

Höyry-lauhde-siirtojärjestelmä  
Energia-analyysi  
Teollisuus  
Energiatehokkuus

Höyry-lauhde-siirtojärjestelmä

Käyttö- ja kunnossapito-  
henkilökunnan ohjeistus

11/2011

## Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan ohjeistus

---

## Esipuhe

---

Tämä ohjeistus on ensisijaisesti tarkoitettu höyryä käyttävän laitoksen henkilökunnalle ja/tai H&L-siirtoverkon kunnossapidon palveluntarjoajalle hyödynnettäväksi koko teollisuuden energiatehokkuuden hyväksi.

Tässä dokumentissa esitetään teollisuuden H&L-järjestelmän kunnossapitotoiminnan ja energiatehokkuuden parantamiseksi yleistä toimintamallikäytäntöä ja ohjeita, jotka soveltuvat erityyppisten laitosten H&L-järjestelmän kunnossapidon- ja energiatehokkuuden arvioimiseen ja ohjeistukseen.

Ohjeet antavat suositukset käyttöhenkilöstön vastualuejakoon ja H&L-järjestelmien käynnistyksen ja normaaliajon toimenpiteiksi. Ohjeissa on kuvattu toimintamalli ja tarkastuslistoja H&L-järjestelmien kunnonvalvonnan ja energiatehokkuuden arvioimiseen ja seurantaan sekä yhteismitalliseen tulosten raportointiin.

Energiatehokas H&L-järjestelmä, tehtaan H&L-henkilöstön ohjeistus on tehty osana Motivan koordinoimaa H&L-järjestelmien energiatehokkuuden tehostamiseen ja ylläpitoon kohdistuvaa yhteistyöhanketta, jossa mukana olivat Myllykoski Paper Oy, Metsäliitto-konserni, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Borealis Polymers Oyj, Rautaruukki Oyj, ABB Service Oy, Oy Konwell Ab, Spirax Oy, Aalto yliopiston Teknillinen korkeakoulu, työ- ja elinkeinoministeriö sekä CTS Engtec Oy.

# Sisällysluettelo

---

1	Yhteenveto	4
2	H&L-siirtojärjestelmän energiatehokas käyttö- ja kunnossapito	7
2.1	Yleistä	7
2.2	Käytön aikainen seuranta	8
2.3	Käyttöhenkilökunnan toiminnan ohjeistus	9
2.4	Kunnossapitotoiminnan ohjeistus	12
2.5	Voimalaitoksen käyttöhenkilökunnan ohjeistus	16
2.6	H&L-järjestelmän vastuualuejaosta	16
3	H&L-siirtojärjestelmän energiatehokas suunnittelu ja toteutus	17
3.1	Yleistä	17
3.2	H&L-putkistosuunnittelun lähtökohdat	17
3.3	Höyryn painetaso ja putken mitoitus	19
3.4	Putkistojen eristys	21
3.5	H&L-virtausmittaukset	21
3.6	Venttilivalinta	22
3.7	Höyrylinjojen vesitysten toteutus	23
3.8	Lauhteenpoistinten valinta	27
3.9	Lauhteen palautus ja paisuntahöyryn LTO	28
4	Esimerkkilaskelmia energiasäästöistä	30
4.1	Laskentaperusteet	30
4.2	Esimerkkilaskelmia	31

Tehtaan H&L-henkilöstön ohjeistus on tarkoitettu teollisuuslaitosten H&L -järjestelmien kunnossapito- ja käyttöhenkilökunnalle. Ohjeistus soveltuu käytettäväksi sekä pienten että suurten teollisuuslaitosten H&L-järjestelmiin. Se antaa suuntaviivoja ja kuvaa hyviä käytäntöjä laitoksen nykyisen H&L-siirtojärjestelmän energiatehokkaalle toiminnalle ja antaa suosituksia sen muutosten ja uusinnan toteutukselle.

Ohjeistuksen sisältämällä toiminnan suosituksilla ja määrittelyillä edistetään ja tehostetaan höyry- ja lauhteensiirtojärjestelmien kunnossapitotoimintaa ja energiankulutuksen seurantaa. Sen tavoitteena on auttaa kunnossapito- ja käyttöhenkilökuntaa päivittäiseen työhön liittyen kunnossapitotoiminnan sekä energiakulutuksen seurannan avulla havaitsemaan energiansäästömahdollisuuksia, jotka perinteisesti tulevat ilmi vasta kokonaisvaltaisessa energiakatselmuksessa. Lisäksi ohjeistus edesauttaa säästötoimenpiteiden riittävän yksityiskohtaista määrittelyä ja kannattavuuden laskentaa, sillä vasta niiden toteutuksella voidaan säästöjä saavuttaa.

Käytännössä energiatehokkuuden tehostuminen edellyttää, että kaikissa laitoksissa on nimetty H&L-järjestelmän vastuuhenkilö, jolle osoitetaan myös resurssit hoitaa H&L-järjestelmän energiatehokkuutta.

Vastuuhenkilön nimeämisen lisäksi on tärkeää, että H&L-järjestelmän energiatehokkuudella on reaaliaikainen mittari, josta nähdään H&L-järjestelmän energiatehokkuus ja jota seurataan. Hyvä energiatehokkuuden mittari perustuu tehtaan tuotantolinjan H&L-järjestelmän ominaislämmönkulutuksen seurantaan. Ominaislämmönkulutus saadaan laskettua jakamalla mitattu tuotanto H&L-järjestelmän lämmönkulutuksella. Tuotantolinjan ominaislämmönkulutukselle tulee määrittää arvo [MWh/tuotantoyksikkö], jonka muutoksille on aina oltava perustelu. Ominaislämmönkulutuksen tavoite riippuu kuitenkin monista tapauskohtaisista tekijöistä (mm. tuotantotason vaihtelu, käyntikatkot ja –seisokit, höyryverkoston painetaso, suorahöyryn ja lauhteen käytön osuus prosessissa), joten sopiva ominaislämmönkulutuksen tavoite määräytyy aina tapauskohtaisesti!

Tuotantolinjojen vuotuisia lämmönkulutuksia ja käyttötunteja tulee seurata ja raportoida säännöllisesti. Kirjanpitoa tulee pitää huoltotöistä, korjauksista ja toimintahäiriöistä. Lauhteenpoistimien kunnontarkastus ja huolto on säännöllisesti tehtävä ylläpitotoimi.

Tehtaan H&L-järjestelmän energiankulutuksen ja vuotojen seurannan tulisi olla käyttöhenkilöstölle tuttua ja jatkuvaa toimintaa. Höyryn kulutuksen ja lauhteen palautuksen seuranta ja parannustoimenpiteet voi liittää laatu- tai ympäristöympäristöjärjestelmän raportointiin tai pitää energiankäyttöraportoinnin osana.

H&L-järjestelmän vastuuhenkilön on jatkossa yhdessä yrityksen tuotanto-, huolto- ym. henkilöstön kanssa määriteltävä ne suunnittelu- ja hankintaperusteet, joiden mukaan H&L-järjestelmän muutokset yrityksessä toteutetaan. H&L-järjestelmien energiatehokkuuteen vaikuttaa merkittävästi höyryjärjestelmän käytössä olevat ajomallit, painetasot,

lauhteen palautuksen osuus, lämmönsiirrin ja lauhteenpoistimien kunto, lämmönsäätöjen toteutustapa sekä voimalaitoksen toiminnan ominaiskarakteristikat.

Oleellinen tekijä H&L-järjestelmän osalta on, että kustannukset kohdennetaan sinne, missä kustannukset aiheutetaan. Tämä taas vaatii osastokohtaisen höyrymäärän mittaamisen ja lauhteen palautuksen sekä kustannusten jyvittämisen kyseisten mittausten perusteella. Vuodot kuuluvat joko H&L-järjestelmän vastuuhenkilön tai tuotanto-osaston vastuualueeseen. Kun H&L-järjestelmän mitataan linjoittain/osastoittain ja kustannukset jyvitetään vastaavasti, kiinnostus energiatehokkuuden seurantaan lisääntyy, koska moitteeton toiminta ja vuotojen korjaaminen lisää suoraan osaston tulosta.

H&L -järjestelmän energiatehokkaan käytön ”työkaluja” ja edellytyksiä säästöjen saavuttamiseksi tuotantolinjojen kunnossapitoon sekä H&L-järjestelmän toimintaan liittyvissä asioissa, on esitetty alla

- ajan tasalla oleva H&L-verkostokaavion laadinta ja ylläpito
- lauhteenpoistinten luettelointi ja ylläpito sekä vikojen raportoinnin ohjeistus
- tarkistetaan säännöllisesti lauhteenpoistimien ja putkiston kunto ja korjataan viiveettä höyry- ja lauhdevuodot (säännöllinen lauhteenpoistinten kuntomittaus esim. 2 vuoden välein)
- höyryn siirtoputkistojen ylös-/alasajon ohjeistus vesitysten auki/kiinni –luettelon avulla
- kaikki käyttämättömäksi jääneet putkiosuudet tulee erottaa verkostosta, koska ne aiheuttavat turhaan lämpöhäviöitä ja lisäävät myös vuoto- ja turvallisuusrisiä
- henkilökunnan säännöllinen H&L-osaamisen koulutus
- voimalaitoksen henkilökunnan H&L-osaamisen hyödyntäminen höyryä kuluttavan laitoksen puolella
- H&L-toiminnan DCS-reaaliaikaisen tase seurannan luominen ja sen päivittäinen käyttö
- säännöllinen (esim. 3–5 v. välein) pääprosessin energia-analyysin laadinta.

Energiatehokkaan H&L-järjestelmän toteutukseen liittyviä seikkoja, joita tulee tarkkailla myös käyvässä järjestelmässä, on esitetty alla

- höyrynjakelun käyttöpaineen tulee olla mahdollisimman alhainen kuitenkin käyttökohteiden suurinta painetasotarvetta korkeampi
- höyrynjakelun käyttölämpötilan tulee olla ~5-15 °C tulistettua, jotta siirto tapahtuu kuivana höyrynä lauhdehäviöiden välttämiseksi ja lämpöhäviöitä minimoiden
- höyryputken koko ei saa olla liian suuri, koska se lisää putkiston lämpöhäviöitä ja investointikustannuksia
- höyryputken koko ei saa olla liian pieni, koska se lisää siirron painehäviötä johtaen korkeamman voimalaitoksen syöttöpaineen vuoksi alhaisempaan vastapainesähkön kehitykseen
- putkistossa ei saa olla turhia suuren kertavastuksen ja painehäviötä aiheuttavia putken osia tai armatuureja eikä suuren paine-eron vaativia mittauksia, koska ne johtavat myös em. kohdan mukaisesti alhaisempaan vastapainesähkön kehitykseen
- putkireitin ja kannakoinnin suunnittelussa tulee huomioida putken lämpölaajenemisen aiheuttama liike lähtien 0 °C lämpötilasta aina suunnittelulämpötilaan asti (PED)

- höyryn siirtoputkiston vesityksiä oltava riittävästi ja oikein sijoitettuna putkireitin kulkuun ja sulkumahdollisuuksiin nähden
- höyryn siirtoputkessa oltava >0,5 % lasku vesitystä kohden myötävirtaan ja >2,0 % lasku vesitystä kohden vastavirtaan vesitettäessä.
- vesitystaskut ja vesityslinjat oltava riittävän kokoiset höyryputken kokoon nähden
- höyryn kulutushaarojen lähdöt runkoputken päältä (tai sivulta), jotta höyry saadaan kulutuskohteelle kuivana
- poistimien sijoitus vesityspotkistossa on toteutettava siten, että roskat kertyvät tyhjennys- ja ohitusventtiilien päälle, jotta ne eivät lisää poistimen häiriöherkkyyttä
- runkoputkiston päät ja putkiosuudet, joissa on ajoittain seisova virtaus, on varustettava riittävällä ilmanpoistolla ja vesityksillä tehokkaan putkistolämmityksen ja vesiskujen välttämisen vuoksi
- lauhteen palautuslämpötilan oltava HVA:n lauhteen keräilyssäiliön painetta vastaavan kylläisen lämpötilan tasolla, jotta vältytään hönkähäviöiltä voimalaitoksella
- lauhteen palautuslämpötilan tulee olla >100 °C, jotta laitoksen lauhteen keräilyssäiliöt säilyvät ylipaineisina vähentäen lauhteen happipitoisuutta, jonka poistaminen lisää kemikaalien kulutusta voimalaitoksella
- lauhteen palautus mitoitettava tarvetta vastaavaksi ja höngän lämpöenergia otettava energiataloudellisesti talteen.

## 2 H&L-siirtojärjestelmän energiatehokas käyttö- ja kunnossapito

---

### 2.1 Yleistä

---

Nykyisen olemassa olevan H&L-järjestelmän energiatehokkaaseen käyttöön liittyvät pääkohdat on koottu seuraavaan luetteloon. Niiden alle on koottu tarkistuskohdat, jotka yleensä vaikuttavat merkittävimmin H&L-järjestelmän energiatehokkuuteen.

#### H&L-siirtojärjestelmän lähtökohdat

- Höyryn jakelupaineen tulee olla mahdollisimman alhainen käyttökohteiden painetasotarpeeseen nähden.
- Siirrettävän höyryn tulee olla  $\sim 5-15$  °C tulistettua, jotta siirto tapahtuu kuivana höyrynä lauhdehäviiöiden välttämiseksi.
- Lauhteen palautuslämpötilan tulee olla voimalaitoksen lauhteen keräilyssäiliön painetta vastaavan kylläisen lämpötilan tasolla, jotta vältetään hönkähäviiöitä voimalaitoksella.
- Lauhteen palautuslämpötilan tulee olla  $>100$  °C, jotta laitoksen lauhteen keräilyssäiliöt säilyvät ylipaineisina vähentäen lauhteen happipitoisuutta, jonka poistaminen lisää kemikaalien kulutusta voimalaitoksella.

#### H&L-siirtoputkiston mitoitus

- Siirtoputken koko ei saa olla liian suuri, koska se lisää putkiston lämpöhäviiöitä ja investointikustannuksia.
- Siirtoputken koko ei saa olla liian pieni, koska se lisää siirron painehäviiötä johtaen korkeamman voimalaitoksen syöttöpaineen vuoksi alhaisempaan vastapainesähkön kehitykseen.
- Siirtoputkistossa ei saa olla turhia suuren kertavastuksen omaavia ja painehäviiötä aiheuttavia putken osia tai armatuureja eikä suuren paine-eron vaativia mittauksia, koska ne johtavat myös em. kohdan mukaisesti alhaisempaan vastapainesähkön kehitykseen.
- Kaikki käyttämättömäksi jääneet putkiosuudet tulee erottaa verkostosta, koska ne aiheuttavat turhaan lämpöhäviiöitä ja lisäävät myös vuoto- ja turvallisuusriskejä.

#### H&L-siirtoputkiston mekaaninen toteutus

- Varmistetaan, että höyryn siirtoputkiston vesityksiä on riittävästi ja oikein sijoitettuna putkireitin kulkuun ja sulkumahdollisuuksiin nähden.
- Varmistetaan, että höyryn siirtoputkessa on  $>0,5$  % lasku vesitystä kohden myötävirtaan ja  $>2,0$  % lasku vesitystä kohden vastavirtaan vesitettäessä.
- Varmistetaan, että 2-faasilauhdeputkien lasku on tasolla  $\sim 1$  %.
- Varmistetaan, että höyryotot on kytketty runkoputken yläosaan.



- Varmistetaan, että vesitystaskut ja vesitysinjat ovat riittävän kokoiset höyryputken kokoon nähden.
- Varmistetaan, että poistimien sijoitus vesityspuutkistossa on toteutettu siten, että roskat kertyvät tyhjennys- ja ohitusventtiilien päälle, jotta ne eivät lisää poistimen häiriöherkkyyttä – tarvittaessa erilliset roskasihdit.
- Varmistetaan, että etenkin runkopuutkiston päät ja putkiosuudet, joissa on ajoittain seisova virtaus, on varustettu riittävällä ilmanpoistolla ja vesityksillä tehokkaan putkistolämmityksen ja vesi-iskujen välttämisen vuoksi.
- Tarkistetaan säännöllisesti lauhteenpoistimien ja puutkiston kunto ja korjataan viiveetä höyry- ja lauhdevuodot.
- Tarkistetaan, että puutkiston ja sen varusteiden lämpöeristys on kunnossa.
- Tarkistetaan, että lauhteen keräily ja paisuntahöyryn hyödyntäminen on toteutettu energiataloudellisesti.
- Tarkistetaan, että lauhteen palautus toimii moitteetta.

### **H&L-järjestelmän mittaukset ja kulutusseuranta**

- Varmistetaan, että kaikissa höyryn siirtopuutkissa voimalaitokselta kulutuskohteille on paine- ja lämpötilakompensoidut ja asianmukaiset virtausmäärän mittaukset.
- Varmistetaan, että kaikissa lauhteen palautuspuutkissa laitokselta voimalaitokselle on lämpötilakompensoitu ja asianmukainen virtausmäärän mittaus.
- Mittaukset on liitetty säännöllisen kalibroinnin piiriin luotettavuuden ylläpitämiseksi.
- Kohteissa, joissa lauhteen likaantuminen on mahdollista ja voimalaitokselle haitallista, on lauhteen paluulinja syytä varustaa jatkuvalla johtokykyymittauksella ja automaattisella ulosajolla.
- Prosessin suurimmille kulutuskohteille suositellaan erillistä energiaseurantaa.
- Kaikille merkityksellisille suorahöyryn/-lauhteen käyttökohteille suositellaan virtausmittausta ja ilman mittausta oleville hetkellisille ulosajoille venttiiliasennon indikointia taseseurantaa varten.
- Lauhteen keräilyssäiliöiden hönkälauhdutukselle suositellaan vesipuolen lämpötehon mittausta vikatilanteiden välittömäksi indikoimiseksi käyttöhenkilökunnalle.
- Varmistetaan, että mittaustietoja hyödynnetään tehokkaasti energiatehokkuuden seurantaan liittämällä ne tiedonkeruujärjestelmään ja kohdentamalla ne tuotantolinjoille ja kulutuskohteille reaaliaikaisiksi ominaiskulutuksiksi ja kulutustrendeiksi huomioiden laitoksen tuotanto- ja seisokkiajat.

## **2.2 Käytön aikainen seuranta**

---

H&L-järjestelmän kunnossapidon ja energiatehokkuuden seurannan osa-alueiden selkeä vastuuttaminen tuo tehtaalla jo lyhyellä aikajänteellä merkittäviä energiasäästöjä vuotohäviöiden minimoitumisena sekä pitkällä aikajänteellä H&L-järjestelmän energiatehokkaiden ajotapojen ja sopivien kuntokartoitusten tarkastusaikavälien löytymisenä.

Suunnitelmalliset, säännölliset ja ohjeistetut kunnossapito- ja huoltokäytännöt sekä energiatehokkuuden seuranta ja raportointi minimoivat tehokkaasti H&L-järjestelmän vuotohäviöitä, pienentävät lämmönkulutuskohteiden vikaantumisista aiheutuvien seisok-

kien lukumäärää sekä edesauttavat oikeiden ajomallien löytymistä, parantaen näin tuotannon pysyvyyttä ja energiatehokkuutta.

Nykyään isoimmilla tehtailla on useissa tapauksissa huolto- ja kunnossapitotoiminta eriytetty tuotannosta. Tehtaalla on tällöin sopimus kunnossapitoyrityksen kanssa, joka vastaa tehtaan H&L-laitteiden kunnosta sekä ennako- ja määräaikaishuolloista. Pienimissä laitoksissa huolto-, kunnossapito- ja käyttöhenkilökunta toimivat usein saman yrityksen alla jolloin ei aina välttämättä selkeää rajapintaa huolto-/kunnossapidon ja tuotannon välille synny, vaikka kyseinen jaottelu on olemassa. Lisäksi tehtaan höyryn kehityksestä vastaava höyryvoimalaitos on usein eriytetty tuotannosta ja vastaa omalla organisaatiollaan laitoksen tarvitsemasta höyryn kehityksestä/jakelusta.

Edellä kuvatun kunnossapito, tuotanto ja voimalaitos -jaottelun vuoksi H&L-siirtoverkosto voi jäädä vähemmälle huomiolle, jolloin useat vuotohäviöt kohdistuvat pitkävaikutteisina sen piiriin. Kun H&L-siirtoverkoston lauhteenpoiston käytönaikaisesta toiminnasta ja kunnonvalvonnasta huolehtii tehtaan käyttöhenkilöstö oman päätyönsä ohella, ei säännölliseen H&L-siirtoverkoston toiminnan valvontaan ole aina käytännön mahdollisuuksia, vaan ongelmat korjataan sitä mukaan, kun niitä ilmenee.

Energiantehokkuutta seurataan tehtailla tavallisesti höyrykulutuksen ja lauhteen palautuksen tuotantolinjakohtaisten mittausten avulla, jotka sijaitsevat voimalaitoksella. Tiedot on liitetty tehtaan tiedon keruu/seuranta-järjestelmään, jonka avulla tuotetaan kuukausi/vuosi raportit. Raportointi tapahtuu tavallisesti tuotantolinjakohtaisina lämmönkulutuslaskelmina sekä ominaislämmönkulutuksina. Kuitenkin yksittäisen lauhteenpoistimen toimimattomuuden havaitseminen jopa virtausmittauksiin perustuvan taseseurannankin avulla on vaikeaa ja jopa mahdotonta, joten H&L-toimintakunnon ylläpito edellyttää säännöllistä kuntokartoitusta.

Tehokas tapa seurata H&L-siirtojärjestelmän toimintaa on toteuttaa lauhteen keräilysäiliöiden hönkälauhduttimien tehomittaus vesipuolelta. Tämän LTO-tehon mittaus on melko edullinen toteuttaa ja tehon nousussa on havaittavissa yksittäisen ohitusventtiilin (50...100 kW) aukijääminen ja jopa poistimen läpipuhallus (20 kW).

### 2.3 Käyttöhenkilökunnan toiminnan ohjeistus

---

Tuotantolinjoilla sijaitsevat höyry- ja lauhtemittaukset kuuluvat tavallisesti kunnossapidon ennakkohuollon piiriin, mutta niiden mittausarvot voivat poiketa merkittävästi voimalaitoksen toimitusmittauksiin nähden. Tuotantolinjan H&L-mittaukset on syytä liittää tiedonkeruu- ja seurantajärjestelmään, sillä mittaustietojen keruujärjestelmän historiatietojen avulla voidaan selvittää tuotantolinjan energiatehokkuutta sekä energian käyttöön liittyviä seikkoja.

Tuotannon käyttöhenkilökunnalla suositellaan seuraavia toimintamalleja tehtaan H&L-siirtojärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseksi

- tuotannon H&L-verkostolle nimetty käyttövastaava
- kunnossapidon/palvelutarjoajan kuntoraporttien tulokset ja niiden seuranta

- suljettujen/ei käytössä olevien tuotantolinjojen H&L-putkistojen erottaminen H&L-verkostosta (ei käytössä olevien putkistojen lämpöhäviöiden minimointi)
- H&L-verkoston käyttöhenkilöstön tiedottaminen ja koulutus
- tuotantolinjakohtainen energiatehokkuuden seuranta, kuten tuotantolinjakohtainen reaaliaikainen energiatase, josta näkyy mm. lauhdehäviöt [kg/s] (= höyryn kulutus–lauhteen palautus) sekä ominaislämmönkulutus [MWh/t]
- käyttöhenkilökunnan ohjeistus H&L-verkoston ylös-/alasajoa varten
- tuotantolinjan pääprosessin säännöllinen H&L-analyysin laatimien.

### Energiatehokkuuden seuranta tuotantolinjakohtaisten tasemittausten avulla

Tuotannon energiantehokkuutta voidaan yleensä seurata höyrykulutuksen ja lauhteen palautuksen tuotantolinjakohtaisten voimalaitoksen toimitusmittausten avulla. Mittaustiedot on liitetty tuotannon tiedonkeruujärjestelmään, jonka avulla saadaan tuotannon höyrykulutuksen kuukausi/vuosi raportit. Raportointi tulee tapahtua tuotantolinjakohtaisina lämmönkulutuslaskelmina sekä ominaislämmönkulutuksina, jolloin kustannukset kohdennetaan sinne, missä kustannukset aiheutetaan. Vuotojen eliminointi kuuluu tällöin tuotannon H&L-järjestelmän vastuuhenkilölle parantaen tuotantolinjan tulosta.

Tuotantolinjakohtainen energiatehokkuuden seuranta tulee laatia prosessin ohjausjärjestelmään (DCS-järjestelmä) reaaliaikaisena energiataseena, josta näkyy ominaislämmönkulutuksen [MWh/t] lisäksi mm. tuotantolinjan lauhdehäviöt [MWh tai kg/s]. Hyvänä apuna H&L-siirtojärjestelmän toimintahäiriöiden havaitsemisessa on myös lauhteen keräilyssäiliön hönkätehon mittausta [kW], joka on luotettavinta toteuttaa vesipuolelta mitattuna. Tuotantolinjan ominaislämmönkulutukselle ja häviöille tulee olla seurantatrendit ja määrittää arvot, jotka ylitettäessä annetaan hälytystieto ohjausjärjestelmässä. Seuranta-järjestelmän historiatietojen avulla voidaan selvittää tuotantolinjan energian käyttöön liittyviä seikkoja.

H&L-siirtojärjestelmän toiminnan seuraaminen virtaustaseen avulla edellyttää, että verkostossa on riittävästi luotettavia mittauksia. Kaikki höyryn määrämittaukset tulee varustaa paine- ja lämpötilakompensoinnilla. Yksittäisen lauhteenpoistimen läpipuhallusta on siltikin lähes mahdotonta havaita edes kaikki mittaukset sisältävän tase seurannan avulla. Lauhteenpoistimet on toki mahdollista varustaa poistinkohtaisella kunnonvalvonnalla, jonka hankintaa on syytä myös tapauskohtaisesti harkita.

Jotta tuotantolinjakohtaista H&L-järjestelmän energiatehokkuutta voidaan arvioida ja seurata, minimivaatimuksena kiinteille tuotantolinjakohtaisille mittauksille ovat

- päähöyrylinjan määrämittaus (+ paine ja lämpötila)
- lauhteen palautuksen määrämittaus (+ lämpötila)
- suora höyrykulutuskohteiden määrämittaukset
- tapauskohtaisesti merkittävimmät osaprosessien seurantamittaukset.

Seurannan tulokset raportoidaan vuosineljänneksittäin ja esitetään vastaavassa energiakatselmuksessa. Energiakatselmuksessa todetaan tapahtuneet muutokset ja esitetään perustelut tapahtuneelle kehitykselle.

## H&L-katselmus

H&L-järjestelmälle voidaan tehdä energiakatselmus (esim. Motivan H&L-järjestelmän tarkennettu katselmus), säännöllisin väliajoin (esim. 3–5 vuoden välein), jonka avulla kartoitetaan yksityiskohtaisemmin H&L-järjestelmän energiatehokkuutta esim. tehtaan tuotannon lisäyksestä/vähennyksestä tai ajomuutoksista johtuen.

H&L-siirtojärjestelmän laajempi tarkastelu voidaan prosessiteollisuudessa tehdä täydentävänä analyysinä, jolloin siihen voi hakea ns. toisen vaiheen katselmustukea. Muutoin H&L-siirtojärjestelmän tarkastelun tulee sisältyä teollisuuden normaaliin energia-analyysiin tarkoituksenmukaisessa laajuudessa. Katselmustuen saamisen edellytyksenä on kahden Motivan hyväksymän katselmuksen vastuuhenkilön (L ja S) nimeäminen.

H&L-analyysin energiakatselmuksessa todetaan tapahtuneet muutokset höyrynkulutuksessa suhteessa tuotantoon ja esitetään perustelut tapahtuneelle kehitykselle sekä toimenpide-ehdotukset energiatehokkuuden parantamiseksi tehtaalla/tuotantolinjalla.

## Käyttöhenkilökunnan ohjeistaminen

Käyttöhenkilökunnalle tulee laatia höyryjärjestelmän käynnistystä varten höyryrunkolinjakohtainen vesitysluettelo, jonka mukaisesti avataan startin yhteydessä oikeat linjavesitysten ohitusventtiilit ja jotka käynnistyksen jälkeen jälleen suljetaan.

Tehtaalla on syytä olla käytettävissä H&L-verkostokaavio, johon on merkitty runkolinjojen lisäksi myös kaikki linjavesitysten lauhteenpoistimet positioituina. Verkostokaavio toimii ylös-/alasajon H&L-siirtoverkoston linjavesitysten karttana, jonka avulla on helppo löytää lauhteenpoistimet kentältä.

Verkostokaavion ja tuotantolinjakohtaisen vesitysluettelon (ruksilista) avulla ja opastuksella käyttöhenkilökunta avaa höyrylinjan linjavesitysten ohitusventtiilit käynnistyksen yhteydessä ja sulkee ne käynnistyksen jälkeen. H&L-järjestelmän ylös- ja alasajon ohjeistuksen laadinta on yksi tärkeimmistä käyttöhenkilökunnan toiminnoista, jolla vaikutetaan tuotantolinjan energiatehokkuuden ylläpysymiseen. Tuotanto-/päähöyrylinjan positiokohtaiseen ”ruksilistaan” on koottu kaikki ko. päärunгон lämmityksen yhteydessä suoritettavat toimenpiteet. Ruksilistan laadinnan ensimmäinen edellytys on lauhteenpoistinten ja ohitusventtiileiden positiointi linjakaavioihin ja maastoon. Lämmitysohje sisältää siis ne toimet kirjattuna, jotka aiemmin voimalaitoksen ”ylikonemestari” on kävelyretkellään suorittanut saatuaan ensin kattilansa ajolle. Ruksilistan avulla todennäköisyys avoimeksi jääneistä vesityslinjojen ohitusventtiileistä ja niiden kautta tapahtuvista vuotohäviöistä vähenee merkittävästi.

Taulukko 1 **Tuotantolinjakohtainen H&L-ylös-/alasajon toimenpideohje**

**Höyryn runkolinjan ylös-/alasajon toimenpideluettelo**

Kohde: HMP -tuotantolinja 1

Liittyvä: Verkostokaavio no.: 12345.dwg

Positio	Nimitys/sijainti	tyyppi	pvm.	23.12.2010	27.12.2010	KUNTO/ HUOM.
			aika	14.00	08.00	
			Tekijä	H. Höyry	L. Lauhde	
			Asento O = auki, X = kiinni			
V-0001	HMP-xxx vesitys 01, lauhteenpoistin	uimuri	X	O		OK
V-0002	HMP-xxx vesitys 01, LP-ohitusventtiili	ohitus	O	X		OK
V-0003	HMP-xxx vesitys 01 tasku, tyhjennysventtiili	tyhjennys	O	X		boxi vuotaa
V-0004	HMP-xxx vesitys 01, LP-etusulku	sulku	X	O		sulj.lämm.ajan, ettei mene roskaa
V-0005	HMP-xxx vesitys 02, lauhteenpoistin	terminen	O	O		OK
V-0006	HMP-xxx vesitys 02, LP-ohitusventtiili	ohitus	O	X		OK
V-0007						
V-0008						
V-0009						

**H&L -osaamisen tehostus**

H&L-siirtojärjestelmän toiminnan seuraaminen edellyttää termodynamiikan perusteiden hallintaa. H&L-osaajat ovat useimmiten keskittyneet voimalaitosyhtiöön, jolloin H&L-järjestelmän käyttötoimet, kuten esim. seisokin jälkeinen ylösajo, edellyttää yhteistyötä eri toimialueiden välillä. Myös voimalaitosten nopea automatisointi on johtanut H&L-henkilökunnan (ylikonemestarit ...) vähentymiseen, mikä edelleen vaikeuttaa normaaliajasta poikkeavien toimenpiteiden suorittamista. Monilla tehtailla höyryn tuottaja ja höyryn kuluttaja ovat eri yhtiötä, jolloin energiatehokkuuden parantamisen toimenpiteet voivat lyhyellä tähtämellä olla jopa ristiriitaisia.

Laitosintegraatilla voi olla kuitenkin yhteinen kunnossapitoyhtiö/-organisaatio, jolloin sen H&L-osaaminen voi ulottua koko H&L-järjestelmän toiminta-alueelle. Tällöin putkilinjojen ylösajotoimet olisi suositeltavaa ulottaa kunnossapidon piiriin. Kokonaisvaltainen H&L-hallinta yksissä käsissä antaa paremmat mahdollisuudet H&L-järjestelmän energiatehokkuuden ylläpitoon ja parantamiseen.

**2.4 Kunnossapitotoiminnan ohjeistus**

H&L-järjestelmän huolto- ja kunnossapitotoiminnalle tulee nimetä vastuuhenkilö(t), joka vastaa tuotannon laitteiden säännöllisestä tarkastuksesta ja huollosta sekä raportoi säännöllisesti laitteiden huolloista ja korjauksista sekä kuntotarkastusten tuloksista tehtaaseen tuotannon ja voimalaitoksen H&L-vastaaville. H&L-järjestelmän laitteille voidaan tehdä tarvittaessa tarkastuksen osalta tärkeys-luokitus niiden toiminnan tärkeyden (kriittinen laite prosessissa) ja/tai vikaantumisalttiuden vuoksi. Tällöin jollekin laitteille tarkastusväli voi olla huomattavasti lyhyempi kuin toisille.

Jotta tehtaaseen huolto- ja kunnossapitotoiminta sekä energiatehokkuuden seuranta saadaan tehdä integraatissa toimimaan energiatehokkaalla tavalla, tulee tehtaaseen kunnossapidolla olla käytettävissä ajan tasalla olevat H&L-verkostokaaviot, positioidut laitetiedot sekä kunnossapidon historiatiedot. Kaikki H&L-järjestelmän laitteet (lämmönsiirtimet, automaatio- ja käsiventtiilit sekä lauhteenpoistimet) tulee olla selvästi positioiduna myös kentällä.

Tehtaan kunnossapidolle tulee laatia osaprosessi-/ tuotantolinjakohtaiset huolto- ja kunnossapitokäytännöt sekä tarkastus- ja huoltovälit, jotka on todettu olevan riittäviä esim. merkittävimpien lauhteenpoistin ja venttiilivuotojen löytämiseksi ja korjaamiseksi.

Kunnossapidolle suositellaan seuraavia toimintamalleja tehtaan H&L-siirtojärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseksi

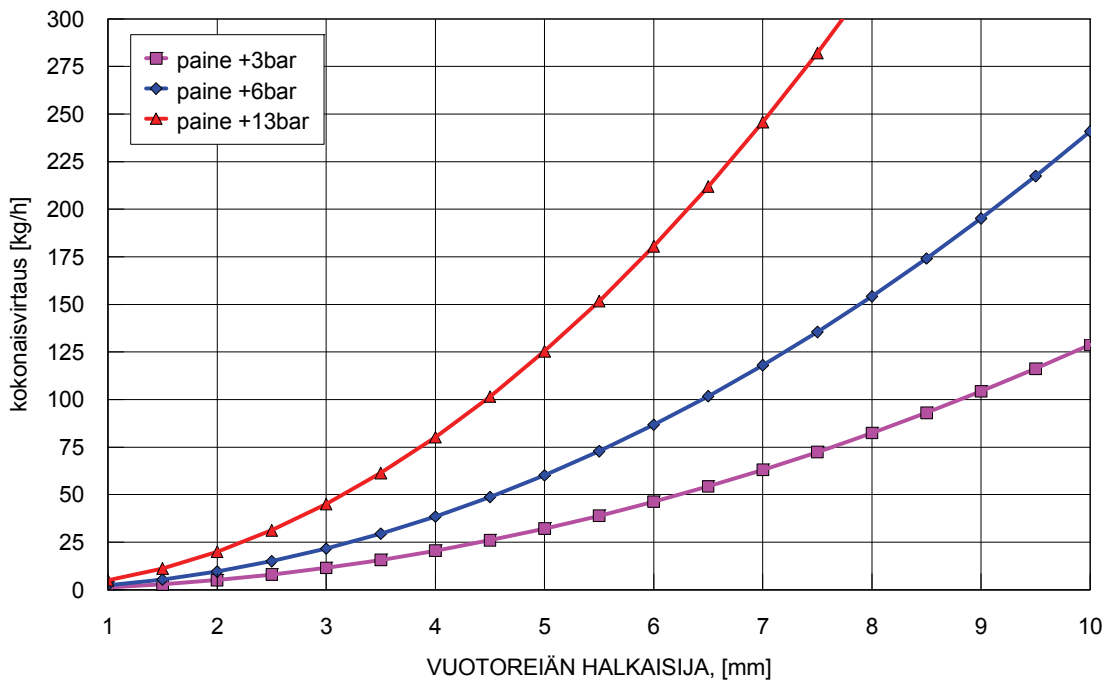
- H&L-verkostolla on nimetty kunnossapitovastaava
- H&L-verkostokaaviot, laitetiedot kunnossapitojärjestelmässä ja kentällä ovat ajan tasalla
- H&L-laitteiden kunnonvalvonta ja -raportointi tehdään säännöllisesti ja pidetään ajan tasalla
- Lauhteenpoistimien perusteellinen kuntokartoitus (ultraäänimittaus) ulkopuolisen toimesta säännöllisesti aluksi 1 vuoden välein ja tarkastus oman osaavan henkilökunnan toimesta 3 kk välein – kartoitusväliä harvennetaan saatujen tulosten perusteella
- Lauhteenpoistimien kuntokartoituksen tulokset raportoidaan korjaus ehdotuksineen tuotannolle
- Myös tuotantolinjan H&L-mittaukset kalibroidaan säännöllisesti ja seurataan mittausalueen sopivuutta toteutuneisiin mittauksiin (tuotantolinjojen prosessimuutokset ja sulkemiset, muuttavat useissa tapauksissa myös mittauksen toiminta-alueita ja ne tulee näissä yhteyksissä aina tarkastaa!)
- Kunnossapito henkilöstölle koulutetaan H&L-osaamista (ylläpito).

#### Lauhteenpoistimien säännöllinen kuntokartoitus

Kokemuksen mukaan on vuosittain mitatuissa ja huolletuissa kohteissa keskimäärin ollut 5 % viallisia (vuoto/tukos) lauhteenpoistimia. Yleensä löydettyjen vuotohäviöiden takaisinmaksuaika on ~0,5 vuotta. Mikäli vuotoja ei löydy ohjeistetun aikavälein tehtävässä tarkastuksessa, voi tarkastusväliä pidentää.

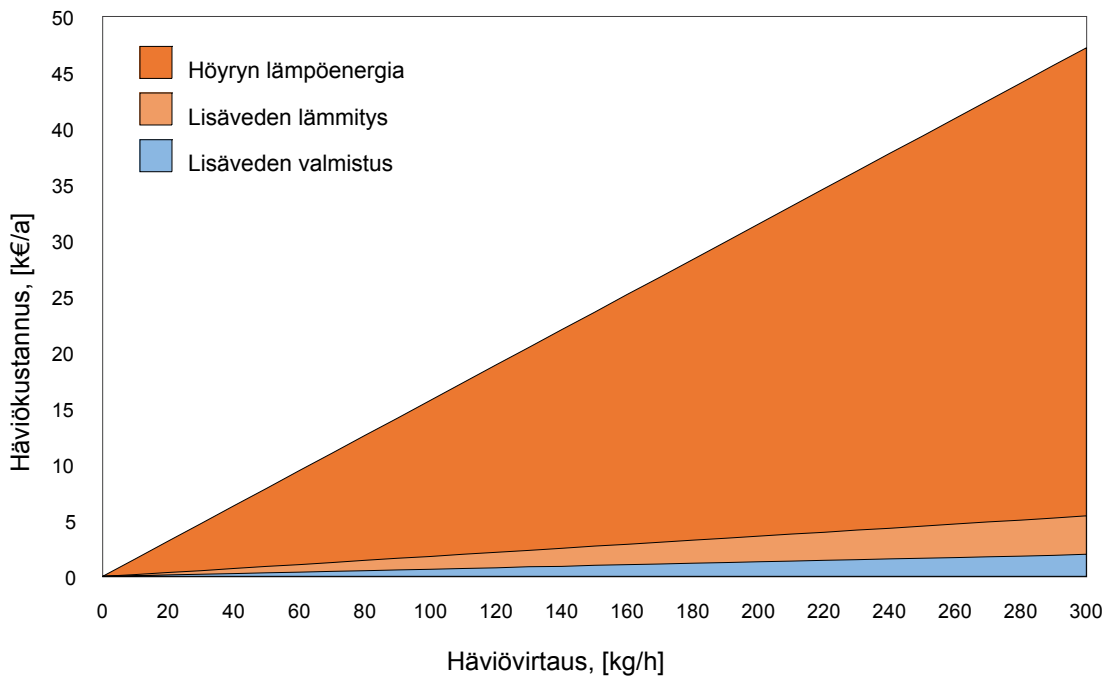
Lauhteenpoistimien kuntoselvityksen voi tehdä kunnossapidon kuntokartoitustyöhön nimetty vastuuhenkilö aluksi yhteistyössä esim. laitetoimittajien kanssa – toki itsenäisestikin etsittäessä vain viallisia poistimia ilman vuotohäviön määrittämistä. Laitetoimittajat tekevät jatkuvasti lauhteenpoistimien ultraääni- ja pintalämpötilamittauksia sekä laativat mittaustulosten perusteella lauhteenpoistinten kuntoraportin. Toimintakunnan arvioinnissa voidaan hyödyntää myös lämpökameramittausta, mikäli kunnossapidolla on kyseinen laite käytettävissä.

Kuntokartoitustyön (100 kpl lauhteenpoistimia) kokonaiskestoksi voidaan arvioida 2–3 vrk ja todelliseksi kokonaiskustannukseksi ~3–5 k€. Työ sisältää yhden päivän kenttämittaukset ja mittaus-raportin laatimisen. Ultraäänimittaustyö vaatii yleensä 2 henkilön miehityksen – 1 henkilö mittauksen tekoon ja toinen kirjaamaan mittaustulokset ylös. Lisäksi uusissa kohteissa on edullista laatia ennakkosuunnitelma työn nopeuttamiseksi. Tarkastustyössä voidaan kartoittaa samalla putkistojen ja sulkuventtiilien kunto ja mahdolliset vuotohäviöt. Putkiston höyryvuodon määrän voi arvioida esim. kuvan 1 käyrästä avulla.



Kuva 1 Höryvuodon teoreettinen määrä vuotoreiän koon ja paineen funktiona

Pelkät lauhdevuodon aiheuttamat kustannukset jakautuvat veden kemikaali- yms. valmistuskustannuksiin sekä lisäveden lämmityksen kustannukseen. Höryvuodossa tulee lisäksi menetetyn höyryentalpian kustannus. Kustannukset on arvioitu oheiseen diagrammiin vuodon määrän funktiona +3 bar höyrylle.



Kuva 2 H&L-vuodon vuosikustannus

Laitetoimittajan pintalämpötila- sekä ultraäänimittauksiin perustuva kuntokartoitusmenetelmä on kustannuksiltaan samaa luokkaa kuin lämpökuvaus. Lämpökuvausten

avulla löytyy visuaalisesti nopeammin ”epäilyttävä” vuotava poistin kuin perinteisesti mitaten. Tosin lämpökamerakuvausten mittaustuloksen (lämpökuvan) oikea tulkinta vaatii poistimen toimintaympäristön tarkkaa tuntemusta ja aluksi myös vertailevaa mittausta ultraäänimittauksen kanssa. Varsinainen poistimen toiminnan analysointi (vuotohäviöiden määrittäminen jne.) lämpökuvien perusteella vaatii kuitenkin aina H&L-ammattilaisen, joka tuntee kaikkien poistimien sisäosat ja toimintaperiaatteet.

### Tiedottaminen ja henkilöstön koulutus

Henkilöstölle tiedotetaan aktiivisesta energiatehokkuuden seurannan aloittamisesta ja seurannan työkalut koulutetaan asianomaiselle henkilöstölle.

Henkilöstöä koulutetaan H&L-aiheeseen liittyen, jotta he tiedostavat myös kaikki energiatehokkuuteen vaikuttavat prosessiseikat ja motivoituvat energiatehokkuuden parantamisen merkityksestä koko laitoksen kannattavuuteen. Koulutus voi sisältää myös esimerkkilaskelmia H&L-järjestelmän toimintaan liittyen sekä energiatehokkuuden huomioivia hankintaohjeita laitehankintoja varten. Koulutuksen tulisi antaa myös yleiskäsitys tehtaan henkilökunnalle, miten mahdolliset muutokset tehdään höyry-lauhdesiirtoverkostossa ja prosessissa vaikuttavat voimalaitoksella.

Lisäksi laaditaan tehdaskohtainen H&L-järjestelmän käytön ja kunnossapidon ohjeistus tehtaan käyttöhenkilökunnalle ja höyry-lauhdesiirtoverkon kunnossapidon palveluntarjoajalle. Ohjeistus antaa suositukset höyry-lauhdesiirtojärjestelmään liittyvien toimenpiteiden tarpeesta ja mm. minimivaatimuksista kiinteille tehdasmittauksille, joilla H&L-järjestelmän energiatehokkuuden tilaa voidaan luotettavasti todentaa. Ohjeistus antaa henkilökunnalle suositukset, kuinka höyry-lauhdesiirtojärjestelmän vastuut tulisi selkeästi jakaa tehtaan, voimalaitoksen ja mahdollisen palveluntarjoajan välillä.

Laitoksen henkilökunnalle kannattaa tiedottaa H&L-järjestelmän energiankulutuksen merkittävydestä ja jakaa vastuuta H&L-järjestelmän väärin toimintamallien tunnistamisesta ja välttämisestä sekä vuotohavaintojen tiedottamisesta H&L-vastuuhenkilölle.

Koko henkilöstön kattavaan lyhyeen H&L-järjestelmän koulutukseen tai tietoisuuteen voi sisältyä esimerkiksi

- toimimattoman lauhteenpoistimen tunnistaminen
- vuotohavaintojen ja -ilmoitusten tekeminen
- H&L-järjestelmän väärin toimintamallien välttäminen
- laitoksen H&L-järjestelmän energiatehokkuuden seurannan kuvaus
- esimerkkilaskelmia H&L-järjestelmän energiatehokkuuden parantamiseksi
- H&L-järjestelmän käytön ja kunnossapidon vastuut
- energiatehokkuuden huomioivia laitehankintaohjeita
- tehtaan H&L-järjestelmän siirtoverkon ja prosessin muutosten vaikutukset voimalaitoksella.



## 2.5 Voimalaitoksen käyttöhenkilökunnan ohjeistus

Voimalaitoksen käyttöhenkilökunnalla tulee olla seuraavia toimintamalleja tehtaan H&L-siirtojärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseksi

- kunnossapidon palvelutarjoajan kuntoraporttien tulokset ja niiden seuranta
- suljettujen tuotantolinjojen H&L-putkistojen erottaminen verkostosta ja verkostojen yksinkertaistaminen putkistojen häviöiden minimoimiseksi
- voimalaitoksen käyttöhenkilöstön tiedottaminen ja koulutus
- voimalaitoksen H&L-siirtoverkostoille nimetty käyttövastaava(t)
- käyttöhenkilökunnan ohjeistus H&L-verkoston ylös-/alasajoa varten
- säännöllinen H&L-analyysin laatimien höyryn tuotannosta
- ennakkotieto kulutuksen muutoksista voimalaitoksen ajon optimoimiseksi.

Voimalaitoksella sijaitsevat höyryn ja lauhteen toimitusmittaukset kuuluvat tavallisesti kunnossapidon ennakkohuollon ja kalibroinnin piiriin. Voimalaitoksen mittausjärjestelmän historiatietojen avulla voidaan selvittää tavallisesti luotettavimmin tuotantolinjojen energiatehokkuuteen sekä energian käyttöön liittyviä linjakohtaisia seikkoja.

## 2.6 H&L-järjestelmän vastuualuejaosta

H&L-järjestelmän vastuualuejaottelulla pyritään antamaan H&L-järjestelmästä vastaavalle henkilökunnalle yleiset suositukset, kuinka höyry-lauhdesiirtojärjestelmän vastuut tulisi selkeästi jakaa tuotannon, voimalaitoksen ja mahdollisen palvelutarjoajan (kunnossapito) välillä.

Riippumatta vallitsevasta tilanteesta integraatissa on H&L-järjestelmään liittyvät perustoiminnot syytä ohjeistaa tarkasti, jotta vältytään pitkäkestoisilta ajovirheiltä, jotka ovat usein itse pääprosessiin vaikuttamattomia. Niistä aiheutuvat lisäkustannukset ovat entistä suuremmiksi nousseiden energiahintojen myötä aina merkittäviä.

Seuraavaan taulukkoon on koottu tapauskohtaisesti sovellettavissa oleva vastuualuejaottelu tuotannon, voimalaitoksen ja mahdollisen palvelutarjoajan (kunnossapito) välillä.

Taulukko 2 H&L-järjestelmän vastuualuejakotaulukko

Vastuualue	Vastuuryhmä/-organisaatio		
	Kunnossapito	Tuotanto	Voimalaitos
<b>H&amp;L -laitteiden kunnossapito ja huolto</b>	X		
- kunto- ja etävalvonta	X		
- ennakkohuolto ja -tarkastukset	X		
- kenttäselvitykset ja tarkastukset	X		
<b>Siirtoverkoston ylösajo</b>	(X)	(X)	X
<b>Laitoksen ylösajo</b>		X	
<b>Laitoksen normaaliajo</b>		X	
<b>Laitoksen alasajo</b>		X	
<b>Siirtoverkoston alasajo</b>	(X)	(X)	X
<b>Tuotantolinjan taseseuranta</b>		X	(X)

### 3 H&L-siirtojärjestelmän energiatehokas suunnittelu ja toteutus

---

#### 3.1 Yleistä

---

H&L-järjestelmän mitoituksella ja laitevalinnoilla vaikutetaan suurelta osalta prosessin energian käytön tehokkuuteen. Suunnittelemalla ja toteuttamalla H&L-järjestelmä energiatehokkaasti luodaan perusta ja edellytykset energian tarkoituksenmukaiselle käytölle prosessin toiminnassa ja minimoidaan energian tuhlaus.

Uuden H&L-järjestelmän toteutukseen tai nykyisen muutokseen liittyen on seuraavassa tarkasteltu energiatehokkuuden näkökulmasta seuraavia osa-alueita

- H&L-putkistosuunnittelun lähtökohdat
- höyryn painetaso
- putkistojen eristys
- H&L-määrämittaukset
- venttiilivalinta
- vesitysten toteutus
- lauhteenpoistinvalinta
- lauhteen keräily ja paluupumppaus
- paisuntahöyryn LTO ja siirtimien mitoitus.

Tässä luvussa käsitellään edellisen jaotteluun perustuen perusteita ja yleisiä periaatteita H&L-prosessin tarkoituksenmukaiselle mitoitukselle ja laitevalinnoille.

#### 3.2 H&L-putkistosuunnittelun lähtökohdat

---

H&L-järjestelmän mitoituksen perustana on kulutuskohteiden höyryn tarve, jonka tyydyttämiseksi tarvitaan höyryn jakelu- ja lauhteenpalautusjärjestelmä. Tämän H&L-siirtojärjestelmän suunnittelun lähtökohtana on tarvittavien eri höyryverkostojen käyttöpainet ja niitä vastaavat putkiston suunnitteluarvot: max. paine ja lämpötila.

H&L-järjestelmän mitoituksessa on huomioitava, että lähtökohtaisesti kaikki H&L-putkistot kuuluvat PED-tarkastuksen ja -luokituksen piiriin, joten niillä tulee olla aina määritettynä suurin sallittu käyttöpaine ja -lämpötila. Lisäksi kaikkien putkistoon liittyvien laitteiden ja armatuuriin valinnassa on huomioitava, että niiden suunnitteluarvojen tulee olla vähintään yhtä korkeat kuin putkilinjalle valitut suunnitteluarvot, jotta niiden mekaaninen kesto on riittävä.

Suunnitteluarvoihin perustuu putkiston lujuustekninen mitoitus ja jännitystarkastelut. Putkireitin ja kannakoinnin suunnittelussa tulee huomioida putken lämpölaajenemisen aiheuttama liike lähtien 0 °C lämpötilasta aina suunnittelulämpötilaan asti. Lämpöliike kompensoidaan putkireitin valinnan tuomilla mutkilla, suorilla osilla erillisillä putkilyyrillä tai tarvittaessa paljetasaimilla.

Putkiseinämien kesto tarkastellaan suunnitteluarvojen p,T mukaisessa olotilassa valittua materiaalia ja vaaditut varmuuskertoimet ja kulutusvarat huomioiden.

Tyypillisiä höyryn jakelun suunnittelu- ja käyttöarvoja teollisuuslaitoksessa:

Taulukko 3 Tyypilliset H&L-putkoston suunnitteluarvot

V-AINE	SUUNNITTELU	ARVOT	KÄYTTÖ	ARVOT	PN
	paine(t") [bar,g]	l-tila [°C]	paine [bar,g]	l-tila [°C]	-
HVP-höyry	-1/+15(204)	+300	+12	+210	PN25
HMP-höyry	-1/+5(158)	+220	+3,0	+160	PN16
VLA-lauhde	-1/+10	+160	+3..+8	+105	PN16

Suunnitteluarvoja valittaessa on edullista valita painetasolle sellainen p,T -yhdistelmä, jotka arvot kestävät yleisesti käytössä olevalla materiaalilla kyseiselle painetasolle valitun PN - luokan mukaiset putken osat ja armatuurit. Esimerkiksi paineluokalla PN25 materiaalista St35.8 valmistettu putki ja materiaalista C22N valmistettu laippa kestävät +300 °C lämpötilassa noin +16 bar, joten ne soveltuvat käytettäväksi mukavasti HVP-verkossa jonka maksimipaine on +15 bar.

Myös eri painetasojen arvoissa on syytä huomioida suunnittelulämpötilat siten, että ylemmän luokan suunnittelupainetta vastaava kylläinen lämpötila on alhaisempi kuin alemmalle luokalle valittu suunnittelulämpötila. Tällä varmistetaan, että ylemmän luokan lauhteet voidaan vapaasti johtaa alemman luokan säiliöön esim. paisuntaa varten (säiliön kesto +220 °C), koska niiden lämpötila ei voi koskaan ylittää ylemmän luokan suunnittelupainetta vastaavaa kylläistä lämpötilaa (~204 °C < 220 °C).

Lauhteen keräilyputket (2-faasivirtaus) mitoitetaan yleensä kyseisen höyryverkon arvoilla (poistimen ohitus mahdollistaa höyryn puhaltamisen ko. putkeen), mutta pumppausputket säiliöstä eteenpäin säiliön suunnittelupainetta vastaavaa kylläistä lämpötilaa korkeammalla arvolla (160°C > 158 °C).

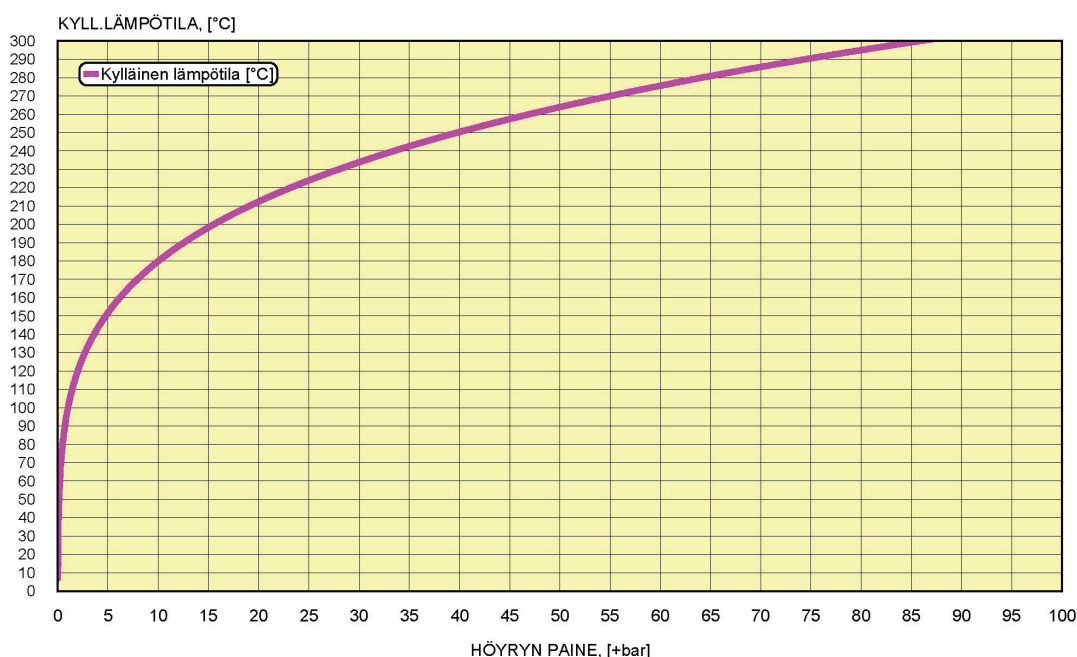
Valitsemalla painetasojen suunnitteluarvot järkevästi vältetään turhilta lämpötilan ja paineen suojauksilta. Mikäli on mahdollista johtaa HVP-höyryä HMP-verkon mukaisesti mitoitettuun säiliöön, tulee säiliö aina suojata varoventtiilillä, joka aukeaa viimeistään HMP-verkon suunnittelupaineessa ja läpäisee kaiken sen HVP-verkon höyryn, mikä voi sinne kulkeutua HVP-suunnittelupaineessa (paine-ero +15 → +5 bar). Lämpötilasuojaus toteutetaan yleensä jäädyttämällä ja varmistetaan estämällä ylikuumavirtaus erillisen lukituksen avulla.

Höyryputkiston jäähtyessä seisokissa ympäristön lämpötilaan lähestyen 0 °C -lämpötilaa seuraa paine putken sisässä kylläisen höyryn painetta (kuva seuraavalla sivulla) lähestyen täyttö tyhjää. Tämä tulee aina huomioida mitoittamalla putkisto kestävänsä täysi tyhjä seinämäpaksuuden ja/tai ulkopuolisten vahvistusrenkaiden avulla. Vaihtoehtona on estää tyhjän muodostuminen varustelemalla putkistoon takaiskuja, joiden kautta ilma voi virrata alipaineeseen putkeen.

### 3.3 Höyryn painetaso ja putken mitoitus

Laitoksella käytössä oleva(t) höyryn jakelupaine valitaan kulutuskohteiden lämpötilatarpeen mukaisesti. Mikäli korkeimman painetaso vaativa kulutusmäärä on kokonaiskulutukseen nähden vähäinen, valitaan laitokselle esim. kaksi jakelupainetasoa tai tuo vähäisen tarpeen omaava kulutuskohteen tarve hoidetaan erityisjärjestelyin. Seuraavassa kuvassa on esitetty kylläisen höyryn paineen ja lämpötilan riippuvuus.

#### KYLLÄISEN HÖYRYN LÄMPÖTILA



Kuva 3 Kylläisen höyryn lämpötila paineen funktiona

Kahden painetaso höyryn jakelussa turbiinin vastapaine valitaan pääkulutusten tarpeen mukaan ja korkeamman paineen jakelu otetaan turbiinin väliotosta. Tavoitteena on tuottaa turbiinilla mahdollisimman suuri vuotuinen sähkömäärä, joka luo perustan kokonaisvaltaiselle H&L-järjestelmän energiatehokkuudelle. Turbiini mitoitetään välioton ja kokonaisläpäisyn suhteen vastaamaan laitoksen jatkuvan kulutuksen maksimiarvoja. Lyhytaikaiset kulutushuiput ja nopeat muutostilanteet hoidetaan höyryakun ja reduktioiden avulla.

Höyryputkiston käyttöpainetaso määrää höyryjärjestelmän korkeimman höyryn painetaso vaativat laitteet. Korkeamman painetaso valinta ei useinkaan lisää putkiston rakentamiskustannuksia, koska putkikoko pysyy useimmiten samana, sillä tiheämmällä kaasulla käytetään alhaisempaa virtausnopeutta. Putkiston lämpöhäviöt vähän lisääntyvät, mutta käyttökohteiden laitemitoitus puolestaan helpottuu. Käytännössä aina, kun voimalaitoksella on sähkön kehitystä, on edullisinta valita mahdollisimman alhainen höyryn siirtopainetaso.

Höyryputkiston painetaso valinnan jälkeen tulee määritettäväksi putken koko. Valittaessa liian pieni putkikoko kasvaa siirron painehäviö ja höyryn painetasovaatimus nousee saman höyrymäärän siirtämiseksi putkistossa. Liian suurella putkikoolla puolestaan putkimateriaali- ja eristyskustannukset sekä lämpöhäviöt lisääntyvät.

Putkikoon mitoituksessa käytetään tavallisesti virtausnopeutta, mutta pitkissä runkoputkissa siirron painehäviöt tarkistetaan. Putkistojen paine- sekä lämpöhäviöiden laskenta tapahtuu normaalisti H&L-järjestelmien putkistomitoitukseen tarkoitettujen ohjelmistotyökalujen avulla.

Seuraavassa taulukossa on yleiset suositukset höyryn ja lauhteen virtausnopeudelle.

Taulukko 4 H&L-putkistojen suositusnopeudet

VIRTAAVA	KÄYTTÖKOHDDE	NOPEUS [m/s]
AINE		Suositusalue
HÖYRY	HKP-päähöyryputket	30...40
	HVP-jakeluöyryputket	15...25
	HMP-jakeluhöyryputket	20...30
	Paisuntahöyryputket	15...20
	Tulistettu höyry 0-10 bar	
	- DN10-DN32	20...30
	- DN40-DN200	25...35
	- DN250-DN500	30...40
	- DN600>	30...40
	Tulistettu höyry 10-50 bar	
	- DN10-DN32	20...35
	- DN40-DN200	25...40
	- DN250-DN500	30...45
	- DN600<	30...50
	Tulistettu höyry >50 bar	
	- DN10-DN32	20...35
	- DN40-DN200	25...40
	- DN250-DN500	30...50
	- DN600<	40...60
	Kylläinen höyry 0-100 bar	
	- DN10-DN32	15...25
	- DN40-DN200	15...25
	- DN250-DN500	20...30
	- DN600>	20...30
2-FAASI	Lauhdeputket (hönkä)	5...15
	Lauhdeputket (vesi)	0,3...0,7
	Sylinteriputket (hönkä)	5,0...10
LAUHDE	Lauhdevesi-imuputket	0,4...0,8
	Lauhdevesi-paineputket	1,0...2,0

Korkeilla virtausnopeuksilla tulee muistaa tarkastella putkistomelun riski. Höyryputkisto tulee olla rakennettu siten, että höyryputkessa on >0,5 % lasku vesitystä kohti myötävirtaan ja >2,0 % lasku vesitystä kohti vastavirtaan vesitettäessä.

Höyrysiirtoputkistosta lähtevät haaralinjat kulutuskohteille on suositeltavaa ottaa aina siirtoputkiston yläosasta, jos vain mahdollista. Putket kannakoidaan riittävän tiheään, jotta putkeen ei synny lauhdetaskuja.

### 3.4 Putkistojen eristys

---

Eristämisen toteuttaminen ja ohjeistus on määritetty eristysstandardeissa erikseen lämpöeristykselle, suojaeristykselle ja kondenssieristykselle. H&L-putkistoissa siirretään lämpöenergiaa laitoksen kulutuskohteiden käyttöön, joten energiataloudellisin perustein mitoitettu putkiston lämpöeristys on lähes aina perusteltua. Eristyspaksuus valitaan säästetyn lämmön hinnan perusteella valitusta taulukosta (SFS3977, taulukot B.#) käyttölämpötilan mukaisesti eri putkikokoille. Eristyspaksuuden valinnassa on usein kuitenkin edullista valita paksuus, joka peittää putkisangat kalliin loveamistyön vuoksi.

H&L-putkistoon liitettyjen pienten laitteiden, kuten venttiilien ja pumppujen, eristäminen ei suinkaan aina ole energiataloudellisesti perusteltua. Vesitys- ja ilmanpoistohaarat, joissa on tarvetta tehostaa alijäähdystä, jätetään eristämättä toiminnallisista syistä. Kuumien pintojen suojaaminen työturvallisuussyistä suojaeristyksellä on kuitenkin huomioitava – mieluiten helposti avattavalla ja edullisella tavalla. H&L-putkistoon liittyvät suuremmat laitteet ja armatuurit on usein kannattavaa eristää, mutta niiden pintasuojaus on syytä toteuttaa avattavilla koteloilla kunnossapitoa ja tarkastuksia varten.

Normaalisti eristettyjen H&L-siirtoputkistojen todelliset lämpöhäviöt ovat yleensä < 0,5 % siirrettävän lämmön määrästä, joten prosentuaalinen energiasäästöpotentiaali eristystä parantamalla ei ole yleensä kovin suuri. Mutta pitkä käynti- ja pitoaika tuo toki eristämisllekin kannattavuutta, sillä täysin eristämättömän H&L-siirtoputkiston lämpöhäviöt olisivat kuitenkin 3–5 % tasolla. Lämpöhäviöiden määrä voi toki tapauskohtaisesti olla suurempikin silloin, kun voimalaitoksen ja kulutuskohteen etäisyys on kilometreissä ja putki-reitti kulkee ulkona avoimella putkisillalla, jossa tuulen nopeus nousee merkittäväksi tekijäksi.

### 3.5 H&L-virtausmittaukset

---

Höyryn virtausmäärän mittauksessa on monia periaatteellisia tapoja, joilla kaikilla on etunsa ja haittansa. Tavoitteena on useimmiten saada laaja mittausalue ilman suurta painehäviötä. Tämä on haasteellista, sillä virtausmäärän mittaus luotettavasti ilman kurostusta suoraan dynaamisesta paineesta vaatii pitkät suorat osuuden ja stabiilin nopeusjakauman. Laaja mittausalue voidaan saavuttaa muuttuva-aukkoisilla mittaustavoilla, mutta niiden kustannukset suurissa putkissa muodostuvat merkittäviksi.

Yleisesti höyryn virtausmittaukseen liittyen tulee tietää höyryn paine ja lämpötila ja lauhteen virtausmittaukseen liittyen lauhteen lämpötila, jotta mittausviesti voidaan kompensoida vastaamaan vallitsevia olosuhteita. Höyryn lämpötilamittauksessa on erityisesti huomioitava anturin sijoitus yläviistoon, jotta kondenssi ei vääristä mittaustulosta. Painemittaukset puolestaan toteutetaan korkean lämpötilan vuoksi impulssiputkien välityksellä, jolloin niiden lauhdetäyttö tulee huomioida mittauksen kalibroinnissa.

Seuraavassa taulukossa on esitetty useimpien tarjolla olevien määrämittaustyyppien ominaisuuksia. Kaikilla mittauksilla on erityispiirteensä, jotka tulee huomioida laitetoimitajan suositusten mukaisena.

Taulukko 5 H&L-virtausmittaustyyppien ominaisuuksia

Tyyppi Ominaisuus	Turbiini	Pyörivä sivuvirta	Kuristus- laippa	Virt.korj. kur.laippa	Muuttuva kur.laippa	Kartio kur. laippa	Pitotputki	Monikan. pitotputki	Vortex
Mittatarkkuus	hyvä	kohtalainen	kohtalainen	hyvä	hyvä	hyvä	hyvä	hyvä	hyvä
Mittausalue	10:1	<5:1	<5:2	20:1	70:1	30:1	5:1	10:1	20:1
Toistettavuus	heikko	heikko	hyvä	kohtalainen	kohtalainen	hyvä	hyvä	erinomainen	erinomainen
Värinäherkkyys	alhainen	alhainen	alhainen	alhainen	kohtalainen	alhainen	alhainen	alhainen	heikko
As. herkkyys	korkea	korkea	korkea/kohtal.	korkea/kohtal.	alhainen	alhainen	kohtalainen	kohtalainen	korkea/kohtal.
Asennustyö	vaikea	kohtalainen	helppo	helppo	kohtalainen	helppo	eritt. helppo	eritt. helppo	kohtalainen
Painehäviö	kohtalainen	kohtalainen	kohtalainen	kohtalainen	alhainen	alhainen	alhainen	alhainen	alh./kohtal.
Kalibrointiterve	usein	usein	usein	harvoin	usein	harvoin	harvoin	harvoin	harvoin
Hankintakulut	kohtalainen	korkea	alhainen	kohtalainen	kohtalainen	kohtalainen	alhainen	alhainen	kohtalainen
Asennuskulut	kohtalainen	kohtalainen	alhainen	kohtalainen	kohtalainen	kohtalainen	alhainen	alhainen	kohtalainen
Huoltokulut	kohtalainen	kohtalainen	korkea	kohtalainen	kohtalainen	alhainen	alhainen	alhainen	alhainen

Energiatehokkuuden seuranta edellyttää hyvää mittaustarkkuutta, joten mittareiden kunnossapito on syytä sisällyttää ennakoivan huollon piiriin.

### 3.6 Venttiilivalinta

Venttiilien valinnassa tulee energiatehokkuusmielessä huomioida erityisesti niiden aiheuttama painehäviö ja vuotoherkkyys sekä soveltuvuus käyttää venttiilityyppiä kyseisellä painetasolla liian nopeaa avautumista välttämällä.

Höyryn siirtolinjoissa on suositeltavaa käyttää täysaukkoisia venttiilejä, jotta painehäviö ei huononna järjestelmän energiataloutta. Höyrylinjojen  $\geq$  DN80 käsiventtiilit on syytä valita/varustaa ruuvi tai vaihde käytöllä, jotta niiden avausta ei voi tehdä liian nopeasti. Lisäksi vielä suurempien linjojen (>DN350) sulkuventtiileillä on syytä olla moottorikäyttö niiden avaamistyön helpottamiseksi ja ne on edullista varustaa lisäksi pienellä käsiohittuksella putkiston seisokin jäkeistä lämmittämistä varten.

Venttiilin valinnassa on aina huomioitava, että sen kestävyys rakennearvojen (p, T -yhdistelmä) suhteen ovat vähintään putkiston suunnitteluarvojen mukainen. Yleensä kesto rajoittaa tiivisteiden lämpötilakesto, jonka vuoksi venttiileissä käytetään yleensä metallitiivisteitä korkeiden lämpötilojen vuoksi. Usein höyryrunkoputkien käsiventtiilit ovat pitkiä aikoja auki, jolloin niiden sulkeminen saattaa aiheuttaa poksitiivistevuodon. Tätä riskiä voidaan vähentää käyttämällä paljettiivisteisiä pokseja.

Mikäli kulutuskohteessa joudutaan laite avaamaan höyrypuolelta tai putkistoon liittyen tehdään muutostöitä, on kyseinen paikka voitava turvallisesti erottaa muusta kuumasta höyryputkistosta. Tämä voidaan toteuttaa varustamalla syöttölinja kahdella peräkkäisellä lukittavalla sululla, joiden välissä on ilmaus tai irrottamalla putkiosa ko. syöttöväliiltä.

Venttiilin valinnassa noudatetaan usein laitokohtaisia ohjeita varaosien minimoimiseksi. H&L-putkistojen käsiventtiilien valinta on tapauskohtainen kokonaistaloudellinen ratkaisu, johon taulukossa 6 annetaan yleisiä valintasuosituksia.

Taulukko 6 H&L-venttiilien valintasuositus

Koko	LAUHDE	HMP → +8 bar	HVP → +30 bar	HKP +30 bar→
DN10-DN40	pallo (MP) pallo (VP) istukka (VP)	pallo istukka	istukka neula (pallo)	istukka neula
DN50-DN100	pallo (MP) pallo (VP) kiilaluisti (KP)	istukka (pallo)	istukka	istukka
DN125 ...	läppä (MP) kiilaluisti (VP) kiilaluisti (KP)	kiilaluisti läppä	kiilaluisti	kiilaluisti

### 3.7 Höyrylinjojen vesitysten toteutus

Höyrysiirtoputkiston vesitykset toimivat normaaliarjossa, höyryn siirron ollessa kuivaa, lähinnä lauhtumattomien kaasujen (ilma) poistona H&L-kierrosta. Tehokkaalla linjavesitysten toteutuksella estetään höyryvirtauksen vesi-iskut lauhteen patoutumistilanteissa ja saadaan pidettyä höyryvirtaus kuivana ja ilmapaana sekä saadaan näin säästöä kunnossapito- ja käyttökustannuksissa.

Erityisesti höyrysiirtoputkiston vesityksiä tarvitaan poistamaan putkistoon kertyvä lauhde ylösajo- ja seisokkitilanteissa ja virtauksen seisoessa muutoin putkihaarassa, jonka käyttökohteen prosessi on pysähdyksissä tai höyry on vain varmistamassa prosessin lämmitystä. Käynnistys- ja seisokkitilanteiden lisääntyvää vesitystarvetta ja automaattista tyhjennystä voidaan helpottaa erityisillä pressostaattisilla poistimilla, jotka ovat auki paineettomassa seisokkitilassa ja sulkeutuvat automaattisesti paineen noustua tiettyyn arvoon. Niitä on hyödyllistä käyttää miehittämättömissä ja vaikeakulkuisissa kohteissa.

Höyrysiirtoputkiston vesitysten mitoituksen ja toteutuksen lähtökohtana on, että se sijoitetaan kaikkiin putkistokohtiin, joihin pyrkii kertymään lauhdetta kaikki ajotilanteet huomioiden - yleisiä suosituksia ovat mm.

- linjavesitykset sijaitsevat vähintään 30–50 m välein höyrysiirtoputkessa riippuen höyryn tulistuksesta ja putkistogeometriasta
- höyryn siirtoputkessa on >0,5 % lasku vesitystä kohden myötävirtaan ja >2,0 % lasku vesitystä kohden vastavirtaan vesitettäessä
- linjavesitys tulee sijoittaa aina höyrylinjan alimpaan kohtaan ennen nousua
- linjavesitys tulee sijoittaa kohteisiin, joihin kertyy lauhdetta prosessin lyhyissä seisokeissa estämään käynnistyksen vesi-iskua
- linjavesitys tulee sijoittaa ennen määramittauksia varmistamaan tasainen kuiva höyryvirtaus mittaustuloksen parantamiseksi
- linjavesitys tulee sijoittaa kaikkiin höyryn jakotukkeihin (otot päältä!) ja putkilinjojen päihin
- vesityspoistimen tulee toimia myös ilmanpoistimena
- vesitystaskun ja sen poistoputken tulee olla riittävä kokoisia suhteessa putkikokoon (taulukko alla)
- linjavesityksen taskun tyhjennys johdetaan aina kanaaliin ja käytetään lämmityksen yhteydessä vesityskapasiteetin lisäämiseen



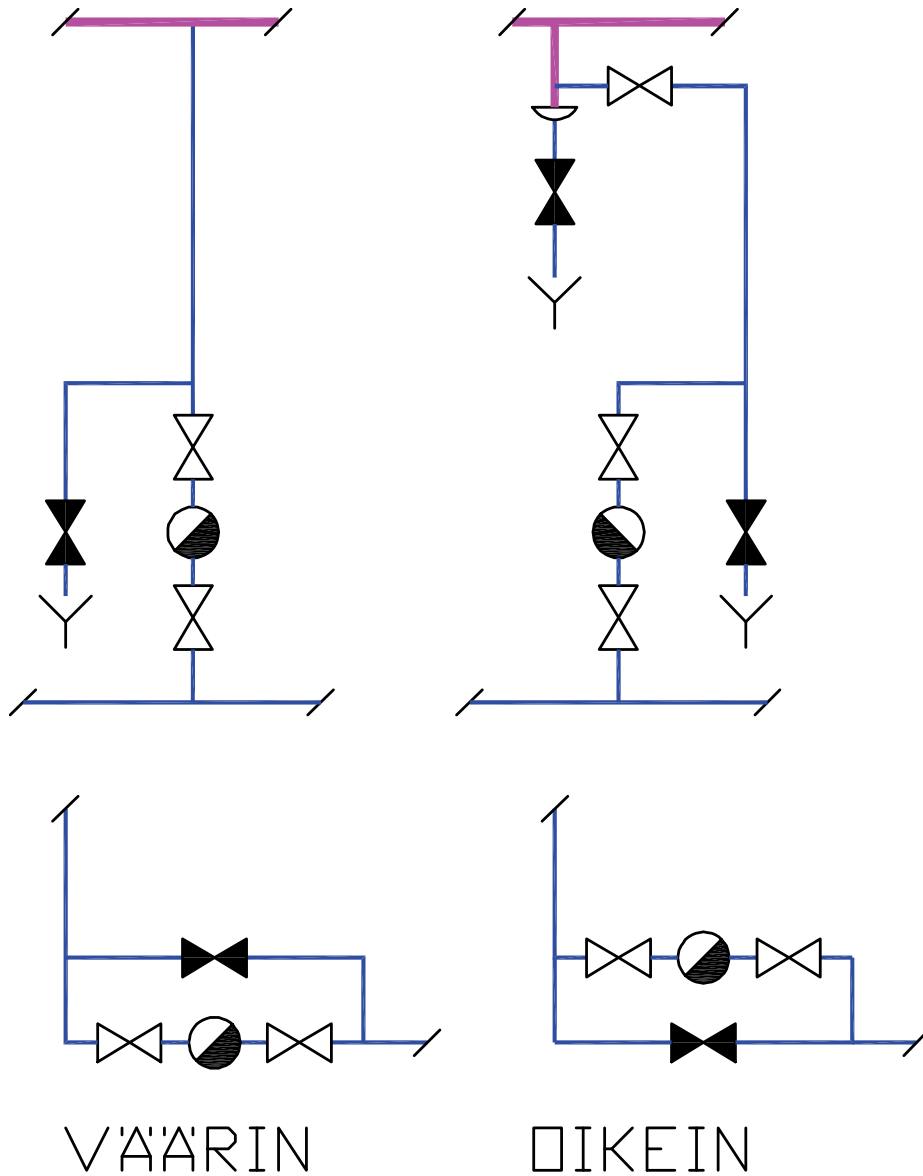
- linjavesityksen poistimen ohituslinja suositellaan myös johdettavaksi kanaaliin etenkin, jos vesitaskussa ei ole omaa tyhjennystä, koska tällöin lämmityksen yhteydessä avattava ohitus johtaa roskat/ilmat pois H&L-järjestelmästä eikä näkyvänä höyrypuhalluksena unohdu auki!
- linjavesityksen putkistogeometria toteutetaan siten, että roskat eivät ajaudu poistimeen vikaantumisherkkyyttä lisäten (ks. kuva 4) vaan ohituksen/tyhjennyksen päälle odottamaan poistoa H&L-järjestelmästä
- poistimen jälkeiset 2-faasivirtausputket tulee johtaa ~1 % laskulla lauhteen keruusäiliöön lauhteen patoutumisen välttämiseksi
- kohteet, joissa voi esiintyä alipainetta, pyritään sijoittamaan keruusäiliöön nähden riittävän korkealle, jotta säiliön päälle sijoitettavan poistimen eteen voi kertyä alipainetta vastaava lauhdepinnan korkeus, jotta kohteeseen ei pääse syntymään vesilastia negatiivisen staattisen paine-eron vuoksi
- eri paineisten runkohöyryjen vesitykset on syytä johtaa talteen omia keruulinjoja pitkin, koska eri lämpöisten lauhteiden yhdistyessä kuumempi höyry lauhtuu räjähdysnomaisesti aiheuttaen ”napsetta” ja putkistovauriovaaran
- kylläisen höyryn kehittimien jälkeen on lisäksi suositeltavaa käyttää erillisiä pisaranerottimia (spiraali, erotussäiliö), joiden painehäviö tulee huomioida
- pisaroille kriittisissä kohteissa voidaan käyttää myös erillisiä kuivaimia
- säännöllinen lauhteenpoistimien ja putkiston kuntokartoitus ja höyry- ja lauhdevuotojen viiveetön korjaus.

Seuraavassa taulukossa on esitetty yleinen suositus vesityksen putkimitoituksesta.

Taulukko 7 Vesitaskun mitoitusuusitus

Putkikoko DN	Taskukoko DN	Taskukorkeus mm	Keruuputki DN	Tyhjennysputki DN
<DN50	DN-koko	>250 mm	DN15	DN25
DN50	DN50	>250 mm	DN25	DN25
DN65	DN65	>250 mm	DN25	DN25
DN80	DN80	>250 mm	DN25	DN25
DN100	DN80	>250 mm	DN25	DN40
DN125	DN80	>250 mm	DN25	DN40
DN150	DN100	>250 mm	DN25	DN40
DN200	DN150	>250 mm	DN25	DN40
DN250	DN150	>250 mm	DN25	DN50
DN300	DN200	>250 mm	DN25	DN50
DN350	DN200	>250 mm	DN25	DN50
DN400	DN200	>250 mm	DN25	DN50
DN450	DN250	>250 mm	DN25	DN50
DN500	DN250	>250 mm	DN25	DN50
DN600	DN250	>250 mm	DN25	DN50
>DN600	DN250	>300 mm	DN25	DN50

Seuraavissa kuvissa on esitetty Väärin/Oikein kytketyn lauhteenpoiston periaatteelliset kaaviot sekä esimerkki valokuvat vastaavasti toteutetusta lauhteenpoistosta.



Kuva 4 Väärin / Oikein -kytketyn putkilinjavesityksen kytkentäkaavio

Höyrysiirtoputkistoon suositellaan asennettavan myös erillisiä ilmanpoistohaaroja kohteisiin, joihin ilmaa pyrkii luonnostaan kertymään. Tällaisia paikkoja ovat mm. runkoputkistojen päät, lämmönsiirtimet ja niiden jälkeinen lauhdeputki, lauhteen keräilyssäiliöt ja niiden hönkälauhduttimet sekä putkiosuudet, joissa normaaliajossa on seisova virtaus (höyryvarmistus). Ilmanpoistot ovat runkojen päissä välttämättömiä, jotta putkisto-osuus saadaan lämmitettyä tehokkaasti – höyry ei pääse lämmittämään putkistoa ”ilmapussin” vuoksi, jonka se on kylmän seisokin tyhjötilanteessa imenyt sisäänsä.

Ilma on haitallista H&L-järjestelmässä, sillä se huonontaa lämmönsiirtoa (jopa 30 %) kertyessään lämmönsiirtopinnoille "eristeeksi" höyryn lauhtuessa pois ja ilman jäädessä jäljelle. Lisäksi ilman happi aiheuttaa kattiloiden ja putkistojen korroosiota, joten sen tehokas poistaminen vesitysten ja ilmanpoistimien avulla putkistosta vähentää hapenpoistokemikaalin kulutusta voimalaitoksella. Tehokkaalla ilmanpoistolla voidaan näin merkittävästi parantaa höyrylaitteiden lämmönsiirtoa ja H&L-järjestelmän käyttökustannuksia.

### 3.8 Lauhteenpoistinten valinta

Valittaessa poistinta käyttökohteen lauhteen poistoon tulee poistimen kapasiteetin olla riittävä poiston yli vallitsevalla paine-erolla ja toimintaperiaatteen soveltua kohteen prosessin asettamiin vaatimuksiin nähden. Lauhteenpoistimen yleinen tarkoitus on päästää kertyvä lauhde aina poistumaan, mutta sulkeutua automaattisesti ennen kuin höyry alkaa puhaltaa läpi aiheuttaen höyryhäviöitä. Useimmissa kohteissa lauhteenpoistimen on edullista toimia myös ilmanpoistimena, jotta järjestelmään ei kerry ilmaa. Lauhteenpoistimien päätyypit sulkeutumisen perusteella jaoteltuna ovat termiset, mekaaniset ja termodynaamiset poistimet.

Termisen poistimen avaa nestetäyteinen kapselipalje tai bi-metalli pakka, kun sen lämpötila laskee alle sallitun alijäähtyksen kylläiseen höyryn lämpötilaan nähden. Termiset poistimet seuraavat höyryn kylläistä p,T -käyrää alijäähtyksen päässä ja toimivat myös ilman poistimina, koska ne avautuvat poistettavan aineen lämpötilan perusteella. Kun seisovaa ilmaa tai lauhdetta kertyy poistimen eteen ja se alijäähtyy riittävästi, avautuu terminen poistin päästäten jäähtyneen aineen (ilma tai lauhde) virtaamaan lävitseen ja sulkeutuu ennen, kun virtaus muuttuu kylläiseksi höyryksi.

Mekaanisen poistimen avaa uimuri tai vastaava lauhdepinnan perusteella. Uimuripoistin tunnistaa tiheyseron perusteella sisäänsä kertyvän lauhdepinnan, jonka mukaan se mekaanisesti avaa lauhteen poistovirtausta poistimesta. Ilmaa uimuripoistin ei tunnista, joten yleensä se on varustettu sisäisellä lauhdepinnan yläpuolella olevalla termisellä poistimella, joka päästää läpi kammioon kertyvän ilman.

Termodynaamisen lauhteenpoistimen toimintaperiaate perustuu puolestaan virtausnopeuteen (Bernoulin lakiin), jolloin virtausnopeuden kasvaessa poistimessa alenee tulo puolen staattinen paine dynaamisen paineen määrällä ja ylikylläisen lauhteen höyrystyessä poistupuolella sulkeutuu poistin estäen tuorehöyryn virtauksen poistimen läpi. Termodynaaminen poistin avautuu käytännössä uudelleen lauhteen alijäähtyttyä 2–3°C.

Seuraavassa on jaoteltu poistinten päätyypit sulkeutumisperiaatteen mukaan.

Taulukko 8 Lauhteenpoistinten päätyypit

NIMITYS	SULKEUTUMISTAPA	HUOMAUTUS
Mekaaninen uimuri	Lauhdepinta	Uimuri
Terminen Bi-metalli	Alijäähtytys kyll. lämpötilaan nähden	Bi-teräspakka
Terminen kapseli	Alijäähtytys kyll. lämpötilaan nähden	Kalvokapseli
Termodynaaminen	Lauhteen höyrystyminen/ dyn. paine	Mekaaninen sulkulevy
Pressostaattinen	Vakiopaine/paine-ero	Starttivesitys
Termostaattinen	Vakiolämpötila	Jäätymissuoja

Suurille kulutuskohteille käytetään mekaanisia uimuripoistimia (1..N kpl) tai termisesti apuohjattuja ns. suurtehopoistimia, joiden kapasiteetti ja soveltuvuus on tarkasteltava aina tapauskohtaisesti. Myös poistintyyppien yhdistelmiä voidaan käyttää, mutta lauhteenpoistinten tyyppin valinnassa on aina huomioitava niiden toimintaperiaatteen soveltuvuus käyttökohteiden asettamien toimintaedellytysten mukaiseksi. Erityisesti on huomioitava kohteen höyrynkulutuksen säätötapa (alipainetilanteet) sekä käytettävissä oleva paine-ero ja geodeettinen korkeusasema talteenottosäiliöön nähden.

Seuraavassa taulukossa on esitetty tyypillisimmät suositukset lauhteenpoistimen valinnalle käyttökohteittain:

Taulukko 9 Lauhteenpoistimen valintasuositus

KOHDE	LP-TYYPPI	SUOSITUS
Putkistovesitys	Terminen kapseli	HMP/HVP -jakelu
	Terminen Bi-metalli	HKP/HVP/HMP -jakelu
	Termodynaaminen	HMP/HVP/HKP -jakelu
	Mekaaninen uimuri	Kyll.HMP/HVP -höyryn jakelu
	Pressostaattinen	Autom. vesitys käynnistyksessä
	Termostaattinen	Autom. tyhjennys jäätymissuoja
Ilmalämmityspatterit	Mekaaninen uimuri	TC-säätö, perusvalinta
Lämmönsiirtimet	Mekaaninen uimuri	Perusvalinta
	Terminen kapseli	Pienet tehot, kun alij. sallittu
	Suurtehopoistin	Tapauskohtainen tarkastelu
Erikoiskohteet	Valinta tapauskohtaisesti	Parh. soveltuva tyyppi

Monissa kohteissa toimii usea erityyppinen lauhteenpoistin moitteetta. Usein ”oikean” tyyppin valinta perustuu henkilökohtaiseen kokemukseen ja näkemykseen poistimen soveltuvuudesta vastaavissa kohteissa. Ehdottomasti ”väärän” tyyppisen poistimen tunnistaa yleensä käyttökohteen vajaakapasiteetista ja toimintahäiriöistä. Lauhteenpoistinta valittaessa tulee tunnistaa sen tuleva toimintaympäristön prosessiolosuhteet, kohteen säätötapa sekä kohteen ja lauhdesäiliön korkeusero.

### 3.9 Lauhteen palautus ja paisuntahöyryn LTO

Höyryn kulutuskohteista ja höyrylinjojen vesityksistä kertyvä lauhde kootaan lauhteen palautussäiliöön, josta se pumpataan takaisin voimalaitokselle. Kerättyä yhteen pelkästään HVP -lauhteita on energiataloudellista johtaa ne ensin erotusastiaan, josta paisuntahöyry johdetaan HMP -verkkoon korvaamaan tuorehöyryn kulutusta. Eri käyttöpaineteisten laitteiden ja saman höyryrunгон yhteiset vesitykset johdetaan yleensä omilla linjoillaan lauhteen palautussäiliöön tai sen kokoojatukkiin.

Lauhteen palautussäiliö on yleensä varustettu hönkälauhduttimella, jossa paisuntahöyryn lauhdutuslämmöllä tuotetaan kuumaa vettä prosessiin. Energiataloudellisesti viileä hönkälauhduttimen poistolauhde on edullista johtaa paluupumppauksen imuputkeen LTO-tehon maksimoimiseksi. Tällöin on erityisesti huomioitava lauhduttimen alapuolinen ilmanpoisto, jotta lauhduttimen teho ei romahda sen täytyessä ilmalla.

Palautussäiliön painetta, joka samalla määrittää lauhteen palautuslämpötilan, hallitaan yleensä säätämällä lauhduttimille johdettavaa vesivirtausta, joka johdetaan prosessin VLM-säiliöön. Lauhduttimen tuottaman kuumen veden lämpötilan on kuitenkin oltava aina VLM-säiliön lämpötilaa korkeampaa, jotta LTO toimisi energiatehokkaasti. Tämä säätötapa on energiatehokas vain, jos lauhduttimen lämpöpinta on riittävä kaikissa ajotilanteissa. Lauhduttimen kapasiteetin ollessa riittämätön kulkeutuu liian viileää vettä suo-

raan VLM-säiliöön johtaen lisääntyvään tuorehöyryn käyttöön – pahimmassa tapauksessa jopa samanaikaiseen VLM -säiliön ylikaatoon.

Vaihtoehtoinen ja tapauskohtaisesti harkittava hönkälauhduttimen ajotapa on pitää poistuvan VLM-veden lämpötila aina VLM -järjestelmän edellyttämällä tasolla. Tällöin lauhduttimen kapasiteetin ollessa riittämätön nousee lauhdesäiliön paine ja lauhde palautetaan vain normaalia kuumempuna voimalaitokselle. Tämä on laitoksen kannalta energiataloudellisempaa, koska lauhteen palautuslämpötila huomioidaan laitoksen höyryenergian kulutuksessa.

Lauhteen palautuslämpötilan on edullista olla voimalaitoksen lauhteen keräilyssäiliön painetta vastaavan kylläisen lämpötilan tasolla, jotta vältetään hönkähäviöitä voimalaitoksella. Toisaalta lauhteen palautuslämpötilaa <100 °C ei suositella, koska tällöin lauhteen keräilyssäiliöt alipaineistuvat kasvattaen lauhteen happipitoisuutta, jonka poistaminen lisää kemikaalien kulutusta voimalaitoksella.

Paisuntahöyryn LTO-siirrin on suositeltavaa ylittää jopa +50 % siten, että energiatehokkuus pysyy hyvänä kaikissa mahdollisissa ajotilanteissa. Tällöin vältetään usein pitkäkestoisiltakin energiatehottomilta ajojaksoilta, jotka ilman ajoittainen korkeampi konsentraatio ja pintojen likaantuminen voivat aiheuttaa puutteellisen ja hankalan seurannan vuoksi.

Yleensäkin lämmönsiirtimien hankinnassa +25 % ylimääräpinnan kustannus on vähäinen verrattuna siitä saatavaan käyttövarmuuden tuomaan lisähyötyyn. Jo höyrysiirrimen likaantuminen toisiopuolelta ja ilman kertyminen ensiöpuolelle ovat perusteena em. lisälämmönsiirtopinnan hankinnalle. Hankittaessa lämmönsiirrintä on suositeltavaa, että sen suunnitteluarvot ovat ensiö- ja toisiopuolelta höyrynsyötön mukaiset, jotta tyhjänä ajokaan ei ylikuumenna siirrimen rakennetta. Siirrimen sisäisessä mitoituksessa ja ulkoisessa asennuksessa/kannakoinnissa on huomioita sisäosien ja vaipan lämpöliikkeet. Yleensä siirrin asennetaan kiinteästi vain toisesta päästä toisen pään liikkua vapaasti lämpöliikkeen mukaan.

## 4 Esimerkkilaskelmia energiasäästöistä

---

Seuraavilla sivuilla on esitetty esimerkkilaskelmia energiatehokkuutta parantavista toimenpiteistä eriteltynä seuraavan jaottelun mukaisesti

- toimenpide-ehdotuksen nimitys
- toimenpide-ehdotuksen kuvaus
- energiatehokkuusmuutos: lämpö/ sähkö/ lisävesi/ CO<sub>2</sub>-päästö
- muuttuvat kustannukset
- kiinteät kustannukset
- kannattavuus
- huomautukset.

### 4.1 Laskentaperusteet

---

Energiatehokkuuslaskelmissa voi käyttää alla esitettyjä teollisuudessa yleisesti käytettyjä hintoja ja arvoja, ellei ole tarkempaa tietoa. Hinnat tulee kuitenkin pyrkiä tapauskohtaisesti kohdentamaan laitoskohtaisiksi arvoiksi kannattavuuden tarkentamiseksi.

Prosessilämmön hinta	25	€/MWh
Sähkön hinta	50	€/MWh
Maakaasihinta	30	€/MWh
Biopolttoainehinta	20	€/MWh
Lisäveden valmistus	0,75	€/m <sup>3</sup>
Lisäveden lämmitys	1,25	€/m <sup>3</sup>
Hiilidioksidivähennämisen kerroin	500	kg,CO <sub>2</sub> /MWh,th
CO <sub>2</sub> -päästöoikeudet (tapauskohtainen)	15	€/tn,CO <sub>2</sub>
Vuotuinen käyttöaika: höyrynjakelu	8000	h/a
Välipainehöyryntentalpia (+12 bar, 208°C)	2830	kJ/kg
Matalapainehöyryntentalpia (+ 3 bar, 154°C)	2760	kJ/kg
Lauhteen entalpia (105°C)	440	kJ/kg
Voimalaitoksen kokonaisrakennusaste (tapauskoht.)	0,25	-

Polttoainesäästö lasketaan lämmön ja sähkön yhteismäärän muutoksen suuruisena polttoaine-energiana, joka kerrotaan kyseisen kattilan polttoaineen hinnalla vuosisäästöksi – vähentyvät kattilahäviöt ovat varmuusmarginaalina.

VP-sähkön kehityksen aleneminen lasketaan lämmön säästön ja rakennusasteen perusteella ja kerrotaan sähkön hinnalla vuosimenetykseksi.

Prosessilämmön säästön perusteella määritetään CO<sub>2</sub>-kertoimen avulla CO<sub>2</sub>-päästöjen aleneminen, josta päästöoikeus hinnalla kertoen saadaan vuosisäästö.

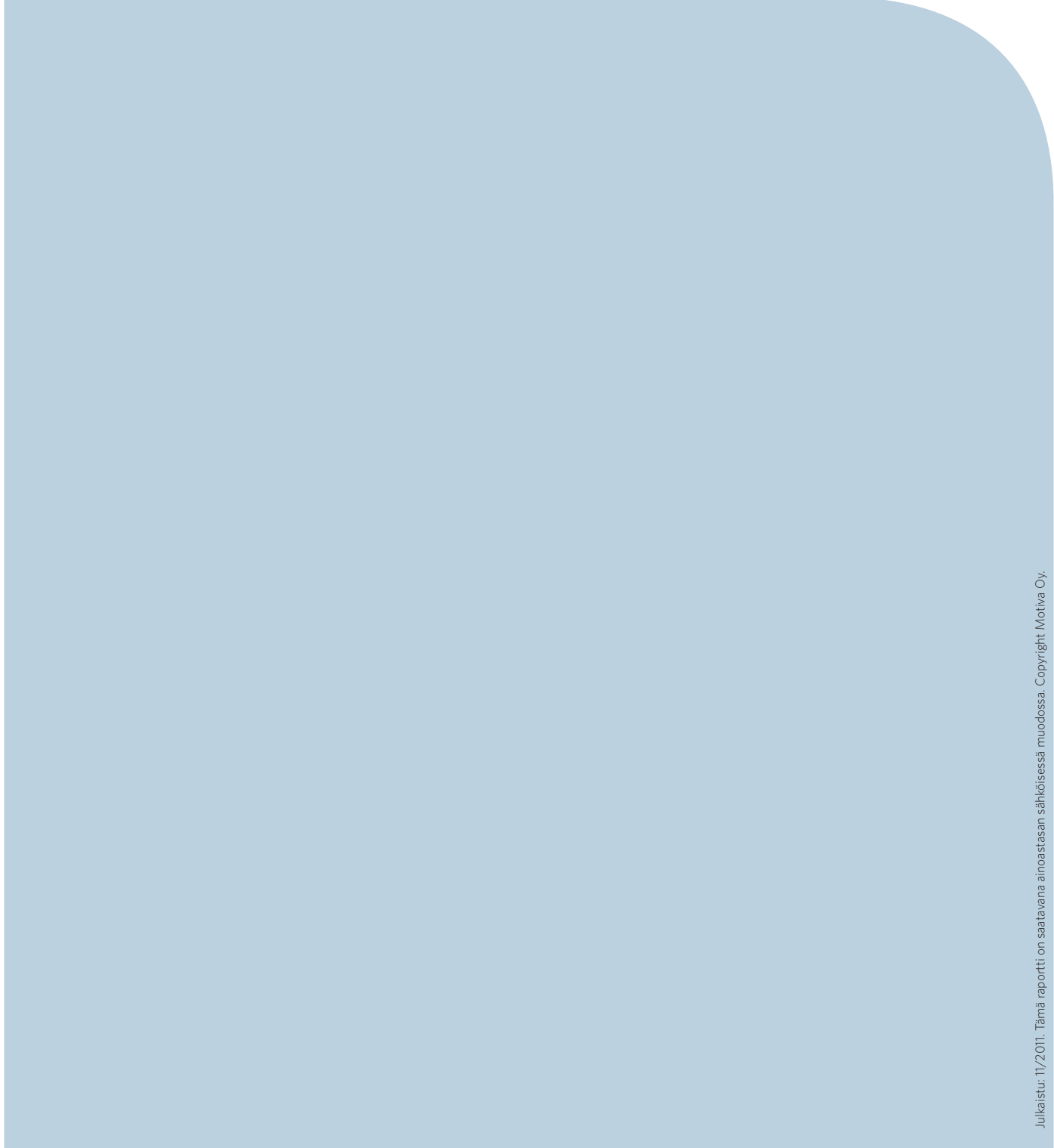




<b>TOIMENPIDE-ERITTELY</b>		Päiväys	17.01.2011
Nimitys	<b>Vuotavien lauhteenpoistimien korjaus/uusinta</b>	TP-ehdotus	<b>TPE-01</b>
		Liittyy	<b>Kohta 4.2.2</b>
		Laatinut	<b>CTSE/KJM</b>
Kuvaus	Korjataan/uusitaan kaikki laitetoimittajien tekemässä kuntokartoitustyössä löydetyt vuotavat poistimet		
	vuotavien poistimien lukumäärä	10 kpl	
	vuotoarvio a'	30 kg/h	
	lauhteiden talteenotto nykyisin	40 %	
	höyrystäästö	100 %	
Energiatehokkuus			
	Höyrystäästö	1 547 MWh/a	
	Lauhdesäästö	172 MWh/a	
	<b>Lämpöenergian säästö yhteensä</b>	<b>1 719</b> MWh/a	
	<b>CO2-päästöjen alenema</b>	<b>859</b> tn,CO2/a	
	<b>VP-sähkön kehityksen muutos</b>	<b>-430</b> MWh/a	
	<b>Lisävesisäästö</b>	<b>1 440</b> m3/a	
Muuttuvat kustannukset			
	<b>Lämpösäästö (PA)</b>	<b>42 967</b> €/a	
	<b>Sähkösäästö/ VP-sähkön menetys</b>	<b>-21 483</b> €/a	
	<b>Lisävesisäästö</b>	<b>2 880</b> €/a	
	<b>CO2-säästö</b>	<b>12 890</b> €/a	
	<b>Muut vuosisäästöt/-kulut</b>	<b>0</b> €/a	
	<b>Yhteensä</b>	<b>37 253</b> €/a	
Kiinteät kustannukset			
	<b>Toimenpiteen alustava kustannusarvio</b>	<b>5 000</b> €	
	- uudet poistimet, 10 kpl	2 000 €	
	- uudet poistimet, 10 kpl, asennus	1 000 €	
	- suunnittelu ja tarvekartoitus	2 000 €	
Kannattavuus			
	<b>Suora-TMA</b>	<b>0,13</b> a	
		<b>1,61</b> kk	
Huomautus	Kylmien ja ei käytössä olevien poistinten 10 kpl kunnostustarve selvitetty erikseen.		

<b>TOIMENPIDE-ERITTELY</b>		Päiväys	17.01.2011
Nimitys	<b>Höyryvesitysten ohitusten sulkemisen ohjeistus</b>	TP-ehdotus	<b>TPE-02</b>
		Liittyy	<b>Kohta 4.2.2</b>
		Laatinut	<b>CTSE/KJM</b>
Kuvaus	Laaditaan höyryrunkolinjakohtainen(5 kpl) lämmitysohjeistus, jota noudattamalla ohitukset sulkeutuvat lämmityksen jälkeen, kenttäselvityksen mukaan 15 kpl osin auki		
	arvio avoimista ohituksista	15 kpl	
	vuotoarvio a'	70 kg/h	
	lauhteiden talteenotto nykyisin	100 %	
	höyrysästö	100 %	
Energiätehokkuus			
	Höyrysästö	5 413 MWh/a	
	Lauhdesästö	0 MWh/a	
	<b>Lämpöenergian säästö yhteensä</b>	<b>5 413</b> MWh/a	
	<b>CO2-päästöjen alenema</b>	<b>2 707</b> tn,CO2/a	
	<b>VP-sähkön kehityksen muutos</b>	<b>-1 353</b> MWh/a	
	<b>Lisävesisäästö</b>	<b>0</b> m3/a	
Muuttuvat kustannukset			
	<b>Lämpösäästö (PA)</b>	<b>135 333</b> €/a	
	<b>Sähkösäästö/ VP-sähkön menetys</b>	<b>-67 667</b> €/a	
	<b>Lisävesisäästö</b>	<b>0</b> €/a	
	<b>CO2-säästö</b>	<b>40 600</b> €/a	
	<b>Muut vuosisäästöt/-kulut (sulkemiset)</b>	<b>-1 500</b> €/a	
	<b>Yhteensä</b>	<b>106 767</b> €/a	
Kiinteät kustannukset			
	<b>Toimenpiteen alustava kustannusarvio</b>	<b>10 000</b> €	
	- lämmitysohjeistus suunnittelu ja laadinta	10 000 €	
	-	0 €	
	-	0 €	
Kannattavuus			
	<b>Suora-TMA</b>	<b>0,09</b> a	
		<b>1,12</b> kk	
Huomautus			

<b>TOIMENPIDE-ERITTELY</b>		Päiväys	17.01.2011
Nimitys	<b>Putkiston ja venttiilien H&amp;L-vuotojen korjaus</b>	TP-ehdotus	<b>TPE-04</b>
		Liittyä	<b>Kohta 4.2.2</b>
		Laatinut	<b>CTSE/KJM</b>
Kuvaus	Korjataan kaikki kuntokartoitustyössä löydetyt putkistovuodot		
	havaitut höyryvuodot putkistosta/venttiilikarasta	11 kpl	
	vuotoarvio a'	15 kg/h	
	lauhteiden talteenotto nykyisin	0 %	
	höyrysäästö	100 %	
Energiatehokkuus		Höyrysäästö	851 MWh/a
		Lauhdesäästö	158 MWh/a
	<b>Lämpöenergian säästö yhteensä</b>	<b>1 008</b>	<b>MWh/a</b>
	<b>CO2-päästöjen alenema</b>	<b>504</b>	<b>tn,CO2/a</b>
	<b>VP-sähkön kehityksen muutos</b>	<b>-252</b>	<b>MWh/a</b>
	<b>Lisävesisäästö</b>	<b>1 320</b>	<b>m3/a</b>
Muuttuvat kustannukset			
	<b>Lämpösäästö (PA)</b>	<b>25 208</b>	<b>€/a</b>
	<b>Sähkösäästö/ VP-sähkön menetys</b>	<b>-12 604</b>	<b>€/a</b>
	<b>Lisävesisäästö</b>	<b>2 640</b>	<b>€/a</b>
	<b>CO2-säästö</b>	<b>7 563</b>	<b>€/a</b>
	<b>Muut vuosisäästöt/-kulut</b>	<b>0</b>	<b>€/a</b>
	<b>Yhteensä</b>	<b>22 807</b>	<b>€/a</b>
Kiinteät kustannukset			
	<b>Toimenpiteen alustava kustannusarvio</b>	<b>5 500</b>	<b>€</b>
	- korjaustyöt, 11 kohdetta a' 1 h + kulut	5 500	€
	-	0	€
	-	0	€
Kannattavuus			
	<b>Suora-TMA</b>	<b>0,24</b>	<b>a</b>
		<b>2,89</b>	<b>kk</b>
Huomautus	Kuuluu vuosisopimukseen ?		



Julkaistu: 11/2011. Tämä raportti on saatavana ainoastasan sähköisessä muodossa. Copyright Motiva Oy.



Urho Kekkosen katu 4-6 A  
PL 489  
00101 Helsinki

Puhelin 0424 2811  
Faksi 0424 281 299  
[www.motiva.fi](http://www.motiva.fi)