaisen lämmön myynnin ja käytön
- lisää joustavuutta sähkön hinnan vaihteluihin
- pidentää biokattiloiden käyttöikää ja vähentää investointipainetta
- parantaa huoltovarmuutta ja kriisinkestävyttä
- alentaa asiakkaiden kustannuksia ja lisää asiakastyytyvääisyyttä

Sisällys

Tiivistelmä	1
Kaukolämmön paluulämmön hinnoittelu	4
Valmiiksi pohdittu paketti matalalämpötilalämmitykseen	9
Suurehkon teollisuusrakennuksen energiatehokkuustoimet	12
Ilmanvaihdon likaisen poistoilman LTO	18
Pienemmän teollisuushallin lämmitys	24
Pienten kuntien kokonaisenergiaratkaisu	30
Pienen lämpölaitoksen monienergiapaketin ohjausjärjestelmän standardisointi.....	35
Sähkökattilan ja ORC:n käyttö arbitraasilla (pörssisähkö) tai reservimarkkinoilla.....	49
Biokattilan käyttöikää pidentävä kunnossapito	52

Kaukolämmön paluulämmön hinnoittelu

Yksi tehokas järjestelmätason energiatehokkuutta parantava ja mahdollisesti melko nopeankin investoinnin takaisinmaksun mahdollistava kokonaisuus on kaukolämmön parempaan jäähtymään ohjaava kaukolämmön hinnoittelu ja tekniset ratkaisut tämän toteuttamiseksi.

Parempi jäähtymä tarkoittaa tässä alhaisempaa kaukolämmön paluuveden lämpötilaa. Se määrittää, kuinka alhaisilla lämpötiloilla laitoksella voidaan tuottaa suoraan kaukolämpöä. Ts. jos paluulämpötila on alhainen, monista lähteistä saadaan jopa lähes ilmaista lämpöä. Mahdollisimman alhaisella lämpötilalla on etuja useilla eri lämmöntuotantotavoilla:

- Lämpö- tai kaukolämpövoimalaitoksella mahdollisesti olevasta savukaasupesurista saadaan parhaassa tapauksessa jopa kolmannes lisätehoa suoraan polttoainetehoon verrattuna, koska savukaasuja voidaan jäähdyttää ja etenkin niissä olevaa kosteutta lauhduttaa enemmän. Tämä lisäenergia tulee lähes ilmaiseksi, jos pesuri on jo olemassa. Pesuri sinälläänkin on varsin kannattava investointi.
- Datakeskusten, biojalostamojen ja vastaavien hukkalämpöä voidaan käyttää parhaimmillaan sellaisenaan, ilman kalliita ja sähköä vaativia lämpöpumppuja
- Jos järjestelmässä on lämpöpumppuja, niiden COP paranee eli sähkönkulutus pienee
- Sähköä tuottavalla kaukolämpövoimalaitoksella sähköntuotantohyötysuhde voi hiukan kasvaa, kytkennästä riippuen
- Mahdollisten lämpövarastojen kapasiteetti tilavuutta kohden kasvaa, koska käytettävissä oleva lämpötilaero kasvaa
- Putkiston lämpöhäviöt pienenevät

Normaali paluulämpötila 45...50 C voidaan hyvin suunnitellulla lisäjähdytyksellä saada esimerkiksi noin 20 asteeseen.

Seuraavassa pohditaan tätä tarkemmin AI:n kanssa, ihmisvoimin korjatuin vastauksin. Tekniset keinot ovat tässä passiivisia eli ilman lämpöpumppua toteutettavia. Niiden toteuttaminen on kannattavaa (jos muutenkin on) myös tilanteessa, jossa lämpöä tuottamaan asennetaan myöhemmin lämpöpumppu. Mutta lämmön kuluttajille annettava kannustin lienee ensimmäinen toimenpide, joka kannattaa tehdä eli aloitetaan siitä.

Kysymys: Puuta polttavalla kaukolämpölaitoksella, jossa on pienitehoinen ORC (5% kokonaisuudesta) ja savukaasupesuri, mietitään miten hinnoitella kaukolämmön paluulämpö siten että se kannustaisi kuluttajaa käyttämään joko pelkästään sitä (tavallisen kaukolämmön tai muun lämmityksen sijasta) tai sitten käyttämään muuten normaalia kaukolämpöä mutta jäähdyttämään paluuvetensä mahdollisimman alas (eli mihin kaukolämmössä sinänsä yleensäkin pyritään). Miten ko. paluulämpö pitäisi hinnoitella, tilanteessa, jossa sen tuotantokustannus on hyvin pieni (=pesurista saatavaa ekstralämpöä) mutta toisaalta tuotantomahdollisuus on rajallinen ja sidottu päätuotteeseen (tavallinen menoputkeen tuotettu kaukolämpö)?

Kuvattu tilanne (puulaitos + ORC + savukaasupesuri) tarkoittaa, että lämpöä on kolmeen “hinatasoon” jakautuvaa lähdettä:

Lämmön lähde	Tyypillinen lämpötilataso	Marginaalikustannus	Kommentti
Kattila	90–120 °C	n. 45 e/MWh	Pääasiallinen tuotanto, biomassan poltto
ORC-jäähdytys	70–90 °C	< 45 e/MWh, kun sähkön hinta >45	Sivutuotteena sähköntuotannosta
Savukaasupesuri	30–60 °C	< 5 e/MWh	Lähes ilmainen lisälämpö, mutta määrä rajallinen ja riippuu poltosta

1. Taloudellinen peruslogiikka

Paluulämpö (esim. 25–40 °C) on matalaeksergistä lämpöä, jota ei kannata hinnoitella kuten tavallista kaukolämpöä. Sille on kaksi rationaalista hinnoittelutapaa:

a) “Halpa lisälämpö” -logiikka (positiivinen, mutta selvästi alennettu hinta)

Jos kuluttaja ottaa paluulämpöä esim. käyttöveden esilämmitykseen tai matalalämpöiseen lattialämmitykseen, sen hinta voisi olla esim. 10–20 €/MWh, kun normaali kaukolämpö on 60–80 €/MWh. Tämä kannustaa passiivisesti tai lämpöpumpulla toteutettuun lisjäähdytykseen. Tällöin kuluttaja hyödyntää ylijäämälämpöä, jota muuten menisi hukkaan.

b) “Jäähdytyspalkkio” (bonus normaalille kaukolämmön käyttäjälle)

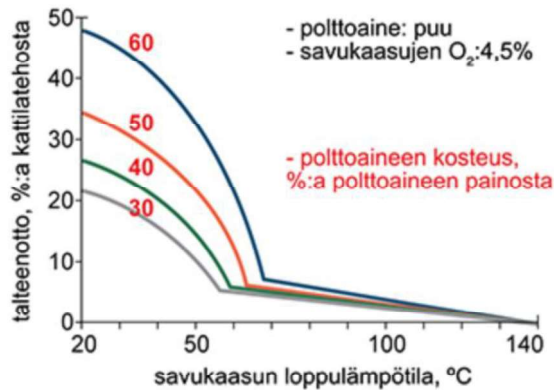
Joissakin verkoissa käytössä. Asiakkaan perusmaksuun tai energiamaksuun lisätään bonus, jos paluuveden lämpötila alittaa esim. 35 °C. Esim.

- perusmaksu 10 €/kW/a alenee 0,2 €/kW per alitettu aste
- tai energiamaksu laskee esim. 0,4 €/MWh jokaista alitettua astetta kohti. Näin saavutetaan esim. 10-20 % säästö niillä, jotka jäähdyttävät hyvin. Lisäenergia lisjäähdytyksellä on hyvin edullista, em. tuotantokustannuslogiikan mukaan.

2. Tuotantoketjun rajoitteet ja kapasiteettilogiikka

Savukaasupesurin hyöty on suurimmillaan kun paluuvesi on mahdollisimman kylmää:

- Kostealla polttoaineella jokainen laskettu aste parantaa lämmöntalteenoton tehoa noin 1 % suhteessa polttoaineen energiaan. Hyöty on sitä suurempi, mitä kosteampaa polttoaine on, ks. kaavio alla (lähde: Condens Oy).
- Jos paluulämpötila nousee yli 50 °C, pesurin hyöty lähes katoaa.



Toisin sanoen:

- Tuotantokustannus pienenee, jos kuluttajat jäädyttävät tehokkaasti.
- Tuotantokapasiteetti kasvaa, koska sama polttoaine tuottaa enemmän hyötylämpöä, parhaimmillaan jopa 40% (ei pesuria vs. pesuri ja hyvin alhainen paluulämpötila).

Näin ollen paluulämmön tehokkaasta hyödyntämisestä (tehokkaasta jäädytyksestä) kannattaa palkita.

3. Käytännön hinnoittelumalleja

Koska kyseessä on puupohjainen CHP/ORC + savukaasupesuri, paras käytännön ratkaisu olisi yhdistelmä:

1. Peruskaukolämpö:
Esim. 70 €/MWh (tavallinen lämmitys)
2. Matalalämpö/paluulämpötuote:
15 €/MWh (rajoitettu kapasiteetti, esim. 20 % verkon huipputehosta, ensin tilanneet saavat edun jos raja tulee vastaan)
3. Jäähdytyspalkkio:
Asiakkaan laskussa vähennys vaikkapa $0,4 \text{ €/MWh} \times (40 \text{ °C} - \text{todellinen paluulämpö, min } 0 \text{ °C})$. Jos paluu on 30 °C → 4 €/MWh hyvitys koko kaukolämpömäärälle. Tällainen malli on käytössä mm. Jyväskylässä, luvuilla 0,5 e/MWh / 35 °C.

Näin:

- Hyvin jäädyttävät asiakkaat alentavat koko verkon polttoainekustannusta.
- Matalalämpöasiakkaat hyödyntävät pesurin lämpöä.
- Laitos saa kannustimen pitää pesurin ja ORC:n tehokkaassa käytössä.

4. Strateginen viesti asiakkaalle

“Paluulämpö on ympäristöystävällisin ja edullisin lämmitysmuoto, mutta sitä on saatavilla vain rajallisesti. Jäähdyttämällä kaukolämpöveden tehokkaasti autat meitä hyödyntämään savukaasujen piilevän lämmön ja pienennät omaa laskuasi.”

Samalla hinnoitteluperiaatteella voidaan hyödyntää tehokkaasti myös esimerkiksi datakeskusten tai teollisuuslaitosten matalalämpötilaisia hukkalämpöjä. Kaukolämmön hinnoittelun kannattaa olla kustannusvastaavaa ja sellaista, että se todella houkuttelee liittymään kaukolämpöön ja tekemään ratkaisuja, joilla matalat lämpötilat saadaan hyödynnettyä.

Kysymys: Ajatellaan että tuotteet olisivatkin "liian kysytyjä", eli matalalämmön + jäähdytyspalkkion kysyntä ylittäisi tarjonnan eli esim. savukaasupesurista otettaisiin kaikki irti mitä saa. Miten tämän rajan voisi asettaa siten että säännöt olisivat kaikille samat?

Jos matalalämpö (savukaasupesurin lisälämpö) on liian halpaa ja siten liian houkuttelevaa, korostuu tarve reiluuteen, läpinäkyvyyteen ja dynaamiseen kapasiteetinhallintaan. Tässä on kolme periaatteellista mallia, jotka voidaan yhdistää.

1. "Rajakapasiteetin" käsite ja todellinen ongelma

Savukaasupesurin lämmöntuotto on likimain:

- suhteessa polttoaineen kosteuteen ja määrään, ja
- rajoitettu paluuveden lämpötilan kautta.

Jos paluulämpö on esim. 25 °C, saatava lisälämpö on 20–40 % kattilatehosta, jos paluulämpö on 50 °C, lisälämpöä ei juuri tule. Täten järjestelmässä on selvä *fysikaalinen kapasiteetti* matalalämmölle (esim. 1–3 MW). Jos asiakkaat haluaisivat yhteensä 5 MW, pitää päättää miten jaetaan rajallinen tarjottava.

2. Kolme oikeudenmukaista mallia kapasiteetin jakoon

A. Rajapistepohjainen hinnoittelu ("kelluva hinta")

Kuvitellaan, että matalalämmön hinta (tai jäähdytyspalkkio) alenee, kun kysyntä kasvaa, aivan kuten sähkömarkkinoilla. Esim.:

- Jos käyttö alle 80 % pesurin kapasiteetista → 15 €/MWh
- Jos 80–100 % → nousee asteittain 15 → 40 €/MWh
- Jos yli 100 % (eli varsinainen matalalämpö on loppu) → samanhintainen kuin tavallinen lämpö, 70 €/MWh

Etu: markkina hoitaa kohdentamisen automaattisesti, kannustaa järjestelmän kannalta optimaaliseen toimintaan

Haitta: asiakas ei voi ennustaa tarkkaa hintaa etukäteen.

Tätä voi toteuttaa käytännössä esim. kuukausikohtaisena "hintaindeksinä" (tai tariffiluokkana), joka päivittyy jälkilaskennassa.

B. Kiintiöpohjainen malli ("matalalämpöoikeus")

Tämä on läpinäkyvä ja helposti ymmärrettävä tapa.

- Laitos määrittää esim. kuukausittain käytettävissä olevan kokonaiskapasiteetin (esim. 10 GWh/a pesurilämpöä).
- Tämä jaetaan kullekin asiakkaalle esim. suhteessa normaaliin energiankulutukseen.
- Jokainen saa suhteessa saman osuuden pesurin lämpöä alennettuun hintaan.
- Jos käyttää enemmän, ylimenevä osuus hinnoitellaan normaalin lämmön mukaan.

Esim.: Kaikille asiakkaille tarjotaan 20 % heidän vuosikulutuksestaan "matalalämpökiintiönä" hintaan 20 €/MWh. Ylitys → 70 €/MWh.

Etu: erittäin reilu ja vakaa, helppo kommunikoida

Haitta: ei täysin dynaamisesti joustava optimointi (kiinteä määrä)

Tätä käytetään joissakin pohjoismaisissa verkkoalueissa "perusenergia + lisäenergia" -mallina.

C. Dynaaminen jäähdytyspalkkio riippuen verkon tilasta

Tässä mallissa verkon ohjausjärjestelmä mittaa todellisen paluulämpötilan koko verkossa (esim. 32 °C) ja säätelee bonusta sen mukaan, kuinka paljon jäähdytys on vielä "arvokasta".

Keskimääräinen paluuverkko °C	Jäähdytyspalkkio €/MWh/°C	alle 40 °C	Kommentti
45 °C	→ pesuri ei hyödynnä	0 €/MWh	Ei kannustinta
35 °C	→ optimaalinen	0,5 €/MWh/°C	Täysi bonus
25 °C	→ pesuri täyttymässä	0,2 €/MWh/°C	Bonus hiipuu
15 °C	→ maksimi saavutettu	0 €/MWh	Ei enää lisähyötyä

→ Tällöin järjestelmä pysyy automaattisesti tasapainossa, ja asiakkaille voidaan viestiä: "Jäähdytyksestä saa täyden hyödyn vain, kun verkon keskilämpötila on yli 30 °C."

Etu: tarkka ja automaattinen

Haitta: vaatii älymittauksen ja reaaliaikaisen tiedotuksen, ennakointi vaikeaa yksittäiselle asiakkaalle

Malli C muistuttaa mallia A, mutta on hieman eri tavoin muotoiltu toteutukseltaan. On lähinnä makuasia, kumpaa dynaamista ohjaustapaa pitää parempana.

3. Käytännön kompromissi

Useimmiten järkevin malli saattaa olla B + C -yhdistelmä, eli:

1. Kaikille kiintiö (esim. 10 % energiasta alennettuna 20 €/MWh),
2. Lisäksi dynaaminen jäähdytyspalkkio niille, jotka jäähdyttävät hyvin ja silloin kun siitä on hyötyä.

Näin:

- Kapasiteettiraja pysyy reiluna.
- Kuluttajien käyttäytyminen pysyy verkkoa hyödyttävänä.
- Järjestelmä on ennakoitava, mutta silti ohjaava.

4. Läpinäkyvä kommunikointitapa

Asiakkaille voisi viestiä näin:

"Savukaasupesurin tuottama matalalämpö on ympäristöystävällistä ja edullista, mutta sen määrä on rajallinen. Jotta kaikilla olisi samat mahdollisuudet hyödyntää sitä, jokaiselle asiakkaalle varataan oma osuus alennettuun hintaan. Lisäksi jäähdyttämällä vesi mahdollisimman alas silloin, kun hyöty on suurimmillaan, voit ansaita lisähyvitystä."

Valmiiksi pohdittu paketti matalalämpötilalämmitykseen

Kysymys: Mahdollisesti asiakkaalle voisi tarjota myös ohjeet siitä, miten ko. paluulämpötila saavutetaan? Kaukolämmönvaihtimen kunto ja säädöt on tavanomainen ensin tarkistettava asia, mutta yleensä tarvitaan jotakin muutakin. "Yleiskeino" voisi olla lisäpatterit (lisää lämmönsiirtopinta-alaa) ilmanvaihtoon eli yksi tuloilmaan ja yksi ulkoilmakanavaan jäätyminenestoon glykolikierrolla ja nämä sarjaankytkettyinä nykyisen ilmanvaihtopatterin kanssa siten että ilma ja kiertoneste kulkevat vastavirtaan? Vai olisiko jotakin yksinkertaisempaa ratkaisua? Toisaalta tuosta voisi tehdä valmiiksi karkeasuunnitellun tuotteen?

Erittäin hyvä idea. Käytännössä "paluuvien jähdytyspaketti" toteutetaan niin, että paluuvesi (joko erikseen "ryöstöllä" paluuputkesta otettuna tai normaalin menopuolen jatkona) luovuttaa lämpöä matalalämpöisiin kohteisiin (IV-esilämmitys, käyttöveden esilämmitys, lattialämmitys, tms.). Alla toimivin tapa, yksinkertaisesta lähtien, modulaarisesti tuotteeksi asti.

1) Toimintaperiaate (prioriteettijärjestys)

1. KV-esilämmitys paluuedellä (sarjaankytkentä)
Kylmä vesi → P1-levylämmönvaihdin (paluuvesi) → P2-levylämmönvaihdin (menovesi) → hanat. Vaihtimet voivat olla myös primääripuolelta sarjassa, ellei erillistä 3-putkiryöstökytkentää ole.
– Nostaa kylmän veden esim. 5→30 °C paluulämmöllä, menoveden tehtävä jää pienemmäksi.
– Yksinkertaisin ja tehokkain tapa laskea paluuta, mutta potentiaali varsin rajallinen.
2. Tuloilman esilämmitys paluuedellä (sarjaankytkentä IV-koneessa)
IV-koneeseen kytketty lisälämmityspatteri, ennen nykyistä patteria (vastavirta-ilma/vesi).
– Säilytä nykyinen "menopatteri" perässä viimeistelemässä lämpötila.
– Glykolikierto (30 %) kennolle ja levylämmönvaihdin paluuvesi ↔ glykolipiiri jäätymsriskin takia.
3. Matalalämpötilaiset lämmönlouovuttimet
Lattialämmitys, isot lisäpatterit/puhallinpatterit, IV-esilämmitys → syötetään ensin paluuedellä (ryöstöstä/sarjassa), ja vasta kun paluueenergia ei riitä, avataan menovesi.
– Ohjaus: "ΔT-optimointi" – PID/porrastus avaa menoventtiiliä vasta kun paluuverkko ei yksin pysty pitämään asetusrvoa.

2) Yksinkertaisemmat vaihtoehdot (jos halutaan minimoida muutokset)

- Pelkkä KV-esilämmitys paluuedellä (1 levylämmönvaihdin, 2 venttiiliä, 1 kierto-pumppu). Esim. GST:llä on myös ns. väliottokytkentä jäähtymän parantamiseksi.
- Yksi lisäpatteri (tai puhallinpatteri) suurimpaan tilaan, vesipuolelta sarjaan nykyisten pattereiden jälkeen tai suoraan paluuedellä, ja ilmapuolelta erikseen tai sarjaan ennen nykyisiä pattereita.

3) "Paluuserja" – tuoteaiho (modulaarinen)

Runko (kaikille yhteistä):

- Kompakti kaukolämmönvaihdinkeskus, jossa:
 - L1: Levylämmönvaihdin (paluuvesi ↔ matalalämpötilainen sekundääripiiri),
 - P: Taajuusohjattu kiertovesipumppu,

- V1–V3: 2-/3-tieventtiilit (sähkötoimiset), takaiskut, linjasäätö, tyhjennys,
- T & q: Anturit menolle/paluulle, virtausmittari, ΔT -laskenta,
- Säädin: ΔT -optimointialgoritmi + rajat (min paluu, min IV-kennon paluu, jäätymissuoja), Modbus/BACnet.

Modulit:

- A – KV-esilämmitin
- B – IV-esilämmitys: run-around-loop (glykolipiiri) + kanavapatteri(t)
- C – Matalalämpöpiiri: lattialämmityksen/isojen lisäpatterien syöttö paluuedellä (pieni sekoitusryhmä).
- D – Puhallinpatteripaketit: suoraan paluulta, hiljaiset EC-puhaltimet.
- E – Datanäyttö: ΔT , säästetyt tai paluulämmöllä lisänä tuotetut MWh:t, hiilikädenjälki. Helppo viestiä käyttäjälle ja laskutuksessa huomioitavissa.

4) Ohjauslogiikan ydin (ΔT -optimointi)

- Tavoitepaluu esim. 20–30 °C, jopa alempikin tehokkaalla IV-kytkennällä
- Säädin maksimoi paluueden kuorman (KV-esilämmitys, IV-esilämmitys, lattiat), ja avaa menoventtiiliä vasta kun asetusarvo ei muuten täyty.
- Kesätila: KV-esilämmitys on lähes ainoa kuorma → hyväksy korkeampi paluulämpötila (tai pidä min ΔT -palkkiot pois kesällä).
- Jäätymissuoja: IV-glykolipiirissä min-menolämpötila ja min-virtauksen valvonta; hälytys, jos tuloilma lähestyy 0 °C (ei-glykolipitoinen piiri ei saa jäätymä välillisesti).
- Rajat: ei liian kylmää huonetilaa → huonelämmön prioriteetti $> \Delta T$. Heti kokeiluvaiheessa paluulämpötilan alentamispyrkimykseen tulee liittää asukkaille mahdollisuus kertoa helposti, jos huonelämpötila ei pysy tavoitearvossa. Mahdolliseen valitukseen tulee myös reagoida välittömästi esim. nostamalla säätökäyrää.

5) Karkeat mitoituspeukalosäännöt

- Paluueden jäähdytysteho:
Esim. 1 m³/h (0,278 kg/s) ja 5 K → ~5,8 kW jäähdytysteho paluussa.
- Tuloilma: 1 m³/s, ΔT_{ilma} 5 K → ~6 kW kuormaa paluulle.
- KV-esilämmitys: 10 l/min kylmää vettä 5→30 °C → ~6 kW jatkuvaa. Legionellariskin takia alle +58°C käyttövedtä ei voi varastoida isoissa puskurisäiliössä. Pienet muutaman litran vesitilavuudet alle +58°C vettä esim. lämmönsiirrinkierukassa ovat kuitenkin hyväksyttävissä. KL-primääripuolelle voidaan laittaa varaajia, mutta niiden pitää olla rakenteeltaan 16 bar paineen kestäviä.

6) Asennus & käyttöönotto – tarkistuslista

1. Nykyisen vaihtimen kunto: lika, Δp , ilmaus, suodattimet, venttiilit
2. Hydraulinen perussäätö: D_p -säätöventtiilit, lukitukset, ohivirtausten eliminointi.
3. Runko (esieristetty kaappi), sähkö ja tietoliikenneväylä.
4. Moduulit valitun tarpeen mukaan (A aina, B/C/D tarpeen mukaan).
5. Anturit kalibrointi ja ΔT -käyrä: aseta tavoite 30 °C, haarukka 25–35 °C.
6. Jäätymissuoja testaus IV-pattereille (glykolipiiri + min-virtaus).
7. Data näkyväksi (näyttö/portaalinäkymä) – helpottaa myös jäähdytyspalkkion todentamisen.

7) Turvallisuus ja rajat

- IV-patterit aina glykolilla (kierto), väliin levylämmönvaihdin → ei jäätymisriskiä suoraan KL--paluuseen.
- Hygienia: KV-puoli aina omassa levylämmönvaihtimessa (ei koskaan samaa piiriä).
- Vikatilassa: venttiilit ajautuvat menolle eli lämmitystaso säilyy, paluujäähdytys vain poistuu.

Yhteenveto

- Yleiskeino on täysin mahdollinen: KV-esilämmitys + IV-esilämmitys sarjaan nykyisten kanssa, glykolikierto väliin.
- Vielä yksinkertaisempi aloitus: KV-esilämmitys paluuedellä – halpa, tehokas, lähes joka kohteessa kannattava.
- Tämän voi tuotteistaa “Paluu+-Kitiksi” (runko + A/B/C/D-moduulit + ΔT -ohjaus).
- Kun yhdistät tämän aiemmin luonnosteltuun kiintiö + lämpötilahaarukka + sanktio/bonus -tariffiin, saat sekä teknisesti että taloudellisesti toimivan kokonaisuuden, jossa säännöt ovat kaikille samat ja toteutuvat mittauksin.

Suurehkon teollisuusrakennuksen energiatehokkuustoimet

Kysymys: Listaa teollisuusrakennukseen sopivia energiatehokkuustoimenpiteitä, huomioiden myös kaukolämmön paluuveden käyttömahdollisuus. Noin 5 m korkea. Osassa rakennusta hyvät LTO:t. Enimmäkseen ledit valaistuksessa kauttaaltaan. Vanhat ilmanvaihtokoneet uusittaneen lähivuosina. Suurimmat ilmavirrat ovat jo LTO:lla. Nestekiertoinen LTO uusissa tiloissa. Ilman sisääntulolämpötila 18...20 astetta.

Olen jakanut “nopeat”, “keskitason” ja “isot investoinnit” – ja nostanut erikseen kaukolämmön paluuveden hyödyntämisen tavat.

1) Nopeat ja halvat (takaisinmaksu tyypillisesti viikoissa–kuukausissa)

Ohjaus ja käyttö

- Aikataulut ja asetusarvot kuntoon: yö-/viikonloppualueennukset, vyöhykekohtaiset lämpötilat (tuotanto/varasto/toimisto), “ei lämmitetä tyhjää tilaa”.
- Ilmanvaihdon todellinen tarpeenmukaisuus vanhalle puolelle: 2-teho → käytännössä usein “liikaa tai liian vähän”. Jo nyt voi säätää käyttöaikoja, painesuhteita ja minimi-ilmavirtoja.
- Kiertoilmakoneen ylimeritys kuriin: pienempi ilmamäärä + parempi sekoitus (ja tarvittaessa destratifointi) vähentää sekä puhallinsähköä että lämmitysenergiaa.

Hallin lämpötilajakauma korkeussuunnassa = “ilmainen säästö” usein

- Destratifointi / sekoituspuhaltimet: laskevat katon rajassa roikkuvaa lämpöä alas → usein mahdollistaa 1–2 °C alemmat asetusarvot tai pienemmän lämmitystehon. Ensin kannattaa kuitenkin mitata lämpötilat eri korkeuksilla. Jos ylhäällä on yllämpöä, seuraavaksi voi tarkistaa mahdollisen puhallinpattereiden suuntauksen ja sen jälkeen harvita sekoituspuhaltimia.

Vuodot ja ovet

- Ovien/lastauksen ilmapuodot: tiivisteet, sulkutilat, ovien ohjaus, ilmasuojat/ilmaverhot tarpeen mukaan. Tämä voi olla iso “piilokuorma”.

Valaistus

- LEDit jo ok → vielä läsnäolo- ja päivänvalo-ohjaus varastoihin/kulkureiteille ja ulkova-laistukseen. Kannattaa aloittaa niistä hallien osista, jotka ovat pitkiä aikoja tyhjiällä.

Paineilma

- Vuotokartoitus + paineen optimointi (esim. -0,2...-0,5 bar jos prosessi sallii) + tyhjäkäynnin minimointi. Tämä on usein nopein sähkö säästö isossa hallissa.
- Asiantuntijan suorittamalla vuototarkastuksella havaitaan paineilmankulutusta lisäävät vuodot tehokkaasti.

2) Keskitason investoinnit (vuosi–pari)

Ilmanvaihtokoneiden uusiminen tarpeen mukaan. Kun koneet uusitaan, valitse speksi niin että:

- EC/taajuusmuuttajakäytöt (ei enää esim. 2-teho) + ilmamäärän ohjaus (CO₂/VOC/paine/tuotannon tila).
- Hyvä LTO + ohitus + huollettavuus (likaisilla poistoilla helppo puhdistus edistää merkittävästi pysyvää energiatehokkuutta).
 - Paine- ja ilmavirtojen mittaus (ei pelkkää “asetusarvoa”), jotta nähdään oikea toiminta. Mittauksella IV saadaan toimimaan kuten nykytilanteessa (oletus, että IV nyt säädetty ja tasapainossa)

Kompressoreiden hukkalämmön talteenotto vesikiertoon

- Vesikiertoinen LTO suoraan kompressorista → lämpö joko
 - rakennuksen tuloilman jälkilämmitykseen,
 - tilalämmityspattereille / puhallinpattereille, tai
 - kaukolämmön paluupuolen esilämmitykseen (ks. kohta 3).
 - LTO ei välttämättä kuitenkaan toimi paluulämmön esilämmitykseen, riippuu kompressorista ja toteutustavasta. Kannattaa tarkistaa ensin.
- Toteutuksessa tärkeää: kytkentä siten että kesälläkin saadaan lämpöä talteen (esim. käyttöveden esilämmitys, prosessit, varasto- tai sosiaalitilojen lämmitys, mahdollinen lämpövarasto).

Alipainepumput ja muut prosessipoistot

- Jos poisto on LTO:lla, varmista että lämmönvaihdin on pestävä. Kondensoivan ja likaisen osan tulee olla erillisiä. Likainen LTO, joka tukkeutuu, häviää nopeasti hyötylaskelmista.

3) Kaukolämmön paluueden hyödyntäminen – käytännön kytkentäideat

Tavoite: saada matala lämpötila käyttöön ja paluu mahdollisimman viileäksi.

A) Kaksivaiheinen tuloilman lämmitys (yleensä paras ratkaisu)

- 1. vaihe: ulkoilma esilämmitetään kaukolämmön paluuedellä (tai paluun ja hukkalämpöveden “matalalämpölenkillä”).
- 2. vaihe: tarvittaessa nostetaan lopulliseen tuloilmalämpöön kaukolämmön menovedellä / sekoituksella.

Hyödyt: paluuvesi pääsee tekemään työtä, ja menovesi tekee vain “viimeisen noston”.

Jäätymissuoja kannattaa tehdä “idioottivarmaksi” eli ulkoilmapatterille usein järkevin on glykolikierto välipiirinä toisiopiiristä + pakkasvahti + varma ohitus/kierto.

Toteutettavuus riippuu vahvasti siitä, mahtuuko nykyiseen IV-koneeseen uusi esilämmityspatteri ja tarvitseeko puhallin uusia vai ei (lisääntynyt painehäviö).

B) Oma matalalämpöinen lämmönjakoverkko vanhalle puolelle

- Tehdään 35–45 °C (tai jopa alempi) lämmitysverkko isoilla lämmönluovuttimilla: puhallinpatterit, suuret vesikiertoiset patterit, säteily-/paneelilämmitys, lattialämmitys tietyillä alueilla.
- Tätä verkkoa syötetään ensisijaisesti kaukolämmön paluusta + hukkalämmöistä (kompressorit), ja tarvittaessa priimataan menovedestä.

Laitteilla saattaa olla isot kustannukset, koska matala lämpötila tarkoittaa melko kookkaita laitteita. Säteily- ja lattialämmitys kustannustehokkainta toteuttaa.

4) Sähkön hintavaihtelun hyödyntäminen (vaikka energia olisi “kiinteähintainen”)

Jos on kuitenkin jonkinlaisia teho-/siirtokomponentteja tai “huippujen välttämisen” arvoa:

- Kuormanohjaus: kompressorien käyttöstrategia, ilmanvaihdon tehot, mahdollinen sähköinen lisälämmitys/varalämmitys pois huipputunneilta.
- Lämpövarasto (pieni vesitankki) voi tehdä tästä helppoa: otetaan kompressorilämpö talteen ja käytetään myöhemmin, samalla tasataan käyntiä.
- Saadaan mahdollisesti laskettua sähkön perusmaksua jos laskutus €/kW.

5) Isot investoinnit (jos haetaan seuraava 10–25 % eikä vain “pari %”)

- Vanhimpien osien vaippa/ovet/ikkunat/katto: etenkin lastausalueet ja vuotokohtat.
- Keskitetty BMS + alamittarointi (vyöhykkeittäin ja isoille kuormille: kompressorit, IV, prosessit). Tämä maksaa itsensä usein takaisin, koska löydetään “yöllä käyvät” ja väärät asetukset.
- Poistoilmalämpöpumppu vain jos likaiset poistot saadaan järkevästi eroteltua ja vietyä helposti pestävään lämmönvaihtimeen, ja jos on tai tehdään sisäinen matalalämpöverkko, muuten hyöty jää vajaaksi. Hyvät LTO:t uusissa tiloissa → fokus vanhan puolen poistoihin ja hukkalämpöihin.
- PILP-toteutus likaisiin poistoilmoihin voi olla haastavaa, koska kylmä liuos saattaa aiheuttaa poistoilman lian pahempaa tarttumista lämmönsiirtimen pintaan.

Jos pitäisi priorisoida teidän tapauksessa (todennäköisin paras vaikutus/€)

1. Kompressorien vesikiertoinen hukkalämpö talteen (ja kytkentä joko tuloilmaan tai kaukolämmön paluusta otetun lämmön jälkilämmitykseen).
2. IV-koneuusinta: 2-teho → VSD/EC + tarpeenmukaisuus + LTO + mittaukset.
3. Matalalämpöinen lämmönjako (jotta paluuvesi ja hukkalämmöt oikeasti riittävät). Tehokkuus riippuu lämmönjaon toteutustavasta, lattialämmitys ja säteilylämmitys kustannustehokkaimmat toteutuskohteet.
4. Destratifiointi + ovivuodot (mahdollisesti iso vaikutus hallissa). Oviverhopuhaltimet ja säteilylämmittimet voisivat olla optimaalisin vaihtoehto.
5. Paineilman vuoto- ja paineoptimointi.

Seuraavaan taulukkoon on koottu toimenpiteitä ja hinta-arvioita niille.

#	Toimenpide	Vaikutus	CAPEX (k€)	Säästöarvio	Tyyppillinen TMA	Eriyishuomio paluuvesi / matalalämpö
1	Energiaseurannan “peruspaketti”: alamittarit (IV, kompressorit, prosessit), trendit, hälyrajat	Sähkö + lämpö	10–60	Yht. 2–6%	0,5–2 a	Mahdollistaa myös paluueden jäähtymän seurannan ja dataa tariffioptimointiin
SWECO KOMMENTTI: Kustannukset vaikuttavat melko korkeilta. Säästö- ja takaisinmaksu-arvio melko optimistinen.						
2	Aikataulut & asetukset (lämpö, IV, kiertoilma): yö/viikonloppu, vyöhykkeet, minimi-ilmavirrat	Sähkö + lämpö	0–10	Lämpö 2–8%, sähkö 0,5–2%	heti–1 a	Helppo “ensimmäinen kierros” ennen mitään investointia

SWECO KOMMENTTI: Kustannukset yleensä 2-10k€ luokkaa. Säästö- ja takaisinmaksuarvio melko optimistinen.						
3	Destratifiointi / HVLS-sekoitus (high vol low speed) halliin: pudottaa kattolämpöä alas, pienentää lämmitystarvetta	Lämpö (+ vähän sähköä)	10–80	Lämpö 2–7%	1–4 a	Toimii erityisen hyvin hallissa
SWECO KOMMENTTI: Kustannukset riippuvat suuresti kohteesta ja muutostarpeesta. Säästöarvio on realistinen, mutta takaisinmaksuaika vaikuttaa optimistiselta.						
4	Ovet ja ilmapuodot: tiivisteet, sulku-tilat, ovien ohjaus ja nopeus, ilmaverhot kuormituspisteisiin	Lämpö	5–150	Lämpö 1–10% (riippuu oviliikenteestä)	1–5 a	Ilmaverhot voivat olla edullisia laitehankintoina, mutta teollisuusluokassa mitoitus ratkaisee.
SWECO KOMMENTTI: Kustannukset riippuu hyvin paljon kohteesta. Säästöarvio on realistinen, mutta takaisinmaksuaika vaikuttaa optimistiselta.						
5	Kiertoilmakoneen ylimitoituksen korjaus: ilmamäärät alas, taajuusmuuttaja, ohjauslogiikka, parempi sekoitus	Sähkö + lämpö	5–40	Sähkö 0,5–3%, lämpö 0–2%	1–4 a	Puhaltimet syövät ylilättävän paljon, jos pyörii varmuuden vuoksi
SWECO KOMMENTTI: Kustannukset riippuu hyvin paljon kohteesta. Säästöarvio riippuu hyvin paljon kohteesta.						
6	Paineilma: vuoto- ja korjaukset	Sähkö	2–20	Kompressoriosuudesta usein 10–30% (koko-nais-sähköstä usein 0,5–5%)	0,2–2 a	Vuotoja voi olla merkittävästi; paineilmaan liittyvä analyysi on Motivan mukaan tyypillinen säästökohde. (Motiva)
SWECO KOMMENTTI: Kustannus- ja säästöhaitari vaikuttaa realistiselta. Jos paljon vuotoja, voivat kustannukset nousta tuosta. Vuototarkastus syytä suorittaa aina ultraäänianturilla.						
7	Paineilma: paineen optimointi (esim. -0,2...-1,0 bar jos prosessi sallii)	Sähkö	0–10	Nyrkkisääntö: ~7% energiaa / 1 bar (kompressoriosuus)	heti–1 a	Hyvin dokumentoitu nyrkkisääntö. (Motiva)
SWECO KOMMENTTI: Kustannus- ja säästöhaitari vaikuttaa realistiselta. Monesti paineen taso jo optimoitu, jolloin yksi vaihtoehto on lisätä mankuventtiilit päälinjoihin (kiinni kun ei tarvetta).						

8	Kompressorien vesikiertoinen LTO + puskuriva- raaja	Lämpö (+ usein myös jäähdytyk- sen vähe- nemä)	20– 120	Lämpö 3–15% (jos kompressorit käyvät paljon)	1–4 a	Atlas Copcon kon- septina: hukka- lämpö talteen kuu- maksi vedeksi + va- rastointi “pusku- risäiliöl”. (Atlas Copco)
SWECO KOMMENTTI: Kustannushaitari vaikuttaa realistiselta. %-säästö riippuu LTO:n suhteesta kulutukseen. Saattaa onnistua nyk. kompressoria päivittämällä tai voi edellyttää täysin uuden kompressorin.						
9	Kompressoriläm- mön kytkentä “matalalämpö- lenkkiin”: tuloil- man esilämmitys / puh.patterit / prosessit	Lämpö	#8 + 10– 80	Parantaa #8:n käyttöastetta → säästö kasvaa	1–5 a	Tässä kohtaa kan- nattaa suunnitella matalalämpöinen jakoverkko (35– 45 °C) sopiviin paikkoihin
SWECO KOMMENTTI: LTO-piiri +45/+35°C versus +65/+35°C noin 10 % pienempi LTO-teho. Eli hieman parantaa säästöä. Investointikustannus riippuu paljon siitä kuinka paljon matalalämpöverkon tekeminen maksaa, voi olla reilustikin yli 80k€. Kustannustehokkaampaa pääsääntöisesti liittyy nykyiseen lämmitysverkostoon.						
10	Kaksivaiheinen tuloilman läm- mitys (uusinnan yh- teydessä): 1) pa- luuvesi esiläm- mittää, 2) meno- vesi viimeistelee	Lämpö	10– 60 (lisä)	Lämpö 0–5% + parempi jääh- tymä	2–6 a	“Paluuvesikelpoi- nen” rakenne: te- kee paluusta ai- dosti hyödyllistä ja laskee sekundaari- puolen lämpötila- tasoja
SWECO KOMMENTTI: Todella haastavaa arvioida investointikustannuksia, saattaa edellyttää IV-koneen uusinnan ja IV-konehuoneen saneerauksen (pieni konehuone, jossa ei tilaa lisäpatterille. Lisäksi oletettavasti edellyttää ns. paluulämpöliittymän KL-puolelta.						
11	IV-koneiden tar- peenmukainen uusinta: 2-teho → VSD/EC + tar- peenmukaisuus + hyvä LTO + mit- tauokset	Sähkö + lämpö	150– 600	Lämpö 5–20%, sähkö 1–6%	3–8 a	Motivalla korostuu teollisuuskohteissa yleis- ja prosessi- IV:n yhteisohjaus ja säästö. (Motiva)
SWECO KOMMENTTI: Monesti puhaltimien uusinta hyvinkin kustannustehokasta ja jonkin verran tekoälyn arviomaa hintaa alhaisempi. Sähkön säästö noin 20-30% nykyisestä puhallinsähköstä.						
12	Likaiset poistot (alipainepumput ym.): pes- tävä/tarvittaessa kondensoiva	Lämpö (+ käyttövar- muus)	10– 150	Säästö riippuu nykyisestä tuk- keutumisesta; usein “varmuus- säästöä”	2–7 a	Usein tämä mak- saa itsensä takai- sin siinä, että LTO toimii oikeasti ym- päri vuoden

	esiaste ennen herkkää LTO:ta					
SWECO KOMMENTTI: Riippuu hyvin paljon poiston likaisuudesta ja kuinka pudistettavissa lika on. Takaisinmaksuaika arvio melko optimistinen.						
13	Rakennusautomaatio/BMS laajennus (koko vanha puoli + trendit + optimointi)	Sähkö + lämpö	50–250	Kokonaisena usein 2–8%	2–6 a	Caverionin yleisväite: rakennusautomaatio on luokkaa ~1% rakennuskustannuksista. (Caverion)
SWECO KOMMENTTI: Kustannusarvion yläpää melko korkealla. Oletettavasti 15-80k€ investointi. Säästö riippuu hyvin paljon lähtötilanteesta 3-10% luokkaa.						
14	Vaipan parannukset vanhemmissa osissa (katto, ovet, vuotokohdat, mahdolliset ikkunat)	Lämpö	50–500	Lämpö 2–10%	4–12 a	Suurin hyöty usein ovissa/lastauksessa ja yläpohjan vuodoissa; “kohdenna, älä tee kaikille”
SWECO KOMMENTTI: Kustannushaarukka ja säästöarvio tuota luokkaa. TMA yleensä 20-50 v luokkaa, yleensä ei ole perusteltavissa pelkällä energiasäästöllä.						
15	Sähkön kulutuskustannukset (huiput alas): ohjauslogiikat, kompressorien ajo, IV-tehot, pieni lämpövarasto	Sähkö	5–100	Vuositasolla usein 1–5% kustannusvaikutus (teho-maksu/siirto riippuen)	1–6 a	Teillä jo ajatus 3–5%: tämä on realistinen, jos teho-/siirtokomponentti puree
SWECO KOMMENTTI: Riippuu hyvin paljon ohjattavista tehoista ja niiden suuruudesta.						

Ilmanvaihdon likaisen poistoilman LTO

Tehtaalla on joitakin likaisen poistoilman lähteitä (höyryjä prosessista, pölyä jne.). Mitä materiaaleja lämmönvaihtimissa kannattaisi käyttää ja minkä tyyppiset lämmönvaihtimet tulisivat kyseeseen? Hyötysuhteesta voi hiukan tinkiä, jos toimintavarmuus saadaan hyväksi.

Lämmönvaihdintyyppi: mitä kannattaa harkita

1) Välipiirillinen (glykolivesi) "run-around" -järjestelmä (yleensä varmin)

- Poistopuolelle oma ilma-neste -patteri, tuloilmapuolelle toinen patteri ja välissä pumppupiiri.
- Plussat: ei ristikontaminaatiota, poistopuolen patteri voidaan mitoittaa matalaan ilma-puolen painehäviöön ja helppoon pesuun, voidaan tehdä useampi likainen lähde yhteen piiriin, helppo ohittaa.
- Miinukset: hyötysuhde (noin 50%) yleensä alempi kuin suorissa ilma-ilma -ratkaisuissa, nestekierto vie pumppusähköä.
- Höyryt ja pöly haastavin yhdistelmä, joka saattaa tukkia avarankin LTO-patterin. Riskinä päivittäinen puhdistus ja pesutarve, joka johtaa siihen, että LTO-siirrin otetaan pois käytöstä. Voi toimia, jos pöly+höyryt eivät muodosta pintoihin tarttuvaa "massaa".

2) Ilma-vesi -patteri + lämmön käyttö prosessivedessä / kaukolämmössä (robusti ja usein järkevä)

- Jos tehtaalla on tarve lämmitettävälle vedelle (pesut, prosessivesi, tilalämmitys), ilma-vesi -patteri poistoon on usein helpompi pitää toimintakunnossa kuin tehokas ilma-ilma.
- Lisäksi voi olla järkevä liittää perään lämpöpumppu, jos poistossa on paljon latenttilämpöä (vesihöyryä) ja lämpötilataso matala. Näin ei kuitenkaan välttämättä tässä tapauksessa ole.
- Jotta jäteveden LTO ja veden esilämmitys tälle kustannustehokkaampaa, tarvitaan suurehko vedenkuluttaja. LTO-patteri pitäisi sijoittaa sisätilaan, jotta esilämmitettävä vesi ei pääse jäätymään.

3) Putkilämmönsiirtimet, kaasu-neste -vaihtimet (likaantumista sietävä)

- Kun pölyä on paljon tai se on tarttuvaa, putkipinnat ja väljemmät kanavat kestävät paremmin kuin levylämmönvaihtimet. Hyötysuhde on huonompi kuin levylämmönsiirtimillä tiettyä hintaa kohden, mutta tässä tapauksessa uhraus kannattanee tehdä.
- Suunnittelussa korostuu tarkastusluukut, irrotettavat niput, huuhtelu/pesuyhteet, kondenssivesien hallittu poisto.
- Putkilämmönsiirtimellä ei kuitenkaan juuri toteutettu perus-poistoilma-LTO:ta. Saataan tarvita iso ja kallis lämmönsiirrin.

4) Levylämmönvaihtimet (tiivit/kompaktit) – usein riskialttiita likaiselle kaasulle

- Tiheät kanavat likaantuvat nopeasti (etenkin jos tulee kondenssia + pölyä → "betonimainen" kerrostuma).
- Jos käytetään, sen pitää olla nimenomaan huollettava/avattava (ei ahtaita kanavia kuten levylämmönsiirtimissä yleensä) ja erittäin hyvä esierotus on oltava.

- Höyryt ja pöly ovat haastavin yhdistelmä, joka saattaa tukkia avarankin LTO-patterin. Riskinä päivittäinen puhdistus- ja pesutarve, joka johtaa siihen, että LTO-siirrin otetaan pois käytöstä. Voi toimia jos pöly+höyryt eivät muodosta pintoihin tarttuvaa ”massaa”.

5) Pyörivä lämmönsiirrin, yleensä ei suositella likaisille lähteille

- Likainen poisto likaa roottorin, ja lisäksi on siirtymäriski (hajut/huurut takaisin tuloilmaan). Toimii vain, jos poisto on oikeasti melko puhdas ja siirtymä hyväksyttävä.

6) Pesurityyppinen lämmönsiirrin

- Voisi olla toimiva ratkaisu varsinkin, jos ilmamäärät yli 1 m³/s luokkaa.
- On muita lämmönsiirrinvaihtoehtoja kalliimpi toteutus.
- Tulee myös huomioida syntyvän jäteveden sisältämät haitta-aineet ja niiden mahdolliset käsittelykulut.

7) Ripaputkilämmönsiirrin

Materiaalivalinnat: mitä kannattaa käyttää ja missä: Järkevä tapa on valita materiaalit riskiluokan mukaan.

A) “Perus kostea + pöly” (ei merkittävää kemiallista aggressiivisuutta)

- 316L ruostumaton (yleisvarma), joskus 304 riittää mutta 316L antaa marginaalia.
- Putkipattereissa: kupari/alumiini toimii teoriassa hyvin, mutta teollisessa likaisuudessa ja mahdollisessa kemikaalialtistuksessa alumiinirivat + kondenssi voi olla huoltoherkkä (korroosio + lika tarttuu).

B) Kloridit / suolat / “merellinen” tai muuten kloridiriski

- Duplex (esim. 2205) tai superduplex, etenkin jos kondensoituu ja klorideja päätyy kondenssiin.
- 316L voi pettää yllättävän nopeasti, jos kondenssi on suolainen.

C) Happamat höyryt (esim. orgaaniset hapot, HF/HCl-johdannaiset, “yllättävän paha kondenssi”)

- Hastelloy / korkeaseosteiset nikkeli-molybdeeniseokset joissain kohteissa, mutta kalliita.
- PTFE/PFA-pinnoite, PVDF, PP tai muut muovit, jos lämpötilat ovat maltilliset ja mekaaninen rasitus hallittu.

D) Erittäin “kondensoiva + lika + korroosio” (pahin yhdistelmä)

- Usein paras ei ole “supermateriaali”, vaan prosessirakenne:
 1. esierotus (sykloni/suodatin/demister),
 2. tarvittaessa pesuri,
 3. ja vasta sitten lämmönvaihdin, joka on 316L/duplex ja pestävä.

Rakenne- ja käyttöratkaisut, joilla saat toimintavarmuutta

- Pidä lämmönvaihdinpinnat kuivina, jos mahdollista: jos vältät kondensaation, pöly ei liimaudu. Tämä voi tarkoittaa, että teet ensin “kuivan” lämmöntalteenoton ja vasta sitten (tarvittaessa) toisen vaiheen, jossa kondensoidaan hallitusti.

- Jos kondensointi on väistämätöntä, suunnittele sillä oikeat kohdat:
 - sileät pinnat, pystysuorat valumapinnat
 - reilut kondenssivesikaukalot, hajulukot, helppo puhdistus
- Väljät kanavat ja matala kaasunopeus poistopuolella = vähemmän tukkeutumista ja helpompi pesu.
- Huollettavuus tarkastusluukut, irrotettavat kasetit/niput, CIP/vesipesu, suihkusuuttimet, painehäviön mittaus ennen/jälkeen (likaantumisen seuranta).
- Esierotus:
 - karkea pöly: sykloni / mekaaninen erotin
 - sumu/aerosolit: demister (verkko-/lamellierotin)
 - hienopöly: suodatus (mutta huomioi palokuorma/ATEX jos tarpeen)
- Turvallisuus: jos poistoilmassa voi olla liuotinhöyryjä tai palavaa pölyä, lämmöntalteenotto kannattaa tehdä välipiirillä ja tarvittaessa ATEX-periaattein (ei sekoitusta, kipinäriskit, ohitus, valvonta).

Käytännön peruspakett likaisille lähteille

Jos pitäisi valita ilman tarkempia analyysitietoja (ja painottaen varmuutta):

1. Likaisiin lähteisiin välipiirillinen run-around
2. Poistopuolen lämmönvaihtimeksi ilma–neste putkipatteri (väljä jako, 316L tai duplex tilanteen mukaan), pestävä rakenne
3. Etupuolelle demister + karkea esierotus (tarpeen mukaan)
4. Tuloilmaan oma patteri + ohitus + likaantumisen valvonta paine-erolla
5. Jos haluat lisää talteenottoa, lisää myöhemmin toinen vaihe (esim. lämmönpumppu tai hallittu kondensointi), mutta pidä se erillisenä ja huollettavana.

Huomattavaa on, että em. ratkaisu ei kuitenkaan ole täysin varma, varotoimista ja likaantumisen suhteen mietyityistä ratkaisuista huolimatta. Suodatin tai lämmönsiirrin saattaa tukkeutua päivittäin. Riippuu vahvasti siitä, miten poistoilman lika käyttäytyy lämmönsiirtimessä. Toteutus saattaa edellyttää myös kemiallista pesua lämmönsiirtimeen (CIP-pesuri).

Onko neulaputkipatteri hyvä ratkaisu tässä tapauksessa?

Neulaputkipatteri voi olla hyvä, mutta vain tietyssä “likaisuuden” tyypissä. Se ei ole mikään yleislääke likaiselle poistolle.

Milloin se on hyvä ratkaisu

- Korkea kosteus / kondenssi / ajoittainen jäätyminen: neulaputkipatteri sietää jäätä yleensä paremmin kuin tiheä lamellipatteri, eikä “tukehdu” yhtä herkästi pienestä huurteesta.
- Kun haluat reilun, mekaanisesti kestävä patterin, jossa ei ole ohuita lamelleja vääntymässä/syöpymässä.
- Kun suunnittelet pesun osaksi normaalia käyttöä (vesi-/höyry-/vaahdotuspesu), ja patteri on tehty siihen (materiaalit + valumavedet + huoltoluukut).
- Neulaputkipatteri sopii kuitenkin parhaiten rasvaisille poistoilmoille

Milloin se on huono

- Paljon pölyä, kuitua, tahmeaa aerosolia tai öljyistä sumua (tyyppiä “pöly + kondenssi”): neulat tarjoavat paljon tarttumapintaa ja “koukkuja”, ja lika voi rakentua nopeasti → painehäviö nousee ja teho putoaa.

- Jos et pysty tekemään helppoa ja toistuvaa puhdistusta (tai et halua märkäpesua), tämä voi käydä työlääksi.

Käytännön suositus

- Jos teidän “lika” on pääosin vesihöyryä + hienoa, ei-tahmeaa pölyä, ja/tai jäätymisriski on olennainen: neulaputkipatteri on varteenotettava.
- Jos mukana on tahmeita huuruja (esim. öljy/pehmitin/liuotin-aerosolit, hartsit tms.) tai pöly on runsasta: valitsisin ennemmin väljemmän putkipatterin / putkinipun ja laittaisin eteen demisterin + karkean esierotuksen, kuin lähtisin neulaputkella ilman hyvää esikäsitteilyä.

Jos päädyt neulaputkeen, tee nämä “toimintavarmuuden ehdoiksi”

- Esierotus: demister (sumulle) + karkea suodatus/sykloni (pölylle) ennen patteria.
- Pestävyys: pesuyhteet, valuma-altaat, helppo pääsy patterille, paine-eron mittaus liikaantumisen seurantaan.
- Materiaalit: usein 316L tai tarvittaessa duplex; vältä ratkaisuja, joissa kondenssi syö alumiinia/galvaanisia liitoksia.

Entä jos epäpuhtaudet eivät ole vesiliukoisia? Miten tämä vaikuttaa valintoihin?

Vesiliukenematon huuru käyttäytyy käytännössä “tahmeana aerosoleina/huuruna”, joka tarttuu erityisen hanakasti kaikkiin kylmempiin pintoihin. Kun siihen yhdistyy öljysumu, lopputulos on usein “liima”, joka tekee tehokkaista (tiheäpintaista) LTO-kennoista nopeasti käyttökelttomia.

Kyseiselle poistoilmalle on käytännössä hyvin haastavaa löytää toimivaa LTO-lämmönsiirrintä. Pesuri-tyyppinen lämmönsiirrin voisi toimia, mutta kertyvä ”pesuvesi” voi olla ongelmajätettä ja täten haaste. Ilma-neste-lämmönsiirrin ei tule välttämättä toimimaan, kyseinen toteutus tulee suunnitella/toteuttaa väljällä rakenteella, mikä mahdollistaa optimaalisen puhdistuksen ja minimoi likaantumisen.

Alla se, miten tämä ohjaa valintoja.

1) Tärkein periaate: vältä epäpuhtauksien kondensoitumista lämmönsiirtimelle

Kun huuru jäädytetään riittävän alas, se alkaa saostua pinnoille vaikka vettä ei olisi mukana. Silloin:

- likaantuminen kiihtyy nopeasti
- puhdistus muuttuu usein toistuvaksi
- painehäviö nousee ja LTO-hyöty putoaa

Siksi “kuiva” talteenotto (pintalämpötilat pidetään riittävän korkeina siten että kondenssia ei tapahdu) on usein toimintavarmin, vaikka hyötysuhde olisi vaatimattomampi.

2) Mitä tämä tarkoittaa lämmönvaihdintyyppin valinnassa

Suosittelava: välipiiri + “karkeapintainen, huollettava” ilma-neste -kenno

- Likaisen ilman puolelle robusti ilma-neste -kenno, josta lämpö siirretään välipiiriin (glykolivesi tms.).
- Kenno suunnitellaan huollettavaksi ja puhdistettavaksi (isot huoltoluukut, irrotettava moduuli, suorat pinnat, ei tiheää lamellikennostoa).

Neulaputkipatteri on hyvä jäätyksen ja kosteuden kanssa, mutta tarttuvalle aerosolille se on usein huono, koska:

- neulat tarjoavat valtavasti tarttumapintaa ja “koukkuja”
- kalvo rakentuu 3D-rakenteeseen nopeasti

- kuivajääpuhallus osuu hankaliin väleihin epätasaisesti (puhdistus vie aikaa)

Poikkeus: jos epäpuhtauspitoisuus on pieni ja saat pidettyä pinnat reilusti riittävän liian lämpiminä saostumiselle, neulaputki voi toimia. Mutta lähtökohtaisesti en valitsisi sitä ensimmäiseksi.

Parempi “likaantumista sietävä” geometria:

- Paljasputkinen / hyvin harva “wide-fin” -kenno (reilut välit, suorat kanavat)
- putkinippu-tyyppinen ratkaisu, jossa on isot virtausvälit ja hyvä mekaaninen kestävyys
- Vaihto-osa-ajattelu: kenno on kulumakappale, joka on helppo irrottaa ja puhdistaa vaihto-osana

3) Esierotus ennen LTO:ta on tärkeää (ja eri kuin vesipesu)

Koska epäpuhtaus ei ole vesiliukoinen, märkäpesuri ei välttämättä ole se hopealuoti. Sen sijaan harkitse (likaisimmissa haaroissa):

- pisaroita yhdistävä erotin / sumunerotin (demister, fiber-bed / coalescer) aerosolille ja öljysumulle
- sähkösuodin (ESP) on monissa “tahmeissa huuruissa” yllättävän tehokas jos se pidetään puhtaana ja turvallisuus huomioidaan

Ja tärkein käytännön sääntö, jonka mainitsit jo rivien välissä:

Älä sekoita öljysumua ja muita huuruja ennen LTO:ta. Öljynerotukset kannattaa pitää omana virtanaan niin pitkälle kuin mahdollista. Öljy + muu epäpuhtaus tekee kerrostumasta selvästi pahemman (tarttuvampi, paksumpi, nopeampi tukkeutuminen).

4) Materiaalit ja pinnat: korroosio ei ehkä määrää – tarttuminen ja puhdistettavuus määrää

Ei-vesiliukoiset epäpuhtaudet/öljysumut eivät aina ole erityisen syövyttäviä, mutta ne ovat liikaavia.

Hyvät perusvalinnat:

- ruostumaton teräs 316L (käytännössä teollisuuden “työjuhta”)
- mieluiten sileä/kiillotettu pinta, vähentää tarttumista ja helpottaa kuivajääpuhdistusta
- vältä rakenteita, joissa on paljon saumakohtia/tiivistepintoja likaisen ilman puolella

Mitä välttäisin tässä:

- alumiinilamellit likaisessa haarassa (puhdistus + mahdolliset kemikaalit + mekaaninen vaurio)
- muovi-/pinnoiteratkaisut, jos kuivajääpuhallus on pääpuhdistusmenetelmä (pinnoitteet voivat kärsiä, ellei valita nimenomaan siihen sopivaa)

5) PILP + hinnan mukaan ajo: mihin se kannattaa sijoittaa?

Näillä epäpuhtauksilla minä ohjaisin niin, että:

- Likaiselle puolelle: vain robusti, “kuivana pidettävä” LTO (välipiiri + pestävä kenno)
- Lämpöpumppu: puhtaammalle puolelle (välipiirin nesteeseen tai pää-IV-koneiden “siistimpään” poistoon)

Hinnan mukaan ajo toimii parhaiten, kun lämpöpumppu ei pakota likaisen puolen kennoa toistuvasti “saostusalueelle”. Eli kyllä: teidän kuvauksella LP likaisessa poistossa on selvästi vaikeampi, ja “LP puhtaammalla puolella” on yleensä fiksumpi kokonaisuus.

6) Yksi käytännön arkkitehtuuri, joka toimii huuruissa

1. Likaiset prosessi-imut pidetään omilla kanavissaan (ei sekoiteta öljysumuihin).

2. Tarvittaessa ko. haaraan aerosolin erotin (pisarakoon kasvattaja/ESP/demister).
3. Sen jälkeen välipiirillinen ilma–neste -kenno, paljasputki/harva rakenne, iso huoltoaukotus, irrotettavuus, 316L sileänä.
4. Välipiirin lämpö hyödynnetään suoraan tai syötetään lämpöpumpulle “puhtaalla nestepuolella” + varaaja hintakäyttöä varten.

Pienemmän teollisuushallin lämmitys

Noin 1000 m², noin 5 m korkeassa teollisuushallissa (metallikoneistamo) on nykyään sähkölämmitys. Kaukolämpöön liittyminen on kuitenkin mahdollista. Millä konkreettisilla ratkaisuilla muuttaisit lämmityksen kaukolämmölle? Paluuveden käyttö olisi suotavaa, vähintäänkin hyvin alhainen paluulämpötila.

1) Liityntä kaukolämpöön: alakeskus, joka ei nosta paluuta

Perusratkaisu (aina):

- Kaukolämpöalakeskus: levylämmönsiirrin, säätöventtiili, pumppu, paisunta, suodatin/magneettisuodatin, energiamittaus, automatiikka (ulkolämpötilakompensointi).
- Toisiopiiri (hallin oma vesikierto) mitoitetaan esim. luokkaan 45/25...55/30 °C (tai niin alas kuin järkevästi saadaan). Tämä on se, mikä ratkaisee paluun: ei haeta 70/40 -henkeä, vaan isoja pintoja ja kunnon ΔT :tä.

Paluun kannalta tärkeimmät valinnat:

- 2-tieventtiilit ja muuttuva virtaus (ei 3-tie sekoitusventtiilejä, "shuntteja", jotka nostavat paluuta).
- Lämmönsiirtimet ja patterit/kennot perinteistä mitoitusta suurempina (pienet lämpötilaerot → matala paluu). Toisiopiirin lämmönsiirtiminä voisi paras vaihtoehto olla säteilypaneelit.
- Verkoston tasapainotus ja ΔT -valvonta (mittaus menosta/paluusta + häly/raportti, jos ΔT romahtaa).
- Ei toisiopiirin "pakkokiertoa" turhaan: pumppua ohjataan tarpeen mukaan siten että jäähtymä maksimoidaan.

2) Hallin lämmönjako: käytännössä toimivat vaihtoehdot (ja miten niillä saadaan matala paluu)

Vaihtoehto A: Vesikiertoiset puhallinkonvektorit / hallilämmittimet + destratifiointi

- Korvataan sähköiset hallilämmittimet vesikiertoisilla hallipuhaltimilla (vesipatteri + puhallin), useaan vyöhykkeeseen.
- Kattoon voi ehkä asentaa destratifiointipuhaltimia (sekoittaa katon lämpökerrostuman alas → pienempi menolämpö, pienemmät häviöt). Lämpötilakerrostuman ei pitäisi kuitenkaan olla suuri haaste näin matalassa hallissa, tämä pitäisi pystyä ratkaisemaan muilla ratkaisuilla.
- Yleensä helpoin uudistustoimenpide teollisuushalliin.
- Investointi voi olla suurehko, mutta ratkaisu on huollettava ja ymmärrettävä.

Miten paluu saadaan alas

- Valitaan isot patterikennot ja ajetaan menoa mahdollisimman alhaalla.
- Puhaltimille portaattomat nopeusohjaukset + 2-tieventtiilit: kennon "loput" saadaan käyttöön eikä vettä kierrätetä turhaan.

Vaihtoehto B: Vesikiertoiset säteilypaneelit (katto-/seinäsäteily)

Mitä tehdään

- Asennetaan vesikiertoisia säteilypaneeleita työalueiden ylle ja sivuille.
- Tarvittaessa pieni määrä puhallinlämmitystä vain tasaukseen/ovivetoa estämään.

Miksi paluu saadaan alas

- Säteilypinnat toimivat hyvin matalilla vesilämpötiloilla (ja kohtuullisilla sisälämpötiloilla), koska mukavuus ei nojaa pelkkään lämpimän ilman puhaltamiseen katosta, vaan perustuu ilman lämpötilaa enemmän säteilyyn.
- Erityisen hyvä korkeassa tilassa, missä ilman lämmittäminen aiheuttaa kerrostumista.

Plussat

- Hyvä lämpöviihtyvyys ja usein pienempi energiankulutus.
- Paluu helpompi painaa alas kuin pelkällä ilmalämmityksellä.

Vaihtoehto C: Tuloilmakoneeseen vesikiertoiset lämmityspatterit

Mitä tehdään

- Tuloilmakoneeseen vesikiertoinen, suurikokoinen lämmityspatteri.
- Halliin voi jäädä pienempi määrä paikallisia vesilämmittimiä.

Miksi paluu saadaan alas

- Tuloilmapatteri voidaan mitoittaa niin, että se ottaa lämmön “loppuun” → suuri ΔT .

Huomio koneistamossa

- Jos poisto on likainen/öljysumuinen, IV-patterityyppi valitaan sen mukaan (helpommin pestävä/huollettava ratkaisu).

3) “Paluueden käyttö” käytännössä: kytke kuormat sarjaan

Jos kaukolämpöyhtiö oikeasti palkitsee matalasta paluusta, tee tästä suunnitteluperiaate:

Sarjakytkentäidea

1. Kaukolämmön menosta otetaan “korkeampaa” lämpöä vain niihin kohteisiin, jotka sitä oikeasti tarvitsevat (esim. tuloilman jälkilämmitys kovilla pakkasilla ja käyttöveden loppulämmitys).
2. Näiden jälkeen toisiopiirin vesi jatkaa matalalämpöisille kuormille, jotka toimivat hyvin paluuedellä:
 - Säteilypaneelit
 - Lattialämmitys (jos esim. toimisto-/sosiaalitylöitä tai rajattuja alueita voidaan tehdä)
 - Ovien vesikiertoiset ilmasulut / oviverhot
 - Mahdolliset esilämmityspatterit (esim. ulkoilman esilämmitys)

Tällä tavalla “paluuvesi” ei ole vain toive, vaan oikea arkkitehtuuri. Ideana on siis sarjaankytkentä siten, että virtaama on pieni mutta jäähtymä suuri.

4) Ohjaus ja käyttöönotto: missä paluu yleensä pilataan (ja miten se estetään)

- Jos lämmitysverkoston virtaamat/säädöt eivät ole kunnossa, ensimmäinen toimi on verkoston perussäätö
- Liian korkea menokäyrä: ajetaan varman päälle → paluu nousee. Ratkaisu: ulkolämpötilakompensointi ja menokäyrän määrätietoinen alasajo kohti optimaalista käyttöön-otossa.
- Vääränlainen sekoitus (3-tie/shuntti): nostaa paluuta. Ratkaisu: 2-tie + muuttuva pumppaus. Toisaalta jos säätö toimii oikein, 3-tiesäädön ei pitäisi nostattaa paluulämpötilaa. Tähän ei ole aina ratkaisuna 2-tie venttiili vaan se voi olla myös nykyisen säädön toiminnan varmistaminen.

- Alimitoitettut kennot/paneelit: pakottaa korkeaan kiertoveden lämpötilaan. Ratkaisu: matalalämpömitoitus (isot pinnat).
- Kerrostuminen: katossa esim. 28 °C, lattiassa 18 °C → hukka. Ratkaisu: destratifointi tai säteilylämmitys painottaa mukavuutta.
- Likainen vesikierto: venttiilit jumittavat, virtaus väärä → ΔT romahtaa. Ratkaisu: magneettisuodatin (lianerotin), ilmaus, huuhtelu, verkostojen perussäätö.

5) Mitä itse tekisin tässä hallissa (käytännön “suosituspaketti”)

Jos halutaan varma, helppo ja matala paluu ilman turhaa kikkailua:

1. Kaukolämpöalakeskus + toisiopiiri 50/30 °C (tai mielellään alempi)
2. Halliin yhdistelmä:
 - Säteilypaneelit työalueille (matalat lämpötilat, hyvä mukavuus)
 - Muutama vesikiertoinen hallilämmitin tasaukseen ja “nopeaan reagointiin”
3. Jos ilmanvaihto on iso osa lämpöhäviötä: tuloilmakoneen patteri + LTO samaan projektiin tai seuraavaan vaiheeseen
4. Kuormat kytketään niin, että “korkean lämpötilan” jälkeen on aina paluuvedellä toimiva kuorma (oviverhot / säteilypaneelit / lattialämmitys tms.)

Kannattaisiko sarjaankytkentä tehdä mieluummin erillisellä puhallinpatterilla (tai tavallisilla radiaattoreilla) halliin vai lisäkanavapatterilla IV-koneeseen?

Molemmat voivat toimia “paluuveden hyödyntäjänä”, mutta ne toimivat eri logiikalla. Jos tavoite on oikeasti matala paluu (ei vain “ihan ok”), niin valitsisin lisäkanavapatterin IV-koneeseen (jälkilämmitys ja/tai esilämmitys).

Miksi se on usein parempi paluulle

- IV-koneessa saat tasaisen ja hallitun kuorman: 2-tieventtiili, tiedät ilmavirran, tiedät tavoitelämpötilan.
- Patteri voidaan mitoittaa niin, että se pystyy tekemään työtä hyvin matalalla vedellä (esim. 25–35 °C), eli se kelpaa “sarjan viimeiseksi” kuluttajaksi.
- Veden puolella voidaan ajaa iso ΔT (pieni virtaus, suuri jäähtyminen) → paluu alas.

Mutta, jos lisäkanavapatteri on ulkoilman esilämmityspatteri (ennen LTO:ta), siihen liittyy jäätymisriski. Silloin tarvitaan käytännössä:

- jäätymissuoja/termostaatti + ohjauslogiikka (pumppu/venttiili),
- mielellään glykolikierrolla erotettu piiri tai muu varma jäätymissuoja,
- huoltoystävällinen rakenne.

Sen sijaan jälkilämmityspatteri tuloilmassa LTO:n jälkeen on yleensä paljon “siistimpi” ja helppompi toteuttaa (ei yhtä kriittinen jäätymiselle, joskin sekin suojataan). Tämä on erityisen järkevää, kun ilmanvaihto käy paljon lämmityskaudella (koneistamoissa usein käy), ja tuloilman lämpötilaa muutenkin säädetään.

LTO:n jälkeinen patterikin tulee toteuttaa myös vesi-glykoliseoksella, koska kovilla pakkasilla ilma LTO:n jälkeen voi olla lähellä nollaa tai hieman pakkasen puolella (riippuu paljon LTO-tyypistä).

Ennen LTO:ta olevan jäätymisenestopatterin tulee toimia vain silloin kun jäätymistä olisi tapahtumassa. Muuten se heikentää tarpeettomasti LTO:n hyötysuhdetta.

Vaihtoehto: erillinen puhallinpatteri halliin (tai ylisuuret radiaattorit/säteilypinnat)

Miksi se voi olla parempi käytännössä

- Lämmitys ei ole sidottu ilmanvaihdon käyntiin (jos IV:ta ajetaan alas yöksi tai osakuormilla).
- Paikallisuus: saat lämpöä sinne missä ihmiset/työpisteet ovat.
- Halliin on usein helppo lisätä “paluuedellä toimiva loppukuorma” (esim. säteilypaneelit, oviverhot, pienet puhallinkonvektorit).

Mikä tässä yleensä pilaa paluun eli nostaa sen lämpötilaa

- Jos valitaan “normaalikokoiset” patterit/kennot ja sitten ajetaan korkealla menolämmöllä, paluu ei laske.
- Jos vesikierron suunnittelu jätetään puolitiehen (tasapainotus, venttiilityyppi, pumpaus), ΔT pienenee ja paluu nousee.

Tämän saa toimimaan paluulle, kun

- mitoitetaan pinta-alaa reilusti (matalalämpö),
- käytetään 2-tieventtiilejä ja muuttuvaa virtausta
- Mutta: jos oletetaan, että KL-paluuta jäähdytetään $+40 \rightarrow +20^\circ\text{C}$ ja tähän väliin tarvitaan välipiiri, koska KL-vettä ei voi käyttää suoraan puhallinpatterilla. Tällöin ollaan tila-neessa, että puhallinpatterille menisi noin $+35/+25^\circ\text{C}$ vesi. Käytännössä voi tulla varsin kallis patteri.

Mitä suosittelisin sinun asettelmassa

Jos tavoite on “paluu hyvin alas” ja halutaan varma toteutus:

1. Tee hallin varsinainen lämmitys vesikiertoisilla hallilämmittimillä/säteilypaneelilla, matalalämpömitoituksella.
2. Tee IV-koneeseen lisäkanavapatteri sarjan viimeiseksi kuormaksi jos IV käy luotettavasti silloin kun lämpöä tarvitaan (usein käy). Tämä patteri “imee viimeisetkin asteet” vedestä ja painaa paluuta alas hallitusti.

Jos taas IV käy vähän tai epäsäännöllisesti, älä nojaa paluun laskennassa IV-patteriin, vaan tee se hallin puolella (esim. säteilypinnat / oviverhot / matalalämpöiset konvektorit sarjan perään).

Peukalosääntö

- Paluun minimointi ja helppo ΔT -hallinta: IV-koneen jälkilämmityspatteri on usein ykkönen.
- Toimintavarmuus kaikissa käyttötilanteissa: hallin oma “loppukuorma” (ylisuuret pinnat + hyvä hydraulikka) on varmin.

IV-koneen käyntiaika vaikuttaa kuitenkin suuresti toteutuksen toimintaa. Tilalämmityksen toteuttaminen paluulämmöllä on haastavaa ja mitoituksen riittävyys tulee varmistaa huolellisesti etukäteen.

Periaatteessa kannattaisi ehkä laittaa glykolikiertoinen etulämmityspatteri ennen LTO-kennoa viimeiseksi vesikierrossa ja varmistaa jollakin "idiotivarmalla" tavalla ettei käy niin että toisiopiirin vesi menee pakkaselle ja jäädyttää KL-vaihtimen primääripuolen oikein huonossa tapauksessa?

Joo – tuo “glykolietulämmitys ennen LTO:ta sarjan viimeiseksi kuormaksi” on ihan järkevä tapa sekä hyödyntää paluuvettä että vähentää LTO:n jäätymisriskiä. Mutta se ei yksin tee siitä idiotivarmaa, ellei samalla rakenneta vesipiirien erottelua + fyysisesti kytkettyä jäätymissuojaa niin, ettei mikään yksittäinen ohjaus-/sähkövika voi jättää vettä seisomaan pakkaseen.

1) Tee niin, ettei rakennuksen vesikierto voi koskaan mennä pakkaselle

Käytännössä “idioottivarma” tarkoittaa: glykolipiiri omaksi pieneksi kierrokseen ja se erotetaan hallin vesikierrosta lämmönvaihtimella.

Hyvä arkkitehtuuri:

- KL primääri → KL-alakeskuksen levylämmönsiirrin → hallin vesikierto (vesi, ei glykolia)
- Hallin vesikierrosta otetaan lämpö toisella lämmönsiirtimellä → glykolipiiri → etulämmityspatteri ulkoilmakanavassa ennen LTO:ta

Tällä ratkaisulla:

- etulämmityspatterin puolella voi olla glykolia (ei jäädy),
- hallin vesikierto pysyy “normaalina” (hyvä lämmönsiirto, helppo huolto),
- eikä mikään tilanne pääse viemään hallin vesikiertoa (tai KL-alakeskuksen sekundääriä) pakkaselle.

(Jos laitat glykolin koko hallin verkkoon, se kyllä onnistuu, mutta yleensä turhaan: pumpputehot kasvaa, lämmönsiirto heikkenee ja huolto muuttuu ikävämmäksi.)

2) Jäätymissuoja pitää tehdä “kovaksi”, ei pelkäksi automaatiologiikaksi

Etulämmityspatterissa (ennen LTO:ta) riski on tyypillisesti seisova neste + ulkoilma. Siksi suojaus tehdään niin, että se toimii vaikka BMS/PLC sekoilisi.

Minimiseti, joka oikeasti on robusti:

- Pakkastermostaatti (kapillaarinen) patterin jälkeen (hardwired)
- Pumppukäynti + venttiilin avaus jäätymishälytyksessä (hardwired)
- Ulkopelti kiinni + tuloilmapuhallin pois jäätymishälytyksessä (ettei kylmä ulkoilma enää jäähdytä patteria)
- Virtausvahti glykolikierrossa (jos ei virtausta → sama jäätymisenestotoiminto)

Venttiilin “fail-safe”:

- Usein järkevä on jousipalautteinen venttiili, joka menee auki sähkökatkossa glykolipiirin lämmönsiirtimen (vesipuolen) syötössä → kierrättää lämpöä ja estää jäätymisen.
- Jos “fail-open” tuntuu pelottavalta (ylilämmitys tms.), sen voi rajata mekaanisella termostaatilla tai rajoitusventtiilillä – mutta jäätymissuojan näkökulmasta fail-open on turvallisin.
- Venttiili mernee kiinni vesiverkoston päin, jos glykolin lämpötila laskee esim. alle +2°C.

3) Mitä tämä tarkoittaa KL-vaihtimen “primääripuolen jäätymiselle”?

Normaalisti KL-primääri ei jäädy, koska sieltä tulee jatkuvasti lämmintä vettä verkosta. Se, mitä oikeasti pelätään, on:

- sekundääripuolen (hallin vesikierron) jäätymisen levylämmönsiirtimessä (rikkoo levy-pakan),
- tai glykolin ja veden sekoittuminen mahdollisen vuodon kautta (siksi erillinen HX + tarvittaessa kaksoiseinämäinen malli, jos halutaan varmistaa vuodon havaitsemisen/erottelu).

Kun glykolietulämmitys erotetaan omaksi kierrokseksi, hallin vesikierto ei altistu pakkaselle, eikä KL-alakeskuksen levylämmönsiirtimelle synny “pakkasriskiä” tästä syystä.

4) Yksi käytännön realismitarkistus

Jos etulämmityspatteri on “sarjan viimeinen” ja saat sille hyvin kylmää vettä (esim. 20–30 °C), se voi silti riittää tarkoitukseensa, kun sen tehtävä on vain nostaa LTO:n sisään menevä ulkoilma esim. –20 → –5...0 °C (eli jäätymiseneston esilämmitys, ei varsinainen lämmitys). Tämä pitää vain mitoittaa oikein ja sopia yhteen LTO:n jäätymisenestonohjauksen kanssa.

Pienten kuntien kokonaisenergiaratkaisu

Oletetaan että on olemassa pieni 3 MW biolämpölaite. Lisätään 1 MW sähkökattila, 500 kWe CHP-dieselaggregaatti, 40 MWh terästankki lämpövarastoksi, 3 MW öljykattila, varusteet kattiloiden ja aggregaatin pitämiseksi korroosiovapaina sekä optimoiva ohjaus, joka huomioi sähkön reservimarkkinat, pörssisähkön hinnan, kaukolämmön kuormitusennusteen ja polttoaineiden hinnat. Öljykattila ja dieselaggregaatti hankitaan käytettyinä, koska niiden käyttö on tod.näk. varsin vähäistä. Arvioi ko. järjestelmäpäivityksen kustannukset ja kommentoi kokonaisuuden järkevyyttä.

Lyhyt vastaus: tuollainen “päivityspaketti” on hyvin realistinen, mutta ei halpa. Pidän järkevänä suuruusluokkana **n. 2–2,5 M€ investointia**, haarukka noin **1,5–3 M€** riippuen siitä, kuinka halvalla saat käytettyjä laitteita ja kuinka paljon joudut rakentamaan uutta tekniikkaa ja automaatiota ympärille. Taloudellinen järkevyys riippuu täysin siitä, miten hyvin pystyt hyödyntämään sähkömarkkinoiden hintavaihtelua ja reservimarkkinoita.

Alla erittely osista ja lopuksi kommentti kokonaisuuden järkevyydestä.

1. Komponenttikohtainen karkea CAPEX-arvio

1 MW sähkökattila

Referenssejä:

- Oulun Energia: Toppilan sähkökattilahanke 9 M€ / 45 MW → n. 200 €/kW asennettuna. [Oulun Energia](#)
- Suomessa sähkökattilainvestoinnit isossa mittakaavassa tyypillisesti luokkaa 150–300 €/kW (laitos, putkistot, sähköliittymä, automaatio).

Arvio 1 MW kokoluokassa:

- Laitteisto: 80–150 k€. 16 bar laitteisto tämän arvion yläpäässä (2025 hinnoilla).
- Sähköliittymä/pääkeskus, putkistot, suunnittelu, käyttöönotto: 100–150 k€
- Jos tarvitsee oletettavasti uuden muuntajan, muuntaja, pääkeskus ja uusi sähköliittymä (Kajave) ~200k€ ja muu kokonaisuus noin 50-100k€ eli yhteensä noin 250-300k€
→ Yhteensä keskiskenaario ~0,35 M€ (haarukka ~0,2–0,5 M€).

40 MWh terästankki lämpövarastoksi

Jos käytetään tyypillistä $\Delta T \sim 50$ K (esim. 90/40 °C), veden lämpökapasiteetilla saadaan tarve:

- Energiatiheys vedelle: $\sim 209 \text{ MJ/m}^3 \approx 58 \text{ kWh/m}^3$
- Tilavuus: $40\,000 \text{ kWh} / 58 \text{ kWh/m}^3 \approx 690 \text{ m}^3$

Eli luokkaa $\sim 700 \text{ m}^3$ kuuma-vesi -varasto, esim. sylinteri $\varnothing \approx 10$ m, korkeus ~ 9 m. Voitaisiin toteuttaa myös esim. $2 \times 350 \text{ m}^3$ lämpövarastoin, joiden korkeuden ja halkaisijan suhde pitäisi olla luokka 1,5-2,5, jotta saadaan optimoitua lämpökerrostuma.

Kustannusreferenssejä:

- RENA ja EU-raportit antavat laajalle haarukalle järkeä: lämpötilaeroon perustuvat TES-järjestelmät tyypillisesti 0,1–10 €/kWh_{th}, mutta halvimmat €/kWh saavutetaan vasta hyvin suurissa ($> 10\,000 \text{ m}^3$) maavarastoissa. [IRENA+1](#)

Koska 700 m^3 on “pienehkö” kaukolämpöön, en käyttäisi ihan isoimpien maavarastojen hintoja (0,5–1 €/kWh), mutta en myöskään pienten talosäiliöiden 100 €/kWh -tasoa. Realistinen pieni DH-laitos + teräsäiliö -tasoinen arvio:

- 5–20 €/kWh_{th} + varusteet → 40 000 kWh → 0,7–1 M€
- Keskiskenaario: ~0,8 M€ (sisältäen perustukset, eristeet, sisäputkistot, liitynnät).

3 MW öljykattila (käytetty)

Laitteistokustannus:

- Yksittäinen käytetty 3 MW kuumavesi-/höyrykattila voi olla 10–80 k€ -luokassa, pelkkä kattila ilman asennusta, mutta polttimiseen ja apulaitteineen.
- Asennus huomioiden, noin 100 k€ lienee realistinen kokonaisinvestointi

500 kWe CHP-dieselaggregaatti (käytetty, lämmön talteenotto)

- Hyväkuntoinen käytetty 500 kW dieselgeneraattori 15–80 000 k€, käyttötunneista riippuen (10 000...100).
- CHP-käyttöön tarvittavat lisäksi:
 - Lämmön talteenottolämmönvaihtimet (jäähdytysvesi + pakokaasut)
 - Mahdollinen lisäpolttoainesäiliö
 - Sähkö- ja kaukolämpöliitynnät
 - Suunnittelu, automaatio, varavoima-/saareke- ja suojarelogiikka.

Realistinen haarukka asennettuna:

- Laitteisto (käytetty aggregaatti): 30–70 k€
- CHP-varustus + asennus: 60–120 k€

→ Yhteensä: ~90–190 k€

Keskiskenaario: ~150 k€.

Korroosionsuojavarustus (kattilat & diesel)

Koska öljykattila ja dieselaggregaatti ovat “varakäyttöisiä”, oleellista on se, että ne eivät ruostu seistessään:

- Kattiloille:
 - Jatkuva matala lämpötila (varalämmitys) → pienet sähkövastukset / kiertovesi + automaatio
 - Kaasujen poisto vastusten jälkeen kuumimmasta kohdasta, pieni kierto + LTO
 - Syöttöveden käsittely (kemikaalit, demineralisointi)
- Aggregaatille:
 - Säännölliset koekäytöt, automaattiset kylmäkäynnistysjärjestelmät
 - Mahdollinen polttoainetankin tyypipeitto tai muu kondenssiongelmien hallinta.

Tähän menee:

- n. 50–150 k€ laite- ja asennuskustannuksia.

Otan keskisummaksi: ~100 k€.

Kattilalle ei kuitenkaan välttämättä tarvita erillisiä vastuksia tai automaatiota tähän liittyen. Polttimelle voidaan tehdä verryttelykäyttö silloin tällöin ja kattila voidaan pitää lämpimänä muiden järjestelmien lämmöllä sopivilla kytkennöillä.

Optimoiva ohjaus + markkinaintegraatio

Tämä voi maksaa melko paljon, jos ohjaus oikeasti:

- lukee pörssisähkön hinnat,
- hyödyntää varastoa ja sähkökattilaa power-to-heat -mielessä,
- optimoi biomassakattilan ajoa,
- aggregoi ja raportoi reservimarkkina- ja/tai säätösähkötarjoukset Fingridille,

- sisältää ennusteet (lämpökuorma, ehkä myös tuuli-/sähköhintaennusteet) ja
- kytketään olemassa olevaan automaatio-/SCADA-järjestelmään.

Suomessa sähkökattiloiden roolista DH-järjestelmissä on tehty useita selvityksiä, ja niissä korostuu nimenomaan jouston arvo ja tarve hyvälle ohjaukselle. [Energiateollisuus+1](#)

Karkeasti:

- Ohjelmisto + käyttöliittymä + rajapinnat (Nord Pool / Fingrid / sääpalvelut) + optimointimalli: 100–200 k€
- Automaatio- ja mittauspäivitykset, suunnittelu, käyttöönotto, testaus: 50–100 k€

→ Yhteensä: ~0,15–0,30 M€

Keskiskenaario: ~0,20 M€.

Yhteenveto investoinnista

Keskiskenaarion mukaiset luvut:

- Sähkökattila 1 MW: 350 k€
- Lämpövarasto 40 MWh ($\approx 700 \text{ m}^3$): 800 k€
- Öljykattila 3 MW (käytetty): 100 k€
- Diesel-CHP 500 kWe (käytetty): 150 k€
- Korroosionsuojaratkaisut: 100 k€
- Optimoiva ohjaus + automaatio: 200 k€

Välisumma: n. 1700 k€

Lisätään:

- rakennustekniikka (pohjat, lattiakaukalot, mahdolliset laajennukset),
- suunnittelu, projektinjohto,
- lupaprosessit,
- riskivaraus esim. 15–25 %:

→ Kokonaishaarukka n. 2,1 M€ on mielestäni hyvin realistinen

2. Reservimarkkinat ja sähkömarkkinat – kuinka hyvin tämä palvelee?

Reservimarkkinat ja minimitarjoukset:

Nykytilanteessa Pohjoismaisilla reserveilla on mm. seuraavia rajoja:

- FCR-N: minimitarjouskoko 0,1 MW → 500 kWe diesel tai 1 MW sähkökattila voivat periaatteessa osallistua (sähkökattila kulutusreservinä, diesel tuotantoreservinä), jos tekniikka täyttää tekniset vastevaatimukset. [Fingrid](#)
- FCR-D ja mFRR: minimitarjous tyypillisesti 1 MW → 500 kWe yksin ei riitä, mutta portfoliolla tai aggregaattorin kautta kyllä. [Fingrid+1](#)

Eli pelkällä 500 kWe dieselillä et pääse kaikkiin reserveihin, mutta yhdistämällä sähkökattilan kulutusjousto/aggregointiin voit muodostaa >1 MW paketteja.

Sähkökattila + TES – varsin “perusratkaisu”

- Useat suomalaiset yhtiöt (Helen, Vantaan Energia, EPV, Oulun Energia) rakentavat/ovat rakentaneet yhdistelmiä: sähkökattila + lämpövarasto + data-/jäte-/hukkalämpö juuri tätä varten. [EPV+2Vantaan Energia+2](#)
- Peruslogiikka: ladataan varastoa silloin kun sähkön hinta on matala (tai negatiivinen) ja puretaan, kun lämpökuorma on korkea ja sähkö kallista → säästö polttoainekuluissa ja mahdollinen arbitraasituotto.

40 MWh varasto 3 MW biokattilan kylkeen:

- riittää esim. tasolle ~13 h täysitehoiseen 3 MW lämpökuormaan, tai

- tarjoaa 1–2 vuorokauden skaalassa merkittävän “puskuri-inertiaa” jokapäiväiseen optimointiin, jos peruskuorma on esim. 1,5–2 MW.

3. Onko kokonaisuus järkevä?

Plussat

1. Huoltovarmuus ja toimitusvarmuus:
 - Biokattila + öljykattila + diesel-CHP muodostavat erittäin vahvan varajärjestelmän (palvelukatkot, polttoaineongelmat, verkko-ongelmat).
 - Lämpövarasto antaa aikaa reagoida vikatilanteissa ilman välitöntä “öljykattila päälle” -tarvetta.
2. Sähkömarkkina- ja reservijousto:
 - Sähkökattila + TES mahdollistavat varsin tehokkaan power-to-heat -joustomahdollisuuden.
 - 1 MW sähkökattila on jo Fingridin näkökulmasta järkevän kokoinen yksikkö osallistumaan ainakin FCR-N:ään (tai mFRR:ään kulutusjoustona aggregaattorin kautta).
3. Biokattilan ajon optimointi:
 - Pieni varasto tasoittaa biokattilan ajoa, vähentää start/stop -syklejä ja osakuorma-ajon tehottomuutta → parempi hyötysuhde ja pienemmät huoltokulut.
4. Käytettyjen fossiilikomponenttien käyttö:
 - Koska öljykattilan ja diesel-CHP:n vuosikäyttö oletetaan hyvin pieneksi, käytetyn kaluston käyttö on taloudellisesti järkevä kompromissi: saat joustokykyä pienellä CAPEXilla.

Miinukset / riskit

1. Investoinnin koko vs. verkon koko:
 - Jos kaukolämpöverkko on pieni (esim. 3 MW biokattila jo itsessään riittää kylmimpäänkin pakkaseen), 2 M€ lisäinvestointi voi olla ylilyönti, ellei:
 - hintaerot sähkömarkkinoilla ole suuria ja
 - reservituotot ole merkittäviä ja
 - biopolttoaineen hinta ole selvästi korkealla.
2. Reservimarkkinan tulovirran epävarmuus:
 - Reservimarkkinoiden hinnat voivat elää; pienellä yksiköllä et ole hinnanasettaja vaan täysin markkinahinnan armoilla.
 - FCR-N:n ja muiden tuotteiden hinnat voivat laskea, jos tarjonta (mm. akut, suuret kulutuskohteet) kasvaa runsaasti.
3. Diesel-CHP:n rooli on vähän “väliinputoaja”:
 - Pienellä 500 kWe yksiköllä pääosa taloudellisesta hyödystä tulee harvoista ääripiikkitalanteista (esim. sähköhintaa >300–400 €/MWh), joissa pystyt myymään sähköä kalliilla ja samalla lämpö käy kaukolämpöön.
 - Jos tällaisia tunteja on vähän, ja varsinainen perus-/huipputeho voidaan tuottaa biokattilalla + sähkökattilalla + öljyllä, investoinnin takaisinmaksu voi venyä.
 - Toisaalta aggregaatti parantaa järjestelmän kykyä toimia myös poikkeustilanteissa
4. Lisähuollon ja järjestelmäkompleksisuuden kustannus:
 - Jokainen uusi generaattori, kattila ja varasto lisää:
 - vuosihuoltokustannusta (kymmeniä tuhansia €/a),

- varaosatarvetta,
- käyttöhenkilökunnan osaamisvaatimuksia,
- vikapisteiden määrää.

4. Oma “kokonaisarvosana”

Jos yritän kiteyttää:

- Erittäin järkevä ydin:
 - 1 MW sähkökattila + 40 MWh lämpövarasto + optimoiva ohjaus.
→ Parantaa biokattilan käyttöä, antaa joustoa sähkömarkkinoille, ei lisää fossiili-riippuvuutta.
- Hyvin perusteltavissa oleva lisä:
 - 3 MW öljykattila käytettynä varalämpönä.
→ Tuo halpaa varakapasiteettia; käyttö vähäistä, mutta kriittistä.
- “Nice to have, tarkkaan harkittava”:
 - 500 kWe diesel-CHP reservi- ja huipputehokäyttöön sekä poikkeustilanteisiin
→ Teknisesti kiinnostava, taloudellisesti hyöty riippuu hyvin paljon tuntihintapii-keistä ja reservihinnoista; ilman hyvää data-analyysiä ja simulaatiota en pitäisi tätä itsestään selvänä.

Jos suuruusluokan 1,6 M€ investoinnista:

- sähkökattila + TES + ohjaus vastaavat n. 1 M€
- öljykattila + diesel-CHP + korroosiosuojaus n. 0,6 M€

niin taloudellisesti puhtaimmin perusteltavissa on “vihreä” puolisko (sähkökattila + TES + ohjaus). Fossiilinen/bioöljyvarakapasiteetti on enemmän vakuutusmaksua huoltovarmuudesta.

Pienen lämpölaitoksen monienergiapakettin ohjausjärjestelmän standardisointi

Ohjausjärjestelmäpaketti voisi olla varmaan ainakin jonkin veran standardisoitavissa. Onko tiedossa, onko sellaisia olevana "vakiona" vai rakennellaanko se jokaiseen erikseen?

Lyhyt vastaus: täysin valmista "pakettiohjainta" tälle kombolle ei ole, mutta osittain standardoitua on saatavilla ja usein yllättävänkin pitkälle. Kuitenkin lopullinen optimointi- ja markkinaintegraatiokerros joudutaan lähes aina räätälöimään, koska jokaisella laitoksella on:

- hieman eri putkistot ja kattilat,
- eri rajoitteet (minimi- ja maksimitehot, rampit),
- eri sopimukset kaukolämpöverkossa,
- eri sähköliittymän rajat,
- eri varalämpölaitteet ja eri strateginen käyttötapa,
- erilainen kaupankäyntistrategia (Fingrid vs. Nord Pool vs. omat prioriteetit).

Alla erittelen tilanteen mahdollisimman konkreettisesti nykytilanteen perusteella.

1) Mitä on jo "valmiina": osittain standardoitavat pakettiratkaisut

Sähkökattila + TES + kaukolämpöverkko

Näitä ohjataan melko standardoiduilla logiikoilla:

- lataus/purku varaston lämpötilan ja ennusteen mukaan
- sähkökattilan käyntiasetus sähköhinnan perusteella
- biokattilan ajo prioriteettina
- varalaitteet (öljy/diesel) vain häiriö- tai huipputilanteessa.

Useilla toimittajilla on semi-standardit "sähkökattila+TES-ohjaus"-paketit, mm.:

- Valmet DNA for Energy
- ABB Ability Energy Management
- Siemens Spectrum / Desigo Heat
- Honeywell Experion
- Schneider EcoStruxure
- Kofren / Rejlers / Citec -tyyppiset automaatiotalot, joilla on omia valmiita pohjia DH-laitoksille.

Näissä n. 70–80 % logiikasta on käytännössä samanlaista kaikissa laitoksissa.

→ Tämä osa voidaan hyvin standardoida.

2) Mitä EI ole valmiina: markkinaoptimointi ja digitaalinen ohjaus

A) Nord Pool -hintaohjaus (SPOT ja intraday)

Tämä on jo melko lähellä standardia, mutta toteutus on edelleen projektikohtaista:

- API-yhteys Nord Pooliin
- lyhyen aikavälin ennusteet (day-ahead & intraday)
- optimointi TES-lataukselle
- polttoainekustannusten huomiointi

On olemassa yrityksiä, jotka myyvät valmiita “lämpölaitos + P2H” -optimointimoottoreita, kuten:

- Gradyent (NL) – Digital Twin of District Heating
- ENTSOE / NODES -aggregointiohjelmistot
- Fingrid-hinnoitteluun kytkeytyviä EMS-työkaluja (Energy Management System)
- aktiivijäähditys-/vastuskuorman optimointipaketit datakeskuksille, joita voi muokata lämmölle.

Mutta nämä eivät ole “plug-and-play” suomalaisen pienen 3 MW laitoksen kanssa. Ne vaativat aina räätälöinnin.

B) Reservimarkkinoiden liityntä → Ei ole valmiina pienen DH-laitoksen pakettina

Fingridin tuotteet: FCR-N, FCR-D, aFRR, mFRR.

Ongelmat:

- jokaisella reservituotteella on omat vastevaatimukset
- sähkökattilan rampit → täytyy mitata ja todentaa
- diesel-CHP vaatii erillisen teknisen testin
- aggregointi mahdollinen, mutta vaatii sopimuksen
- jatkuva telemetria Fingridille (mittaus 100–200 ms välein FCR:ssä)

Fingridin mukaan pienet kunnalliset lämpölaitokset voivat osallistua vain aggregaattorin kautta – ja aggregaattoreiden järjestelmät ovat kaupallisia, eivät “valmiita paketteja” kuten:

- Sympower
- Fingridin kumppanina useita energiayhtiöitä
- Enerim / Fortum Spring (aikaisemmin)
- Väre / NTT / Adven tarjoavat kulutusjoustopalvelua.

Mutta näissä ei ole valmista “kaukolämpölaitoksen kokonaisuohjausta”, vaan ne ohjaavat yhtä resurssia (esim. sähkökattilan kulutusjousto).

Siksi reservikerros joudutaan aina integraatioprojektissa rakentamaan, jotta se:

- keskustelee automaation kanssa,
- ottaa huomioon laitoksen omat minimirajaehdot,
- yhdistää eri laitteita yhdeksi 1+ MW reservitarjoukseksi.

C) Hyvin toimivan optimointikerroksen rakentaminen on 80 % projektista

Vaikka laitteistot ovat standardeja, se mikä maksaa, on:

- ennustemallit (lämpökuorma, sää, hinta),
- optimointialgoritmit TES:lataukselle,
- kattiloiden ja diesel-CHP:n rajoitteiden mallinnus,
- markkinaintegraatiot,
- testaus,
- fallback-logiikat (kaikille laitteille toimii myös manuaali- ja varmistustilat).

Tämä osuus ei ole koskaan valmiina paketissa – jokainen toimittaja räätälöi viimeisen 20 % vaikeudesta.

3) Voisiko tällainen paketti *periaatteessa* olla standardisoitavissa?

Kyllä, noin 70–80 % logiikasta on generoitavissa valmiiksi tehdyiltä pohjalta. Mutta ei ole yhtään sellaista toimijaa Suomessa, joka myisi suoraan “3 MW biolaitos + sähkökattila + TES + vara-voima + markkinaoptimointi” -paketin. Syy on se, että kaukolämpöverkot ovat aina erilaisia, ja

markkinaoptimointi on aina asiakaskohtainen. Silti teknisesti olisi täysin mahdollista tehdä kaupallinen “peruspaketti”, jossa olisi:

1. SPOT-optimointi (Nord Pool day-ahead, intraday)
2. Sää- ja lämpökuormaennusteet
3. TES-lataus-/purkualgoritmit
4. Biokattilan ja sähkökattilan optimointi
5. Mahdollisuus liittää varavoima / öljykattila
6. Liityntä aggregaattoreille (mFRR, aFRR, FCR-N)

Hämmästyttävää kyllä, tämä paketti ei ole markkinoilla, vaikka useat suomalaiset pienet lämpölaitokset hyötyisivät siitä. Nykyinen tilanne muistuttaa tilannetta ennen kuin aurinkosähköin-verttereihin tuli vakiona kysyntäjousto eli kaikki tehdään tapauskohtaisesti.

4) Miksi näin on käynyt?

1. Markkina pieni
Suomessa on paljon pieniä DH-yksiköitä, mutta yksittäiset investoinnit ovat pieniä → automaatiotalot eivät tee valmispaketteja.
2. Regulaatio vaikuttaa
Reservimarkkinoiden vaatimukset muuttuvat, joten ohjelmiston pitkäaikainen ylläpito vaatisi sitoutumista.
3. Laitostekniikka vaihtelee villisti
Kaksi nimellisesti saman kokoista lämpölaitosta voivat olla automaation ja hydraulisten rajoitteiden osalta täysin erilaisia.
4. Käyttäjät haluavat usein räätälöidyn mallin
Kaukolämpöyritykset haluavat mieluummin oman näköisen optimointinsa, koska heillä on erilaisia strategioita (esim. polttoainemix, korkeat varmuusvaatimukset, rajoitteet sähköliittymässä).

5) Yhteenveto

✓ Mitä voi standardoida?

- sähkökattilan ohjaus
- TES-lataus/purku
- biokattilan ja öljykattilan prioriteettilogiikka
- perusautomaatio
- käyttöliittymät
- Osa SPOT-hintaohjausta

✓ Mitä ei voi täysin standardoida?

- reservimarkkinaohjaus
- diesel-CHP:n tekninen integraatio
- optimointialgoritmit TES:lle ja koko järjestelmälle
- verkko- ja laitoskohtaiset rajoitteet
- hinta-/kuorman ennustemallit
- kaukolämpöverkon hydraulinen mallinnus (aina erilainen)

✓ Mikä on realistinen malli?

Useimmiten toimittajat käyttävät perusviitekehys + räätälöinti” -mallia:

- 60–80 % valmista
- 20–40 % tilaajakohtaista ohjelmistokehitystä + automaatiota

Voitko arvioida, kuinka suuren kustannussäästön standardointi voisi tuoda

Alla arvio standardoinnin tuomasta kustannus- ja riskisäästöstä, jaettu kolmeen osaan:

1. Mitä osia voidaan realistisesti standardoida
2. Paljonko tämä pudottaa CAPEXia (ohjelmistot + automaatio + suunnittelu)
3. Paljonko tämä säästää O&M- ja riskikustannuksia

Luvut perustuvat: aiempiin keskusteluihin, Suomen automaatioprojektien tyypillisiin kustannusrakenteisiin, sekä siihen, mitä DH-sektorilla (3–30 MW kokoluokka) on maksettu vastaavan kokoisista optimointi- ja automaatiouudistuksista.

1) Mitkä osat “kelpaavat standardoitavaksi” (ja kuinka suuri osuus projektista ne kattavat)

A. Suoraan standardoitavissa (säästö 70–80 % kehitystyöstä näissä)

- Perusautomaatio lohkoktasolla
- Sähkökattilan ohjaus
- TES-lämpövaraston lataus/purku
- Biokattilan/öljykattilan prioriteettiohjaus
- Lämpökuorman perusmalli (lämpötila vs. kuorma)
- SPOT-hinnan lukeminen ja raja-arvo-ohjaus (päätöksenteko esim. “ostetaan jos hinta < X”)
- Käyttöliittymän peruselementit
- Ennustepohja “säätötila → lämpökuorma”
- Suojaukset ja hälytykset
- Vaadittavat rajapinnat (Modbus, OPC UA)

Osuus projektista on 40–50 % koko ohjausjärjestelmän työmäärästä.

B. Osittain standardoitavissa (säästö 30–50 % kehitystyöstä näissä)

- SPOT-käyrän optimointi (ei vain raja-arvot, vaan koko vuorokausi)
- Sähkökattilan + TES:n yhteisoptimointi
- Hydraulisen verkkomallin peruslogiikat
- Lämpövaraston oikea-aikainen lataus usein halvan yösähkön aikaikkunassa
- Biokattilan hyötysuhteen huomiointi optimoinnissa
- Malli "öljykattila vain hätätilanteessa"

Osuus projektista on 20–30 % työstä.

C. Ei juurikaan standardoitavissa (vain pieni pinta on vakioitavissa)

Nämä ovat aina tapauskohtaisia ja juuri näiden takia projektit ovat kalliita ja monimutkaisia:

- Diesel-CHP:n rampit, rajat, sisäinen ohjaus
- CHP-lämmön talteenoton integrointi verkkoon
- Fingridin reservimarkkinoiden vaatimat vasteajat ja todentamiset
- Telemetria, datan laatuvaatimukset (100–200 ms FCR:ssä)
- Laitoskohtaiset hydrauliset rajoitteet
- Lämpöverkkojen erilaiset puskurit / rinnakkaissilmukat
- “Fallback”-tilat, joihin mennään automaattisesti vikatilanteessa
- Sähköliittymän rajoitteet (maksimisiirto, säätöaika, suojaus)

Osuus projektista:

20–30 % eikä tätä osuutta saa painettua merkittävästi alas.

2) Kuinka paljon standardointi voi laskea CAPEXia?

Nykytilanteessa (täysin projektikohtainen):

- Ohjaus + optimointi + markkinaintegraatiot 0,25–0,5 M€ (3 MW biolaitos + sähkökattila + TES -kokoluokassa)

Realistinen jakauma:

- 40 % perusautomaatio
- 20 % ennuste- ja optimointimallit
- 20 % rajapinnat markkinoille
- 20 % testaus, käyttöönotto, räätälöinti

Jos A- ja B-osat standardoidaan, jäljelle jää:

- A-osuus: pudotetaan 80 % → säästö
- B-osuus: pudotetaan 40 % → säästö
- C-osuus: ei pienene

Tehdään karkea laskelma (käytän 100 % = 400 k€):

Nykyinen kustannusrakenne:

- A) 200 k€
- B) 100 k€
- C) 100 k€

Standardoinnin jälkeen:

- A) 200 k€ → 40 k€
 - B) 100 k€ → 60 k€
 - C) 100 k€ → 100 k€
- Yhteensä: 200 k€

→ Kustannussäästö: 400 k€ → 200 k€ → n. -50 %

Eli ohjausjärjestelmän hinta voisi pudota noin puoleen. Suurin kustannusriski on nykyisen laitteiston/järjestelmän liittämisen uuteen standardoituun järjestelmään. Tämä syö monesti paljon kustannuksia ja mikä saattaa syödä myös standardoinnin hyötyä.

3) Mikä on realistinen CAPEX-säästö euroissa?

Nykytilanne:

- Ohjaus + integraatio 0,25–0,50 M€

Standardoituna:

- Ohjaus + integraatio 0,15–0,30 M€

→ Säästö: 100–200 k€

Tämä on konservatiivinen arvio.

Hyvissä olosuhteissa, ilman reservimarkkinoita, säästö voisi olla yli 200 k€.

4) O&M-säästö ja riskisäästö

Kun ohjaus on standardoitu:

A) Käyttöhenkilökunnan tarve pienenee

Koska peruslogiikat ovat vakio:

- harvemmin vikoja
- helpompi vaihtaa käyttöhenkilöitä
- valmiit käyttöliittymät

- vähemmän väärrien asetusten riskiä

Arvioitu säästö: 2 000 – 5 000 €/vuosi (työaika). Käytännössä vaaditaan aina ko. automaation toteuttaneen toimijan asentaja/huolto tekemään muutokset ja korjaukset, muuten takuu raukeaa. Eli ei teetetä käyttöhenkilökunnalla vaihtotyötä.

B) Huolto ja ylläpito helpottuvat

Vakio-ohjelmistoon saa usein päivityspaketin.

Arvioitu säästö: 5 000 – 10 000 €/vuosi.

C) Vähemmän yllättäviä seisokkeja

Koska logiikka on testattu kymmenillä laitoksilla, "reunatapauksia" esiintyy vähemmän. Todennäköisyys pienenee, ja seisokki voi maksaa 5–20 k€/vrk, vaikka toteutuisi harvoin.

5) Sähkömarkkinaoptimointi → säästö + lisätuotto

Jos sama optimointialgoritmi on käytössä useissa laitoksissa, sitä voidaan parantaa jatkuvasti ja skaalata kaikkialle. Tämä:

- vähentää ali- ja osaoptimointia
- nostaa arbitraasituottoja
- parantaa reservimarkkinaprofiilia

Esimerkiksi:

- TES + sähkökattila → säästöt 10–20 k€/vuosi
- Parempi ajo → +1–2 % hyötysuhde biokattilaan
- Reservituotot → parannus 10–15 % paremmalla ohjauksella

Standardointi monistaa nämä parannukset ilman lisäkustannusta.

6) Kokonaisarvio: paljonko kannattaa panostaa standardointiin?

Jos olet lämpöyhtiö ja rakennat 1 laitoksen

- 50–100 k€ säästö ohjausjärjestelmässä
- 10–30 k€/vuosi säästö käytössä

Jos olet toimittaja, joka rakentaa 5–20 laitosta

- jokainen laitos säästää esim. 70 k€ CAPEX → likimain 1 M€ säästöt
- ohjelmiston jatkuva kehitys ja myynti + huoltosopimukset → merkittävä liiketoimintapotentiaali

7) Keskeinen päätelmä

Standardointi kannattaa – se voi:

- puolittaa ohjausjärjestelmän hinnan
- vähentää käyttö- ja huoltokustannuksia
- parantaa toimintavarmuutta
- tehdä markkinaoptimoinnista paljon tehokkaampaa
- parantaa reservimarkkinatuottoja

Etenkin **sähkökattila + TES + SPOT-ohjaus** on ideaali standardoitava kombinaatio.

Ainoa osa, jota ei standardisoida helposti, on:

- reservimarkkinaintegraatio
- laitoskohtaiset hydrauliset rajoitteet
- varavoimalaitteiden (öljy, diesel) erityistilanteet

Mutta nämä ovat vain 20–30 % kokonaisuudesta.

Mitä tämä edellyttää markkinoilta, voisiko sen tuotteistaa ja myydä lämpölaitoksille Suomessa?

Alla konkreettinen, realistinen ja markkinalähtöinen kuvaus siitä, mitä standardoidun “kaukolämpölaitoksen optimointi + sähkökattila + TES + reservit” -paketin tuotteistaminen vaatisi. Kerro myös, kuka voisi ostaa, kuka voisi myydä, miksi tätä ei vielä ole, sekä millaiseen markkinapotentiaaliin tämä voisi kasvaa.

1) Mikä olisi tuotteen ydin?

Valmis, modulaarinen optimointi- ja ohjausjärjestelmä, joka toimii 3–30 MW lämpölaitoksissa ja sisältää:

Moduulit:

1. P2H-ohjaus (sähkökattila + TES)
 - Automaattinen lataus/purku SPOT-hinnan ja lämpökuorman mukaan
2. TES-optimointi (40–5000 MWh)
 - Ennustaa lämpökuorman
 - Ennustaa SPOT-hinnan
 - Minimoiva kustannusfunktio
3. Biokattilan optimointi
 - Hyötysuhdekäyrät
 - Start/stop -logiikka
 - Minimi- ja maksimitehot
4. Varakattilan (öljy/diesel) optimointi
 - “Auto-standby”
 - Huoltokäyttö
 - Automaattinen suojaus pidemmässä varakäytössä (korroosionesto)
5. **Sähkömarkkinaliityntä**
 - Nord Pool API
 - Tarjousten automaattinen haku ja ajo
 - Intraday-korjaukset
6. **Reservimarkkinairtototeutus (laajennus)**
 - Fingrid FCR-N, FCR-D (kulutusjousto tai tuotanto)
 - mFRR-aggregointi rajatun kumppanin kanssa
 - 100–200 ms telemetria
 - Vasteen todentaminen
 - Testausprotokollat
7. **Kaukolämpöverkon minisimulaattori** (kevytversio)
 - Arvioi verkon puskurin, paluueden lämpötilan, pumppukuorman
 - Ei täysi simulointimalli → kevyt mutta tehokas käytännön optimointiin
8. **Vakioitu käyttöliittymä**
 - Sähkökattilan optimointi yhdellä näytöllä
 - TES-tilanne + ennuste
 - Optimointimoottorin päätökset näkyvissä
 - Automaatiikan ohitus, manuaalitila

Lisämyyntinä:

- API kaupungin energianhallintaan
 - Energiaraportointi
 - Optimoitu huoltokalenteri (CHP/diesel/öljy)
- Tämä paketti skaalautuu eri O&M-organisaatioihin ja toimii 80–90 % “sellaisenaan”.

2) Mikä on tuotekehityksen laajuus?**A) Perusmoduulit (P2H + TES + SPOT):**

- 4–6 kuukauden kehitys
- kustannus 300–500 k€
- tuloksena: vakiotuote

B) Reservimarkkinamoduuli:

- 6–12 kuukautta
- paljon testejä, telemetriaa, dokumentaatiota
- kustannus 200–600 k€

Kokonaiskehityskustannus: 500–1100 k€, jos tehdään kerralla kunnolla.

Tämän jälkeen projekti on pääomahyödykkeitä, joita voi myydä 10–50 laitokselle.

3) Kuka ostaa?**Todennäköisimmät ostajat Suomessa:****1. Kunnalliset ja alueelliset lämpöyhtiöt (3–20 MW)**

- Suomussalmi, Ristijärvi, Puolanka, Utajärvi, Kuhmo, Kiuruvesi, Kitee, Soini, Lappajärvi jne.
- Noin 200–250 mahdollista asiakasta Suomessa.
- Useiden nykyohjaus on 1990–2000 -lukua, ja säästöpotentiaali on korkea.

2. Energiayhtiöiden pienet yksiköt

- Helenillä ja Vantaan Energialla on valtavasti suurempia laitoksia, mutta ne omistavat myös pieniä 5–20 MW sirolämpölaitoksia.
- Myös Fortum, Adven, Nevel ja Loimua omistavat kymmeniä pieniä laitoksia.

3. Isot kiinteistöomistajat, joilla on omia lämpölaitoksia

- Metsäteollisuus
- Tukkuliikkeet
- Logistiikkakeskukset
- Kasvihuoneet
- Loma-, kylpylä- ja hotellikeskukset

Euroopan markkina

- Varsinkin Ruotsi, Tanska, Viro, Latvia, Puola ja Saksa → valtava kysyntä 5–50 MW laitoksissa.
- Arvio: potentiaali yli 2000 laitosta Euroopassa.

4) Mikä olisi tuotteen hinta?

Realistinen hinnoittelumalli:

Perusohjaus (P2H + TES + SPOT):

- 45–80 k€ lisenssi + asennus
- vuosilisenssi 5–15 k€/a

Reservimarkkinamoduuli (valinnainen):

- 20–40 k€ lisenssi
- vuosimaksu 3–6 k€/a

- käyttöönotto 10–30 k€

Täysi paketti:

- 60–150 k€ per laitos
- vuosilisenssi 10–25 k€/a

Tämä on puolet siitä, mitä nykyiset räätälöidyt ratkaisut maksavat (150–350 k€ /laitos).

5) Miksi tällaista ei ole vielä markkinoilla?

Tärkein syy on se, että automaatioyritykset ajattelevat projektikohtaisesti, eivät tuotekohtaisesti. Konkretiassa:

1. **Jokaisella laitoksella on eri kattilakombinaatio → “paketti ei sovi suoraan”.**
2. **Kunnalliset toimijat tekevät hankintoja hitaasti**, tuotteistaminen koetaan riskiksi.
 - Ostoprosessit vaativat tarjouskilpailuja
 - Jokainen kilpailutus suosii räätälöintiä, ei vakioratkaisuja
3. **Markkinan koko näyttää pieneltä yksittäiselle toimijalle**
 - mutta alueellisesti ja Euroopassa se on iso.
4. **Automaatioyrityksillä ei aina ole omaa P2H/TES-optimoinnin osaamista**– Sähkömarkkinaoptimoinnin tekijät eivät välttämättä tunne kaukolämpötekniikkaa
5. **Pienillä laitoksilla ei ole resursseja pyytää laajaa ohjelmistokehitystä**
 - Siksi he hyväksyvät nykyisen (alikehittyneen) ohjauksen.

Yhteensä nämä ovat klassinen markkinaepäonnistuminen eli hyödyllinen tuote olisi mahdollinen, mutta kukaan ei aloita kehitystä.

6) Mikä olisi realistinen tapa saada tämä markkinoille?

Vaihtoehto A – Automaatioalan yritys tuotteistaa

Esim. Rejlers, Citec, Etteplan, Empower, Loihde.

- Markkinat ovat heille tutut
- Mutta usein liian projektivetoisia

Vaihtoehto B – Start-up / spin-off “HeatFlex”

- Pienen tiimin kehittämä, pilvitoteutuksella
- Standardoitu optimointimoottori
- Kevyt rajapinta SCADAan
- Malli vastaava kuin “Fortum Spring”, mutta pieniin laitoksiin

Vaihtoehto C – Aggregaattori tarjoaa tämän osana reservipalvelua

Esim. Sympower, Väre, VTT-projektit.

- Heillä on jo markkinaintegraatio
- He voivat tarjota P2H-optimoinnin kylkiäisenä

Vaihtoehto D – Kunnallinen verkko/konsortio rakentaa avoimen standardin

Esim. Kainuun, Koillismaan tai Itä-Suomen alueellinen yhteistyö, jossa:

- yksi malli kehitetään yhteisesti
- myydään muille “open standard” -periaatteella
- halvin kehitystapa

7) Markkinapotentiaali numeroina

Suomessa:

- 200 pientä kaukolämpölaitosta (3–20 MW)
- Jos 30 % ostaa tuotteen: 60 laitosta
- Myynti 100 k€/laitos → 6 M€
- Lisenssitulot 10 k€/a → 0,6 M€/a

Eurooppa:

- Arvio: 2000 potentiaalista laitosta
- 10 % penetraatio → 200 laitosta
- 120 k€/laitos → 24 M€
- Lisenssitulot 2–3 M€/a

Yhteensä realistinen markkina: 30–50 M€ + 2–4 M€/a lisenssituotot

Pienelle osaavalle toimijalle tämä on erittäin kannattava niche.

8) Yhteenvedo: mitä tämä markkina “edellyttää”?

Lyhyesti:

1. Modulaarinen, 70–80 % vakioitava ohjauspaketti
2. Reservimarkkinat lisämoduulina
3. Kevyt integraatio SCADAan (Siemens, ABB, Valmet DNA)
4. Koko maahan tai alueeseen räätälöity “malli-lämpölaitos”
5. Tehokkaat ennustemallit (lämpökuorma + sähköhinta)
6. Hyvin dokumentoitu rajapinta ja testattu fallback-logiikka
7. Kaupallistaminen aggregaattorin, automaatiotalon tai spin-off-startupin kautta

Miten tämä sopisi juuri Kainuun lämpölaitoksille (Suomussalmi, Ristijärvi, Puolanka, Kuhmo jne.)

Alla kohdennettu arvio siitä, miten standardoitu “P2H + TES + optimointi + reservivalmius” -paketti sopisi nimenomaan Kainuun lämpölaitoksille (Suomussalmi, Ristijärvi, Puolanka, Kuhmo, Sotkamo jne.). Kerron:

1. minkä kokoluokan laitoksille tämä olisi järkevä
2. kuinka suuri säästö- ja tuottopotentiaali olisi vuositasolla
3. mitä rajoitteita näillä laitoksilla on
4. miten optimointi toimisi käytännössä
5. millainen alueellinen strategia olisi paras.

Käsittelem tämän hyvin konkreettisesti Kainuun olosuhteiden, verkkojen koon, nykyisten kattiloiden ja hintarakenteen perusteella.

1) Kainuun piirteet: juuri tällaiselle paketoitulle ohjaukselle sopiva alue

Kainuussa on:

- paljon 3–15 MW kokoluokan kaukolämpölaitoksia
- vaihtelevia polttoaineseoksia (pieniä kohteita: hake + murske + metsätähde, isommat: kuori + sivuvirrat)
- suhteellisen pitkiä ja laajoja verkkoja, mutta ei suuria ylikuormia
- pieniä operointiorganisaatioita (1–3 henkilöä) → automaatiolle suuri tarve
- sähköverkon vähintään paikoitellen käytettävissä olevaa kapasiteettia
- erittäin korkea lämmöntarpeen vaihtelu (–35...+15 °C)
- pitkät seisokit öljyvarakattiloille, jotka vaativat korroosionsuojausta ja automaattiajaja
- sähkömarkkinoiden vaihtelu: Suomen aluetta (FI) → hyvät P2H-mahdollisuudet

Kainuu on siis teknisesti erittäin otollinen paikka tällaiselle mallille.

2) Taloudellinen potentiaali Kainuussa

Arvioin realistisia säästöjä laitoksille, joilla on:

- 3–10 MW biokattila

- 20–100 MWh lämpövarasto
- 0,5–2,0 MW sähkökattila
- nykyinen automaatio ilman optimointia
- ei reservimarkkinaosallistumista

A) SPOT-ohjauksen suora säästö

Keskiarvoinen säästö:

5–15 €/MWh lämpöä sähkökattilalla tuotettuna.

Jos sähkökattilalla tuotetaan 5–20 % vuotuisesta lämmöstä (tyypillistä Kainuussa, kun primäärinä hake), säästö on:

- 20–80 GWh/a laitoksessa → sähkökattilaosuus 1–10 GWh/a
- säästö 10–150 k€/vuosi.

Suomussalmen kokoluokassa (yli 20 GWh/a) realistinen säästö: 40–100 k€/a.

Pienissä Ristijärvi/Puolanka: 10–30 k€/a.

B) Biokattilan ajon optimointi

80–95 % hyötysuhde → pystytään nostamaan 1–3 %-yksikköä, koska:

- vähemmän osakuorma-ajoa
- parempi lämpötilaprofiili
- vähemmän start/stop -syklejä
- tasaisempi paluulämpötila TES:n kautta

Säästö:

- Suomussalmi: 10–40 k€/a
- Ristijärvi/Puolanka: 3–15 k€/a

C) Huoltokustannusten lasku

Vakio-ohjaus ja vähemmän yllättäviä seisokkeja:

- säästö 5–20 k€/a, laitoksen koosta riippuen
- Kainuussa tämä on erityisen relevanttia pienille laitoksille, joissa päivystys osin ulkoistettu.

D) Reservimarkkinatuotto (jos otetaan käyttöön)

Kainuun laitoksilla on hyvät olosuhteet FCR-N ja mFRR -joustoon erityisesti sähkökattiloilla.

Tuottoarvio sähkökattilalle (1 MW):

- FCR-N: 15–35 k€/a
- mFRR aggregaattorin kautta: 10–25 k€/a

Pienet 0,5 MW yksiköt:

- 5–10 k€/a

Suuret (2–5 MW):

- 40–80 k€/a

Kokonaispotentiaali Kainuussa per laitos

Laitoksen koko	SPOT-säästö	Kattilahyötysuhde	Huoltosäästö	Reservit	Yhteensä
Pieni (3–5 MW)	10–30 k€	3–15 k€	5–10 k€	5–10 k€	25–65 k€/a
Keskikokoinen (5–10 MW)	20–50 k€	10–25 k€	5–15 k€	10–30 k€	45–120 k€/a

Laitoksen koko	SPOT-säästö	Kattilahyötysuhde	Huoltosäästö	Reservit	Yhteensä
Suurempi (10–20 MW)	40–100 k€	10–40 k€	10–20 k€	30–60 k€	90–220 k€/a

Suomussalmi (20+ MW): potentiaali voi olla jopa 150–300 k€/a.

3) Mitkä ovat Kainuun laitosten rajoitteet?

Tässä muutamia tosielämän “pullonkauloja”, jotka vaikuttavat siihen, miten hyvin paketti toimii.

A) Lämpöverkon rajoitteet

- pitkät runkolinjat → viive optimoinnissa
- alhaiset paluulämpötilat → hyvä asia TES:lle
- joissakin verkoissa pumpattavuus on rajoite

Ratkaisu: kevyt verkkomalli sisältyy standardipakettiin.

B) Polttoaineen laatu

Kainuussa on usein:

- metsäteollisuuden sivutuotteita
- metsätähdettä
- talvella jäätyvää materiaalia

Optimointi voi kiertää ainevirran ongelmia:

- vähentää start/stop -syklejä
- ajaa biokattilaa tasaisemmin → polttoaineen laatuongelmat vähemmän kriittisiä.

C) Varalämpö

Öljy-/kaasukattilat ovat:

- usein 1980–1990-lukua
- seisooneet pitkään → riskialttiita
- käyttö 50–200 h/vuosi

Vakio-ohjaus voi tehdä:

- automaattiset säännölliset koekäytöt
- anti-korroosio -syklit
- varalaitteiden ylläpito lämpimänä

Säästää paljon “yllätyskuluja”.

D) Henkilöstöresurssit

Monella laitoksella:

- vain 1–2 operaattoria
- ei sähkömarkkinaosaamista
- ei aikaa rakentaa itse ohjauksia

Tämä juuri tekee standardisesta erittäin hyödyllisen.

4) Miltä optimointi Kainuussa näyttäisi käytännössä?

Esimerkki Kainuun 8 MW lämpölaitokselle:

4.1) SPOT-hintakuopissa (yöllä / tuulisina päivinä)

Sähkökattila 1–2 MW päälle → TES-lataus
 Biokattila alas 1–2 MW → hyötysuhde nousee

4.2) SPOT-piikeissä

TES purku + biokattila täysillä
 Sähkökattila pois
 Öljyä/dieseliä vain pakkotilanteissa

4.3) Lauantain ja sunnuntain pienemmät kuormat

Optimointi ennustaa matalamman kulutuksen
 Biokattila pienemmälle → säästö polttoaineessa
 TES:ltä puretaan

4.4) Arki-iltapäivän huippu

TES purku → huipputeho pienenee
 Ei tarvitse sytyttää öljykattilaa
 Säästö 300–500 €/h öljylaskussa

4.5) Reservit

Sähkökattila “valmiustilassa” → pienet 0,1–0,2 MW säädöt mFRR-aggregointiin
 Tuotto 10–30 k€/a

4.6) Biokattilan käyntisyklien optimointi

Tasainen ajo:
 – vähemmän kulumista
 – vähemmän tukoksia
 – polttoaineen laatu vaihtelut siedettävämpiä

4.7) Alueellinen strategia Kainuulle

Tässä on mielestäni todella toimiva malli:

A) Kainuussa kehitetään yksi “malliratkaisu”, jota levitetään kaikkiin laitoksiin

Vaiheet:

1. Yksi pilottikohte valitaan (Suomussalmi tai Ristijärvi)
2. Rakennetaan vakioitu ohjausmoduuli
3. Testataan 3–6 kk
4. Dokumentoidaan kaikki
5. Skaalataan muihin kohteisiin halvalla (vain pientä räätälöintiä)

Toteutus voi olla Kainuun tasolla:

- Kainuun kuntien tekniset toimet
- yksityiset lämpöyrittäjät (tästä tulee myös hyötyä)
- alueellinen energiafoorumi

B) Miksi tämä kannattaa tehdä alueellisesti?

- ohjelmiston kehityskustannus maksetaan vain kerran
- 10 laitosta käyttää samaa vakiojärjestelmää
- ylläpito keskitetty
- yhteiset ennustemallit

- yhteistoimitukset laitteille (sähkökattilat / TES)
- parempi neuvotteluasema aggregaattoreiden kanssa

C) Taloudellinen vaikutus:

Jos Kainuussa olisi 10 kohdetta jotka ottavat optimoinnin:

- Kokonaissästö ($10 \times 45\text{--}120 \text{ k€}/a$) = 450 k€ – 1,2 M€/a
- Kehityskustannus jakautuu → 20–30 k€ per laitos
- Kainuun energainfrastruktuurin tehokkuus paranee pysyvästi

4.8) Yhteenveto: sopiiko tämä Kainuuseen?

Kyllä, erittäin hyvin:

- verkot sopivan kokoisia, ei liian isoja → optimointi helppoa
- polttoainekustannukset merkittäviä
- sähkömarkkinat hyviä (FI-alue → Euroopan suurimpia hintavaihteluita)
- resurssit rajallisia → automaatio tuottaa suhteessa paljon
- Kainuu voisi tehdä tämän yhtenä kokonaisuutena

Sähkökattilan ja ORC:n käyttö arbitraasilla (pörssisähkö) tai reservimarkkinoilla

Ristijärven kaukolämmön biokattilan oli muistaakseni 1,3 MW (tarkista). Näppituntumalla sopiva sähkökattilan koko siihen olisi 500 kW ja ORC 50 kW. Lasketko näillä saavutettavat vuotuiset tulot arbitraasilla tai reservimarkkinoille osallistumalla? Mielellään tulevaisuutta ennakoiden.

- Ristijärven lämpölaitoksessa on 1,5 MW biokattila (ei 1,3 MW) ja varalla 2 MW öljy, toteuttajana Vapo/Neova (2016). [Neova Group](#)
- Vuonna 2024 Suomessa oli poikkeuksellisen paljon 0- tai negatiivisen hinnan tunteja (~10 % vuoden tunneista), ja hintavaihtelu on yhä suurta → hyvät lähtökohdat lämpövarasto-/sähkökattila-arbitraasille. [Energiateollisuus+2Magnus Energy+2](#)
- Fingridin reservimarkkinoiden (FCR-D down, FCR-N, aFRR) kapasiteettihinnat vaihtelevat tunneittain ja tarve kasvaa vihreän siirtymän myötä. (Tekniset ehdot ja markkinainfo.) [Fingrid+3Fingrid+3Fingrid+3](#)

Alla karkea, tulevaisuutta euroina ennakoiva haarukka kolmella skenaariolla 500 kW sähkökattilalle ja 50 kW ORC:lle. Laskin tämänhetkisen datan ja markkinadynamiikan perusteella (neg/0-hinnat yleistyvät, reservitarve kasvaa). Sähkökattilan “tulo” on käytännössä polttoainekustannuksen säästö (biomassan korvaus halvan sähkön tunneilla). Keskeiset oletukset ovat lyhyesti:

- Sähkökattilan käyttö: halvat tunnit (0–20 €/MWh) + verkko+verot ~8–12 €/MWh; hakeen marginaalikustannus 32–38 €/MWh_{th}.
- FCR-D down -kapasiteettikorvaus 6–18 €/MW,h (pieni toimija, hyvä saatavuus), saatavuustunnit 3 000–5 000 h/a.
- ORC 50 kW sähköntuotto: kapasiteettikerroin 0,45–0,75; sähkön keskihinta 40–55 €/MWh (vakaampi kuin 2022–23, mutta volatilitteettia riittää). [FfE+1](#)

Skenaario	Sähkökattilan arbitraasi (500 kW)	Reservit (FCR-D down, 0,5 MW)	ORC 50 kW sähkö
Varovainen	≈ 8 000 €	≈ 9 000 €	≈ 7 900 €
Perus	≈ 16 250 €	≈ 20 000 €	≈ 12 350 €
Optimistinen	≈ 28 500 €	≈ 45 000 €	≈ 18 100 €

Yhteensä (haarukka): noin 25 000 – 91 000 €/a (perus: ~50 000 €/a). Laskin nämä seuraavasti:

- Arbitraasi: ajetaan 500 kW kattilaa halvoilla tunneilla (900–2 300 h/a), säästö = hakeen € / MWh_{th} – (sähkön € + siirto+verot).
- Reservit: kapasiteettikorvaus = hinta (€/MW,h) × 0,5 MW × saatavuustunnit (aktivointien energiatuotot jätetty varovaisuussyistä sivuun). [Fingrid](#)
- ORC: MWh/a = 0,05 MW × 8 760 h × CF; tulot = MWh × markkinahinta.

Mitä huomioida ennen päätöstä

- Esikvalifiointi & mittaukset: Reservikauppa vaatii tekniset vaatimukset (nopea tuotannon muutos, mittaus/telemetry). Yleensä sähkökattila sopii etenkin FCR-D-säätöön (kyky lisätä kuormaa nopeasti). [Fingrid](#)

- Lämpövarasto: Arbitraasin arvo kasvaa merkittävästi, jos varastoa on $\geq 2-6$ h verkoston huipputehon mukaan. Silloin pystyy siirtämään tuotantoa kalliilta tunneilta halvoille.
- ORC tuottaa “bonussähköä”. Pienessä verkossa (=vain yksi päälämmönlähde) tuotanto seuraa lämmön tarvetta. Turbiini on pieni joten tulotkin ovat absoluuttisesti katsoen pieni, mutta melko varma lisä.
- Trendit 2026–2030: neg/0-hinnat eivät todennäköisesti katoa (tuuli- ja aurinkovoima kasvavat, 15-min markkinat ovat tulleet), ja Fingrid ennakoii reservitarpeen kasvua eli reservitulosten näkymä on myönteinen. [Fingrid](#)

Sähkökattilan hinta liittymiseen on 350 €/kW, alv 0. Lämmönsiirtimien hinnaksi voidaan olettaa 50 €/kW. Ottaen huomioon hankintaan ja sähkön hintoihin liittyvät riskit, mikä on optimaalinen sähkökattilateho ja varastokoko?

Tässä optimointiehdotus, jossa huomioidaan sekä CAPEX (350 €/kW sähkökattila + 50 €/kW lämmönsiirtimet = 400 €/kW) että tulojen riskijakauma (arbitraasi + reservit). Alla oleva on “paras arvaus” ilman paikallista tuntikuormaa, mutta se osuu hyvin pienten verkkojen tyypillisiin profiileihin. Optimoidaan

- P_E = sähkökattilan teho (kW)
- E_{store} = lämpövaraston energiasisältö (MWh_{th})
- Tuotot:
 - Arbitraasi (halpojen tuntien korvaus hakkeella) $\approx P_E \times H_{cheap} \times \Delta€/MWh$
 - Reservit (FCR-D down) $\approx P_{eligible} \times \text{hinta}_{kap} (\€/MW, h) \times h_{saatavuus}$
 - Varaston lisäarvo = mahdollistaa enemmän halpojen tuntien “pullonkaulan purkua”, jolla saadaan tehokkaampi arbitraasi ja parempi reservien saatavuus

Joissakin simuloinneissa on päädytty optimaalisen kaukolämpövarastokokoon noin 0,5 % vuosikulutuksesta. Kuitenkin esim. 8 GWh kaukolämmön kulutuksella näin laskettuna saatava 40 MWh varasto on jo varsin suuri energiavarasto pieneen verkkoon nähden. Arbitraasin arvoa rajoittaa käytännössä teho eli se, kuinka nopeasti varastoa voi ladata/tyhjentää halpoina/kalliina tunteina, ei ensimmäisenä energianvarastointikyky. Pienessä kunnassa 4–8 MWh tuo jo suurimman hyödyn murto-osalla suuren varaston kustannuksesta. CAPEX-oletukset on esitetty seuraavassa:

- Sähkökattila + liittymä + lämmönsiirtimet: 400 €/kW (alv 0)
- Lämpövarasto (vesi, terästankki): 12–18 €/kWh_{th} (tyypillinen kaukolämpöverkossa olevan pienehkö tankin taso).
 - Esim. 6 MWh \rightarrow 72–108 k€; 40 MWh \rightarrow 480–720 k€.

Suosittelun mitoitus perustapauksessa sähkökattilalle on $P_E \approx 800$ kW

- Perustelut:
 - Lähestyy keskimääräistä peruskuormaa (8 GWh/a \rightarrow $\sim 0,9$ MW), mutta ei ylisuuri
 - Skaalaa reservituloja lineaarisesti (tekniset kelpoisuudet täyttyen).
 - Hyödyntää halpoja tunteja jo merkittävästi ilman, että liittymä-/kaapelointi tai lämpövarasto paisuu kalliiksi.

Lämpövarasto: $E_{store} \approx 5-8$ MWh ($\approx 6-10$ h @ 0,8 MW)

- Perustelut:
 - Mahdollistaa tyypillisten tuulipiikkien ja halpojen tuntien hyödyntämisen yön yli

- Kustannustehokas: 5–8 MWh on murto-osa 40 MWh:n hinnasta, mutta tuo valtaosan arbitraasihyödyistä.
- Parantaa reservien saatavuutta (pitkät aktivoinnit → lämmöntase pysyy hallinnassa).

Alla sähkökattilan tehon herkkyytarkastelu konservatiivinen–perus–optimistinen (pieneen kuntaan sopiva) arvio eli eurot (vuosituotot) ja haarukat riskikorjattuna. Oletukset tiivistetysti: halpoja tunteja 4–8 h/pv, $\Delta\text{€/MWh}_{\text{th}}$ 15–25 €, FCR-D-kapasiteetti 20–60 €/MW,h, saatavuus 2 500–4 500 h/a.

Komponentti	500 kW	800 kW (suositus)	1 000 kW
Arbitraasi ilman varastoa	10–22 k€/a	16–35 k€/a	20–44 k€/a
Varaston lisäarvo*	+3–6 k€/a (4–6 MWh)	+4–9 k€/a (5–8 MWh)	+5–11 k€/a (7–10 MWh)
Reservikapasiteetti	12–25 k€/a	19–40 k€/a	24–50 k€/a
Yhteensä	25–53 k€/a	39–84 k€/a	49–105 k€/a

* Varaston lisäarvo kasvaa loivasti tämän kokoluokan jälkeen. Kustannus nousee lähes lineaarisesti, mutta rajatuotto alenee.

CAPEX (alv 0):

- 500 kW: kattila ~200 k€ + varasto 4–6 MWh (= 48–108 k€) → ~250–310 k€
- 800 kW: kattila ~320 k€ + varasto 5–8 MWh (= 60–144 k€) → ~380–465 k€
- 1 000 kW: kattila ~400 k€ + varasto 7–10 MWh (= 84–180 k€) → ~485–580 k€

Takaisinmaksu (karkea):

- 500 kW: 5–12 v
- 800 kW: 5–9 v
- 1 000 kW: 5–10 v

Miten riskit on huomioitu

- Sähkön hintariski: jos halpojen tuntien määrä pienenee tai keskihinta niillä nousee, arbitraasi laskee noin lineaarisesti P_E:n kanssa. Siksi ei ylimitoiteta >1 MW.
- Reservimarkkinariski: kapasiteettihinnat vaihtelevat; varasto + riittävän suuri P_E nostavat saatavuutta eli pienentävät hajontaa ja vaihtelua tuloissa.
- Liittymä-/tehorajariski: 800 kW on yleensä helpompi sovittaa (kaapelointi, suojaukset) kuin 1 MW, huom. suhteessa kulutukseen joka on tässä esimerkissä noin 8 GWh/a
- Investointiriskien kannalta 5–8 MWh on “sweet spot” eli jos hinnat muuttuvat, investoinnista mahdollisesti tuleva tappio on pieni verrattuna 40 MWh tankkiin.

Yhteenveto – “paras kompromissi”

- Optimaalinen sähkökattila: ≈ 800 kW, noin 60% kiinteän polttoaineen kattilan tehosta
- Optimaalinen lämpövarasto: ≈ 5–8 MWh_{th}, 0,05...0,1% vuosienergiasta
- Perustelu: paras €/€-tuotto suhteessa CAPEX-riskiin; hyödyntää halvat tunnit ja nostaa reservitulojen saatavuutta, ilman että sitoo pääomaa massiiviseen varastoon, jonka rajatuotto on pieni.

Biokattilan käyttöikä pidentävä kunnossapito

Sähkökattila vähentää biokattilan vuotuisia tunteja huomattavastikin. Kannattaisiko tähän pakettiin lisätä kattilan ennakoiva ja käyttöikä pidentävä kunnossapito siten että vesipuoli pidetään seisokin aikaan hapettomana kierrättämällä vettä lämmönvaihtimella (lämmön kierrätys) varustetun sähköllä toimivan kuumentimen läpi (kaasujen vapautuminen), pienellä lämmityksellä sisältä (RH alas) ja tiiviillä piipun sulkupellillä?

Ehdottomasti kannattaa. Kun sähkökattila tuottaa halvan sähkön tunneilla, biokattilan käyntijaksot harvenevat ja lyhenevät → lämpö- ja korroosiosykli kovenevat. Hyvä “seisokkistrategia” maksaa itsensä takaisin vähempinä vuotuisina huoltoina ja pidempänä käyttöikä. Seuraavassa kuvataan sitä, mitä lisätään pakettiin. Tavoite on estää happikorrosio ja haponkastepisteen aiheuttama kylmäkorrosio, minimoida kondenssi ja pitää kattilan sisäosat kuivina/kemiallisesti neutraaleina seisokin aikana.

1) Vesipuoli: “lämmin märkä-layup” (hot wet layup)

- Kierto: pieni kiertopumppu (esim. 3–6 m³/h) kierrättää kattilavettä apulämmönvaihtimen kautta.
- Sähkölämmitin: 10–30 kW lämmitin lämmönvaihtimen primäärikierrrossa pitää veden 55–70 °C.
- Hapenpoisto:
 - Sekoitetaan hapensitojaa (esim. natriumbisulfiitti/DEHA, dietyylihydroksyyliamiini), tavoite DO (dissolved oxygen, veteen liuennut happi) < 50 ppb.
 - Tyypipeite (N₂-patja/blanketointi) ylätilaan, varoventtiilien kautta – ei painetta yli sallittujen rajojen. Kattilan höyrytila täytetään typpellä.
- Vesikemia: pH 9–10,5, johtokyky prosessin suositusten mukaan, rautaionien seuranta.
- Asetusarvot: pumppu 24/7, lämmitin ylläpitää 60 °C, DO-anturi hälyttää >50–100 ppb.

Miksi tämä toimii: lämmin, vähähappinen vesi estää kuoppakorrosion ja pohjakerroksen korroosion, koska metalliin ei ole kosketuksissa kosteaa ilmaa.

Jos kattilalaitoksessa jo olemassa oleva minimikiertopumppu kattilaverkostossa, sähkökattila voitaisiin liittää osaksi nykyistä verkostoa. Sähkökattilan liittäminen erillisen lämmönsiirtimen kautta kattilaan on hyvä vaihtoehto, koska sillä saadaan ko. laitteisto eri verkostoon/vesitila- vuuteen (hyvä mahdollisessa vuototilanteessa).

2) Savukaasupuoli: kuivanapito ja happokastepisteen välttäminen

- Tiivis piipun sulkupelti: minimoi kylmän ilman virtauksen ja hapen kulkeutuminen tulipesään, ekonomaiseriin ja muihin lämmönsiirtopintoihin.
- Sisäinen lämmitys: 2–6 kW ilmalämmitys tulipesään/kanaville → pitää metallipinnat >45–50 °C (yli ympäristön kastepisteen).
- Kiertokuivaus: pieni absorptio- tai kompressorikuivain kierrättää ilmaa tulipesän läpi, RH < 30 %.
- Nuohous ennen seisokkia, jos mahdollista: irtotuhka pois eli ei alkaliopitoisia, hygroskooppisia kertymiä.

3) Automaatio ja valvonta

- Anturit: DO, pH, johtokyky, RH, kattilaveden T, uunin/ekonomaiserin T.

- Hälytykset: DO-piikki, RH-nousu, T < asetusarvo ⇒ automaattinen tehostus (lämmitys/kuivain).
- Trendit: raportoidaan seisokkijaksoittain (ehto esim. >12 h seisaus).

Käyttölogiikka (käytännössä)

1. Hallittu alasajo → nuohous → vesikemian tarkistus → märkävarastointitila päälle (kierto + lämmitin + hapensitoja + N₂).
2. Savukaasupuolelle sulkupelti kiinni, kuivain ja sisälämmitin päälle.
3. Seisokin aikana ylläpidetään asetusarvot automaattisesti.
4. Ylösajossa poistetaan N₂-blanketointi hallitusti, tarkistetaan DO/pH ja otetaan kuivain pois viimeisenä.

Kustannus- ja tehomitoitus (Ristijärven 1,5 MW biokattila)

- Vesitilavuus: oletus 10–20 m³ (tarkistetaan laitetoimittajalta).
- Ylläpitoteho: lämpöhäviöillä 5–15 kW riittää pitämään 55–60 °C (hyvä eristys). → valitse 20–30 kW sähkötehoa marginaalilla.
- Savukanavien kuivatus: 2–6 kW lämmitys + pieni kuivain (200–400 m³/h).
- CAPEX (alv 0, karkea):
 - Pumppu + lämmönvaihdin + 20–30 kW lämmitin + putkistot/venttiilit: 25–45 k€
 - DO-, pH-, johtokyky-, RH-anturit + I/O + logiikka: 10–20 k€
 - Sulkupelti (tiivimpi) ja asennus: 10–25 k€
 - Kuivain + sisälämmitys + sähkökeskusmuutokset: 8–15 k€
 - Yhteensä arviolta 55–105 k€.
- OPEX: sähkö ylläpitoon 7–12 MWh/kk, 700–1 200 €/kk @ 100 €/MWh; kemikaalit/kaasu 1–3 k€/a. Nämä siis vain sille ajalle, kun varastointi on käytössä. Koska tämä on nimenomaan halvan sähkön aikaan, sähkö saattaa olla halvempaa kuin tässä varovaisesti arvoitu eli todellisuudessa säilöntä on halvempaa.

Hyöty (rahaksi ja riskeiksi)

- Korroosion alenema: vesipuoli → DO <50 ppb + pH 9–10,5 voi laskea korroosiota kerta-luokkaa vähemmäksi.
- Tulipesän ja ekonomaiserin käyttöikä: kylmäkorroosion ja syklisen rasituksen pienene-minen lisää arviolta 3–6 vuotta ennen isoa remonttia.
- Seisokkien kesto ja käynnistysten “märkäkorrosio” pienenee → vähemmän vuotoja, vähemmän vuorokausitason vikatilanteita.
- Nokipalo- ja kerrostumakorrosioriski pienenee (kuivat pinnat, vähemmän kerrostu-mia).
- Käyntiinlähtö ja ylösajo nopeutuu (lämmöt ylhäällä, RH alhaalla).
- Taloudellinen vaikutus: jos nykyinen vuotuinen raskas huolto/korjaus on luokkaa 20–40 k€ ja iso remontti 200–300 k€ 8–10 v välein, oikein toteutettu säilöntä voi säästää 10–25 k€/a odotusarvoisesti + pienentää tuotantoriskiä (arvo usein suurempi kuin suora säästö). Takaisinmaksu 3–6 v on realistinen, voi olla lyhyempikin.

Riskit ja hallinta

- Hapensitojien yli-/aliannostus → vesikemian seuranta pakollinen. On myös mahdol-lista, että kemikaaleja ei tarvitse lisätä, mutta tämä pitää todentaa mittauksin.
- N₂-blanketointi: selkeä työhjeistus ja LOTO-käytännöt (ei suljettuja tiloja “huomaa-matta”).
- Sähkölämmittimien materiaalit: valitse AISI 316L / duplex vesipuolelle; varmistetaan virtaus (älä lämmitä “paikallaan”).
- Korrosio kerrostumien alla: nuohous ja pesut ennen varastointia.
- Automaatio: hälytysrajat ja etäseuranta (SMS/e-mail) – pienessä organisaatiossa kriitti-nen.
- Sulakupelliin tulee olla aina ns. fail safe-malli, joka aukeaa jos ohjaussähkö häviää.

Yhteenveto

Kokonaisuus, jonka kuvasit (hapeton kierto, sisälämmitys, sulkupelti, RH-hallinta) on juuri oi-kea vastatoimi sähkökattilan myötä lisääntyville seisokeille. Suosittelen toteutusta “lämmin märkä-ratkaisu vesipuolelle + kuiva ratkaisu savukaasupuolelle”, automaatiolla ja perusmit-tauksilla. CAPEX 55–105 k€ on pieni verrattuna potentiaaliseen elinkaarisäästöön ja riskien las-kuun.