



Tuomas Mattila

Sairaaloiden höyryjärjestelmät ja lauhteenpoisto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

27.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Tuomas Mattila
Otsikko: Sairaaloiden höyryjärjestelmät ja lauhteenpoisto
Sivumäärä: 50 sivua + 2 liitettä
Aika: 27.5.2023

Tutkinto: insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: talotekniikka
Ammatillinen pääaine: LVI-suunnittelu
Ohjaajat: projektimyöntispesialisti, ins. (AMK), Jukka Hakkarainen
lehtori Seppo Innanen

Sairaaloiden kokonaisenergiankulutuksesta jopa 10 % voi aiheutua höyryn tuotannosta. Insinööriyön tavoitteena oli tutustua sairaaloiden höyry- ja lauhdejärjestelmiin ja tutkia, millä tekijöillä saavutetaan mahdollisimman energiatehokas ja hyvin toimiva höyry- ja lauhdejärjestelmä.

Työssä tarkasteltiin höyry- ja lauhdejärjestelmien teoreettisia perusteita suurimmilta osin kirjallisuustutkimuksen muodossa. Kirjallisuustutkimusta täydennettiin haastattelulla alan asiantuntijoita, joiden osaamisella pyrittiin saamaan vastauksia sellaisiin teknisiin kysymyksiin, joihin ei alan kirjallisuudesta vastauksia löytynyt. Lopuksi laadittiin case-esimerkki, jonka avulla selvitetään, kuinka suuri vaikutus lauhteen ja paisuntahöyryn talteenotolla on höyry- ja lauhdejärjestelmän energiankulutukseen.

Insinööriyön tuloksena syntyi sairaaloiden höyry- ja lauhdejärjestelmien suunnittelua tukeva ohjeistus, jonka avulla etenkin nuoremmat suunnittelijat voivat saada kattavan perustietämyksen höyry- ja lauhdejärjestelmistä. Työssä selvisi, että lauhteen- ja ilmanpoistolla on erittäin merkittävä vaikutus höyry- ja lauhdejärjestelmien energiatehokkaan toiminnan kannalta. Lauhteen ja paisuntahöyryn talteenotolla voidaan vähentää merkittävästi höyry- ja lauhdejärjestelmän ostoenergian tarvetta, sillä nämä sisältävät lähes 25 % siitä energiasta, joka höyryyn on höyrykattilalta lähtiessä sitoutunut.

Avainsanat: höyry, lauhde, lauhteenpoisto, hönkähöyry, paisuntahöyry

Abstract

Author: Tuomas Mattila
Title: Steam Systems in Hospitals and Condensate Removal
Number of Pages: 50 pages + 2 appendices
Date: 27 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Jukka Hakkarainen, Project Sales Specialist, BEng
Seppo Innanen, Senior Lecturer

The purpose of this final year project was to study steam and condensate systems in hospitals. The aim was to examine which factors in steam and condensate systems have the most remarkable impact on the total performance and energy efficiency of systems.

The bachelor's thesis consisted of literature research, interviews with experts on the field and a case study. With the literature research, theoretical frameworks of steam and condensate systems were discussed. The theoretical frameworks were complemented with the interviews to find answers to questions that were not answered with literature research. Finally, a case study was prepared to demonstrate the impact of condensate and flash steam recovery on the energy consumption of a steam and condensate system.

The thesis resulted in a guide for the design of steam and condensate systems. Condensate removal has a significant impact on the performance and energy efficiency of a steam and condensate system. When all condensate and flash steam is recovered, it is possible to reduce the energy consumption by nearly 25 per cent.

Keywords: steam, condensate, flash steam, condensate removal

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Sairaaloiden höyry- ja lauhdejärjestelmät	3
2.1	Höyryn laatuluokat	3
2.2	Höyryn tuotanto	5
2.2.1	Höyrykattilat	5
2.2.2	Höyrynkehittimet	5
2.3	Höyryn jakelujärjestelmä	6
2.4	Höyryn käyttökohteet	8
2.4.1	Välinehuolto	8
2.4.2	Ilmanvaihdon kustutus	12
2.4.3	Valmistuskeittiöt	14
2.4.4	Lämmitys ja lämpimän käyttöveden valmistus	15
3	Lauhteen- ja ilmanpoisto	16
3.1	Ilmanpoisto	16
3.2	Lauhteenpoisto	18
3.3	Lauhteenpoistimet	20
3.3.1	Mekaaniset lauhteenpoistimet	21
3.3.2	Termostaattiset lauhteenpoistimet	24
3.3.3	Termodynaamiset lauhteenpoistimet	26
3.4	Lauhteenpoistimen valinta ja mitoitus	28
4	Lauhteen ja paisuntahöyryn talteenotto	31
4.1	Paisuntahöyry	31
4.2	Lauhteen ja paisuntahöyryn hyödyntäminen	32
4.2.1	Lauhteen ja paisuntahöyryn palautuksen säästöpotentiaali	32
4.2.2	Lauhteen palautus	34
4.2.3	Paisuntahöyryn palautus	35
4.3	Lauhdeputkiston suunnittelussa huomioitavia asioita	37
4.3.1	Putkiston mitoitusperusteet	37
4.3.2	Lämpölaajenemisen tasaus	41
4.3.3	Lauhdepumput	42

5	Case Siltasairaala	45
5.1	Höyry- ja lauhdeverkosto yleisesti	45
5.2	Lauhteen talteenotto	45
5.3	Paisuntahöyryn talteenotto	47
6	Yhteenveto	48
	Lähteet	49

Liitteet

Liite 1: Haastattelu: Jarmo Ranta, LVI-esimies HUS-kiinteistöt Oy

Liite 2: Laskelmat: Lauhteen ja paisuntahöyryn talteenoton kustannus- ja CO₂-päästövähennyspotentiaali

Lyhenteet ja käsitteet

bar (a): Absoluuttinen paine, yksikkö bar.

bar (g): Mittaripaine, yksikkö bar. Mittaripaine on absoluuttinen paine vähennettynä ilmanpaineella. Ilmanpaineen voidaan olettaa useimmissa tapauksissa olevan 1 bar, jolloin mittaripaine saadaan vähentämällä absoluuttisesta paineesta 1 bar.

LTO: Lämmöntalteenotto.

RO: Käänteisosmoosi.

1 Johdanto

Sairaaloiden kokonaisenergian kulutuksesta jopa 10 % voi aiheutua höyryn tuotannosta [HUS 2019]. On tärkeää, että höyry- ja lauhdejärjestelmiä suunniteltaessa pyritään huomioimaan, miten järjestelmä saadaan mahdollisimman toimintavarmaksi ja energiatehokkaaksi.

Insinööriyö toteutetaan Ramboll Finland Oy:lle, joka on osa johtavaa kansainvälisesti toimivaa suunnittelu- ja konsultointitoimistoa Ramboll Groupia [Ramboll Finland]. Yrityksen LVIA-sektorilla on ilmennyt tarve kasvattaa osaamista höyry- ja lauhdejärjestelmistä, ja koetaan, että aiheeseen keskittyvällä insinööriyöllä voidaan vastata tähän tarpeeseen.

Insinööriyö on rajattu käsittelemään lauhteenpoistoa ja talteenottoa, joilla on merkittävä vaikutus höyry- ja lauhdejärjestelmien toimintaan. Lauhteenpoistolla varmistetaan höyryjärjestelmän lämmönsiirron tehokkuus ja ehkäistään korroosiota, jota aiheutuu, kun lauhdevesi reagoi höyryn mukana kulkeutuvan ilman ja hiilidioksidin kanssa [ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment 2016: 11.2]. Lauhteen talteenotolla huolehditaan järjestelmän mahdollisimman kustannustehokkaasta toiminnasta. Koska lauhde on valmiiksi lämmintä ja käsiteltyä vettä, voidaan tätä käyttää suoraan kattilan syöttövetenä. Mikäli lauhdetta ei palauteta kattilalle, täytyy poistettu lauhde korvata vastaavalla määrällä tuoretta vettä, joka ennen kattilalle syöttämistä lämmitetään sekä käsitellään kattilalle sopivaksi. [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.1.5.]

Insinööriyön tavoitteena on selvittää, millä lauhdejärjestelmän tekijöillä saavutetaan mahdollisimman tehokas ja toimiva höyry- ja lauhdejärjestelmä. Työllä pyritään kehittämään Ramboll Finland Oy:n osaamista sairaaloiden höyryjärjestelmistä sekä luomaan luotettavaa materiaalia suunnittelun tueksi.

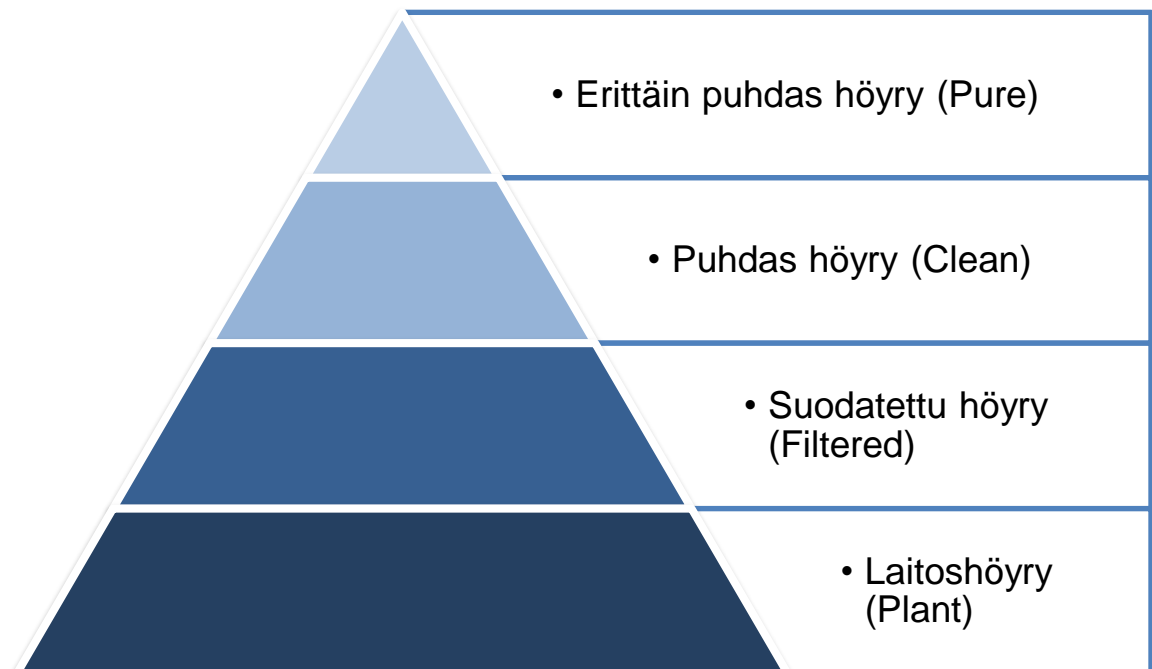
Insinööriyö pohjautuu suurimmilta osin alan kirjallisuuden tutkimiseen. Tutkimuskirjallisuutena käytetään alan standardeja, määräyksiä, asetuksia,

artikkeleita, ohjeita ja kirjoja. Kirjallisuuden lisäksi on tietoa hankittu haastattelemalla alan asiantuntijoita, joiden osaamisella pyritään saamaan vastauksia sellaisiin teknisiin kysymyksiin, joihin ei välttämättä löydy selityksiä suoraan kirjallisuudesta.

2 Sairaaloiden höyry- ja lauhdejärjestelmät

2.1 Höyryn laatuluokat

Käyttökohteesta riippuen höyryltä vaadittavat ominaisuudet vaihtelevat. Vaadittavien ominaisuuksien mukaan on nykyään käytössä neljä erilaista höyryn laatuluokkaa, jotka ovat laitoshöyry, suodatettu höyry, puhdas höyry ja erittäin puhdas höyry. Nämä on esitetty kuvassa 1. [Höyryjärjestelmät sairaaloille 2021: 4.] Sairaaloissa käytetään käyttökohteesta riippuen tyypillisesti joko laitoshöyryä tai puhdasta höyryä.



Kuva 1. Höyryn laatuluokat [Höyryjärjestelmät sairaaloille 2021: 4].

Laitoshöyryä voidaan käyttää hyvänä lämmönlähteenä prosesseissa, joissa höyry ei ole suorassa kosketuksessa tuotteen kanssa [Höyryjärjestelmät sairaaloille 2021: 4]. Tällaisia prosesseja ovat esimerkiksi sairaaloiden pesu- ja desinfiointikoneiden veden lämmitys lämmönsiirtimen välityksellä.

Suodatetusta höyrystä on poistettu 95 % yli 2 mikronin kokoisista partikkeleista suodattamalla [Onko höyry ainesosa ruoantuotannossa 2020: 6]. Suodatus

tapahtuu kaksipuolaisesti siten, että ensiksi esisuodatin, jonka micron-luku on yleensä 25, suodattaa karkeimmat partikkelit estäen pääsuodattimen tukkeutumisen ennen aikaisesti. Tämän jälkeen pääsuodatin, jonka micron-luku on yleensä 5, suodattaa hienoimmat partikkelit. Suodatettua höyryä voidaan käyttää joissain elintarviketeollisuuden prosesseissa, joissa höyry on suorassa kontaktissa tuotteeseen. Sairaaloissa suodatetulle höyrylle ei yleensä ole tarvetta, sillä steriloinnissa, jossa höyry on suorassa kosketuksessa steriloitavan tuotteen kanssa, tulee poikkeuksetta käyttää puhdasta höyryä. [Höyryjärjestelmät sairaaloille 2021: 4.]

Puhdasta höyryä käytetään sairaaloissa välineiden sterilointiin. Puhdas höyry tuotetaan erillisellä puhdashöyrykehittimellä, jonka lisäksi kehittimen syöttöveden laatu on tarkasti valvottua. Syöttöveden tulee olla esimerkiksi käänteisosmoosilla (RO) esikäsiteltyä vettä. RO-prosessissa syöttövedestä poistetaan epäpuhtaudet pakottamalla vesi kovalla paineella puoliläpäisevän kalvon läpi. Tämän esikäsitteilyn jälkeen ei erillistä kemiallista käsittelyä tarvita, sillä RO-prosessi poistaa suurimman osan vedessä olevista hiukkasista sekä epäorgaanisista että liuenneista aineista. [Höyryjärjestelmät sairaaloille 2021: 4.]

Erittäin puhdasta höyryä on silloin, kun höyrystä muodostuva lauhde täyttää International Pharmacopeian WFI-injektioveden (water for injection) edellyttämät vaatimukset. Tällöin vesi on niin puhdasta, ettei se ihmiseen injektoidessa aiheuta minkäänlaisia haittoja. Kuten puhtaan höyryn kanssa, on puhdistetulla syöttövedellä merkittävä vaikutus myös erittäin puhtaan höyryn tuotannossa. Esikäsitteilyn jälkeen vesi tislataan vielä erittäin puhtaalle höyrylle soveltuvassa generaattorissa niin monta kertaa, että haluttu puhtaustaso saavutetaan. Erittäin puhdasta höyryä käytetään lähinnä lääketeollisuuden prosesseissa. [Höyryjärjestelmät sairaaloille 2021: 5.]

2.2 Höyryn tuotanto

2.2.1 Höyrykattilat

Kun kattilalaitoksella tuotetaan höyryä muuhun kuin turbiinilaitoksen pyörittämiseen, käytetään höyrykattilana tyypillisesti tulitorvi-tuliputkikattilaa [Neste 1989: 6]. Tulitorvi-tuliputkikattiloissa käytetään polttoaineena useimmiten joko polttoöljyä tai maakaasua, mutta kattilat voidaan varustaa myös kaksoispolttimilla, joiden polttoaineeksi käy nämä molemmat. Tällöin esimerkiksi normaalisti maakaasulla toimiva höyrykattila voidaan mahdollisen jakelukatkon ajaksi vaihtaa toimimaan öljyllä. [The Steam and Condensate Loop 2018: 3.1.5, 3.1.7.] Vaikka kaksoispoltin onkin yhdellä polttoaineella toimivaa poltinta kalliimpi vaihtoehto, saadaan tällä varmistettua, ettei toiminnan kannalta kriittisiin prosesseihin, kuten sairaaloiden välinehuoltoon, tule katkoja. Tämän vuoksi esimerkiksi Meilahden sairaala-alueen höyrykattilat on varustettu kaksoispolttimilla.

Höyrykattiloita on saatavilla myös sähkötoimisina. Pienimmissä sähkökattiloissa höyryä tuotetaan metallisilla sähkövastuksilla, kun taas suuremmissa sähkökattiloissa höyryn tuottamisessa käytetään elektrodeja [Neste 1989: 6]. Sähkökattiloiden hyötysuhde on lähtökohtaisesti parempi kuin esimerkiksi kaasulla toimivan kattilan hyötysuhde. Kuitenkin mitä suuremmasta höyrylaitoksesta on kyse, sitä todennäköisemmin höyrykattilaksi valitaan kuitenkin kaasua tai öljyä polttoaineena käyttävä kattila, sillä suuritehoinen sähkökattila voi vaikuttaa merkittävästi tarvittavaan sähkönsyöttöön ja liittymistehoon.

2.2.2 Höyrynkehittimet

Höyrynkehittimessä putkikierukkaan johdetaan syöttövettä, joka kierukan läpi virratessa alkaa höyrystymään. Putkikierukan ulkopuolella kulkeva lämmönlähde virtaa syöttöveteen nähden vastavirtaan, jolloin saavutetaan suurin mahdollinen lämmönsiirto. [Neste 1989: 8.]

Jotta putkierukkaan ei muodostuisi likakerrostumia, tulee höyrykehittimessä muodostuvan kylläisen höyryn olla kosteaa. Kehittimen jälkeen asennetaan pisaranerotin, jossa höyry kuivataan. Kuiva kylläinen höyry lähtee pisaranerotimelta kohti kulutus pistettä, ja vesi palautuu syöttövesisäiliöön. [Neste 1989: 8.]

Erityisesti höyrykehittämiä hyödynnetään puhtaan höyryn tuotannossa. Tällöin höyryn kehittimen ensiöpuolella virtaa kuuma laitoshöyry, joka höyrystää toisio- puolella virtaavan RO-käsittelyn syöttöveden [Ranta 2022]. Puhdasta höyryä tarvitaan sairaaloiden välinehuolloissa esimerkiksi autoklaaveja varten, jossa höyry on suoraan kosketuksissa steriloitaviin välineisiin.

2.3 Höyryn jakelujärjestelmä

Höyrykattilan sekä höyryn kulutuskohteen välille on tärkeää toteuttaa höyrynjakelujärjestelmä, joka on sekä tehokas että taloudellinen. Jakeluputkisto tulee mitoittaa oikein, jotta kulutuskohteeseen saadaan tuotua oikea määrä hyvälaatuista kuivaa höyryä sopivalla painetasolla. [Höyry- ja lauhdejärjestelmien suunnittelu: 3.]

Kun jakeluputkistoa aletaan suunnittelemaan, täytyy ensimmäiseksi päättää, millä painetasolla höyry siirretään. Korkeapaineinen höyry mahtuu pienempään putkitalavuuteen, jolloin saman höyrymassan siirtämiseksi riittää pienempikokoinen putki ja myös asennuskustannukset ovat pienemmät. Matalapaineinen höyry puolestaan sisältää enemmän höyrystyslämpöä verrattuna korkeapaineiseen höyryyn. Tällöin kulutuskohteella tarvitsee lauhduttaa vähemmän höyryä, jotta saavutetaan tarvittava lämmitysteho. Yleinen nyrkkisääntö on, että höyry tuodaan lähelle kulutuskohteita korkeapaineisena, jonka jälkeen höyryn painetta alennetaan kulutuslaitteille sopivaksi. Paineenalennuksen yhteydessä höyryn mukana kulkeutuneesta lauhteesta syntyy osittain paisuntahöyryä, jolloin matalapaineisesta höyrystä tulee korkeapaineista höyryä kuivempaa ja höyryn laatu paranee. [Höyry- ja lauhdejärjestelmien suunnittelu: 3.]

Höyryputkien mitoituksessa tulee välttää sekä yli- että alimitoitusta. Ylimoitettut höyryputket aiheuttavat asennuskustannusten kasvamisen lisäksi suuremmat lämpöhäviöt, sillä putken lämmönluovutuspinna-ala on suurempi. Esimerkiksi DN80-teräsputken lämmönluovutuspinna-ala on jopa 50 % suurempi DN50-teräsputkeen verrattuna, joka on suoraan verrannollinen lämpöhäviöistä syntyvän lauhteen määrään. Jotta kulutuskohteille saadaan tarvittava määrä höyryä, tulee höyrykattilalla kompensoida lämpöhäviöihin kuluva höyry. Tämän vuoksi on tärkeä pyrkiä minimoimaan lämpöhäviöt kuitenkin alimitoittamatta putkia. [The Steam and Condensate Loop 2018: 10.2.10.]

Mikäli putket alimitoitetaan, ei höyrylaitokselta pystytä siirtämään riittävästi höyryä kulutuskohteisiin. Höyrylaitoksen teho pienenee, kun liian pienien putkien takia höyryvirtauksen painehäviöt kasvavat liian suuriksi. Liian pienissä putkissa voi esiintyä myös vesi-iskuja, jotka voivat pahimmassa tapauksessa vahingoittaa putkia. [The Steam and Condensate Loop 2018: 10.2.10.]

Putket voidaan mitoittaa joko virtausnopeuden tai painehäviön perusteella. Kun putkisto mitoitetetaan virtausnopeuden mukaan, lasketaan valitun nopeuden ja höyryn tilavuusvirran perusteella, kuinka suuri virtauspoikkipinta-ala tarvitaan, jotta kyseinen nopeus putkessa saavutetaan. Kuivan kylläisen höyryn virtausnopeus on yleensä suositeltavaa pitää välillä 15–35 m/s. Näitä suuremmilla nopeuksilla alkaa höyryn virtaus aiheuttamaan melua ja putkiston kulumista. Pienemmillä virtausnopeuksilla kasvavat puolestaan putkikoot tarpeettoman suuriksi, jolloin järjestelmän investointikustannukset lisääntyvät. [Neste 1989: 25–26.]

Virtausnopeuden mukaan mitoittaminen sopii yleensä tapauksiin, joissa mitoitetetaan alle 50 metrin pituista höyrylinjaa. Mikäli höyrylinja on pidempi kuin 50 m, on aina suositeltavaa mitoittaa putkisto painehäviön mukaan, jotta varmistutaan sopivasta painetasosta kulutusasteella. Yleisenä sääntönä painehäviön mukaan mitoitettaessa voidaan pitää sitä, ettei painehäviö putkistossa saa nousta suuremmaksi kuin 0,1 bar/50 m. [The Steam and Condensate Loop 2018: 10.2.15–10.2.20.]

Julkaisun *TalotekniikkaRYL 2002* [231] vaatimuksia voidaan soveltaa sairaaloiden kylläisen höyryn laitoksiin, joiden höyrymäärä on alle 7,5 t/h, joissa yksittäisen höyrykattilan teho alittaa 5 MW ja joissa järjestelmän enimmäisylipaine on 1,6 MPa sekä enimmäislämpötila +204 °C. Tällöin myös järjestelmään asennettujen höyryputkien tulee kestää 1,6 MPa:n käyttöpaine sekä +204 °C:n käyttölämpötila. Höyryputkina käytetään yleensä seostamattomasta teräksestä valmistettuja saumattomia tai hitsattuja putkia. Ensisijainen liitostapa putkille on hitsaus, mutta putkistoon asennettavat venttiilit ja muut varusteet asennetaan laipaliitoksilla, joissa käytetään hitsattavia kauluslaippoja. [TalotekniikkaRYL 2002: 239–240.] Mikäli jakelujärjestelmää käytetään puhtaan höyryn jakeluun, käytetään materiaalina putkistossa ja putkivarusteissa yleensä haponkestävää terästä. Koska puhtaassa höyryssä ei ole mukana tavanomaisesti vedessä olevia mineraaleja, tekee se höyrystä hyvin syövyttävää. Jos materiaalina on käytetty tavallista teräsputkea, alkaa puhdas höyry irrottamaan mineraaleja teräksestä aiheuttaen jossain vaiheessa putken puhki syöpymisen. [Karhumäki ym. 2017: Puhtaan höyryn jakelujärjestelmä.]

2.4 Höyryn käyttökohteet

Höyrylle on sairaaloissa useita käyttökohteita, ja HUS:n vuonna 2019 julkaiseman verkkokertomuksen mukaan jopa 10 % sairaaloiden kokonaisenergian kuluksesta aiheutuu höyryn käytöstä [HUS 2019]. Käyttökohteet vaihtelevat sairaalakohtaisesti, ja tässä luvussa pyritään antamaan kattava kuva höyryn tarjoamista mahdollisuuksista.

2.4.1 Välinehuolto

Välinehuollon tehtävänä on puhdistaa, desinfioida ja steriloida sekä tarvittaessa huoltaa terveydenhuollossa käytettävä välineistö, jotta välineitä voidaan käyttää potilaiden hoidossa ja tutkimisessa ilman tartuntavaaraa [Karhumäki ym. 2017: Välinehuoltotoiminta]. Välinehuollon ensisijaisena keinona tulisi olla lämpödesinfiointi ja höyrysterilointi, sillä näillä saavutetaan haluttu lopputulos tehokkaimmin ja luotettavimmin [Infektioiden torjunta sairaalassa 1989: 96, 156].

Autoklaavit

Autoklaavit ovat painelaitelain [2016] alaisia paineastioita, joiden tulee tavanomaisessa käytössä kestää yli kahden baarin ylipaine sekä tyhjiötä vastaava yhden baarin alipaine [Infektioiden torjunta sairaalassa 1989: 162]. Autoklaaveja käytetään välinehuollossa terveydenhuollon välineiden höyrysterilointiin, joka on sairaaloissa tyypillisesti välineistön ensisijainen sterilointimenetelmä, mikäli steriloitavat tuotteet soveltuvat höyrysterilointiin. Höyrysterilointi edellyttää, että steriloitavat tuotteet kestävät kosteutta, korkeita lämpötiloja ja suuria paineenvaihteluita. [Karhumäki ym. 2017: Höyrysterilointi.] Taulukossa 1 esitetään höyryn paineen ja tätä vastaavan lämpötilan vaikutukset sterilointiaikaan.

Taulukko 1. Höyrysteriloinnin vaatimukset [SFS-EN 13060:2015 + A1:2018: 26].

Höyryn lämpötila	Höyryn paine	Sterilointiaika
121 °C	1,0 bar (g)	15 min
126 °C	1,5 bar (g)	10 min
134 °C	2,0 bar (g)	3 min

Autoklaavit voidaan jakaa kokonsa puolesta standardin SFS-EN 285:2015 + A1:2021:en [2021] mukaisiin suuriin höyrysterilointilaitteisiin ja standardin SFS-EN 13060:2015 + A1:2018 [2018] mukaisiin pieniin höyrysterilointilaitteisiin. Suurien höyrysterilointilaitteiden kammion tilavuus on vähintään 60 litraa tai kammioon mahtuu vähintään yksi sterilointikori [SFS-EN 285:2015 + A1:2021:en 2021: 11].

Pienien höyrysterilointilaitteiden kammiot ovat vastaavasti alle 60 litran kokoisia, eikä kammioon mahdu mitoiltaan 300 mm x 300 mm x 600 mm:n kokoista sterilointikoria. Pienet höyrysterilointilaitteet voidaan lisäksi vielä jakaa sterilointiohjelmien mukaan B-, N- ja S-tyypin autoklaaveihin. [SFS-EN 13060:2015 + A1:2018 2018: 12–13, 15.] Taulukossa 2 esitetään pienten sterilointilaitteiden käyttötarkoitukset luokittain.

Taulukko 2. Pienten sterilointilaitteiden luokittelu [SFS-EN 13060:2015 + A1:2018 2018: 12–13].

Tyyppi	Käyttötarkoitus
B	Pakattujen ja pakkaamattomien umpinaisten, huokoisten sekä onttojen tuotteiden sterilointi
N	Pakkaamattomien umpinaisten tuotteiden sterilointi.
S	Valmistajan ilmoittamien tuotteiden sterilointi. Laitteen tulee soveltua pakkaamattomien umpinaisten tuotteiden sterilointiin, jonka lisäksi laitteella tulee voida steriloida vähintään yksi seuraavista tuotteista: huokoinen, ontto tai pakattu tuote.

Autoklaavien käyttämä höyry voidaan tuottaa joko laitteeseen integroidulla höyrykehittimellä tai ulkoisilla keskus- tai puhdashöyrykehittimillä [Karhumäki ym. 2017: Höyryautoklaavi]. Standardin SFS-EN 285 mukaan steriloinnissa käytettävä höyry ei saa sisältää yli 3,5 ml lauhtumattomia kaasuja 100 ml lauhdetta kohden, minkä lisäksi höyryn pitää olla vähintään 95 % kuivaa eikä höyryn tulistus saa ylittää 25 astetta. Myös höyryn sisältämille epäpuhtauksille on standardissa SFS-EN285 määritetty raja-arvot, jotka on esitetty taulukossa 3. Mikäli höyry tuotetaan ulkoisella höyrykehittimellä, ei sterilointilaitteen paineenvaihtelu saa ylittää ± 10 %:a. [SFS-EN 285:2015 + A1:2021:en 2021: 41–42.]

Taulukko 3. Höyryn sisältämien epäpuhtauksien raja-arvot [SFS-EN 13060:2015 + A1:2018 2018: 42].

Epäpuhtaus	Raja-arvo
Silikaatti	≤ 0,1 mg/l
Rauta	≤ 0,1 mg/l
Kadmium	≤ 0,005 mg/l
Lyijy	≤ 0,05 mg/l
Muut raskaat metallit	≤ 0,1 mg/l
Kloridi	≤ 0,1 mg/l
Fosfaatti	≤ 0,1 mg/l
Konduktiivisuus	≤ 4,3 µS/cm
pH-arvo	5–7
Ulkomuoto	Väritöntä ja puhdasta eikä sisällä kiintoaineita.
Kovuus	≤ 0,02 mmol/l

Koska käyttövarmuus on sairaaloissa ensisijaisen tärkeää, mainitsee Hakkarainen [2023], että suurimpiin välinehuoltokeskuksiin hankitaan yleensä höyrykäyttöisten laitteiden rinnalle myös muutama sähkökäyttöinen autoklaavi mahdollisia höyryverkon käyttökatoja varten. Tällä tavoin saadaan varmistettua, ettei välinehuoltoon tule laitteistosta johtuvia turhia katkoksia.

Pesu- ja desinfiointikoneet

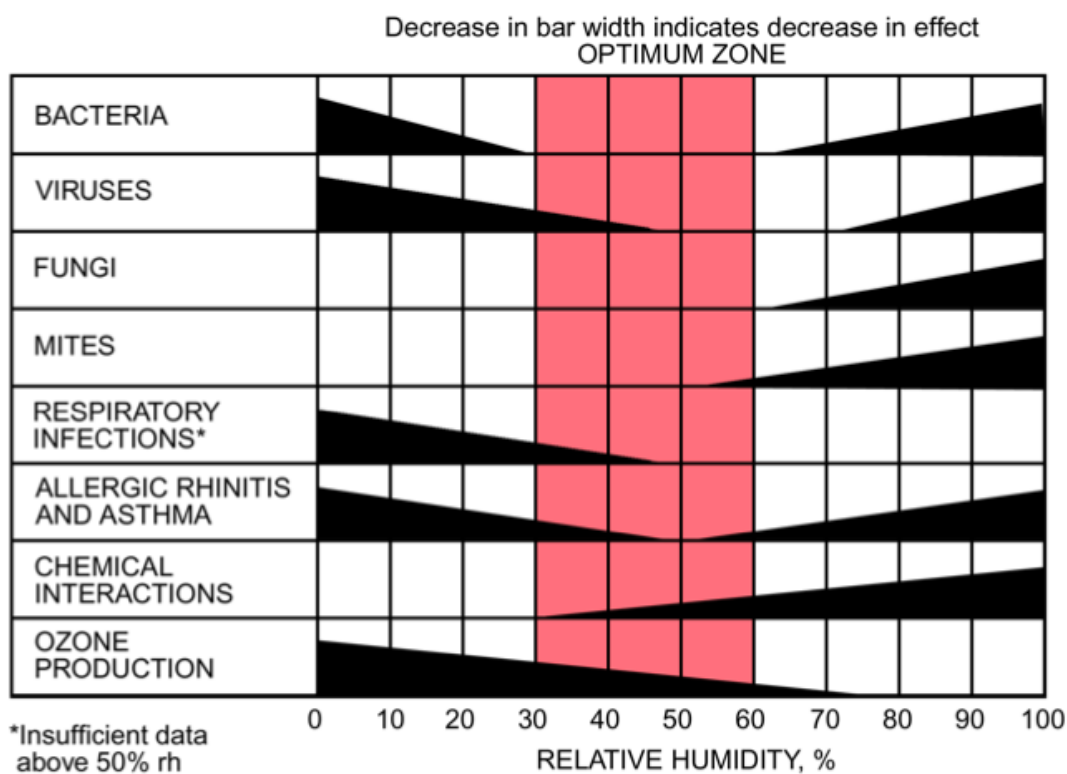
Pesu- ja desinfiointikoneita käytetään välinehuollossa terveydenhuollon välineistön puhdistamiseen ja sekä kemialliseen että lämpödesinfiointiin. Pesu- ja desinfiointikoneita tulee aina ensisijaisesti käyttää välineistön puhdistamisessa ja desinfiointissa, sillä nämä takaavat edullisen, tehokkaan ja tasalaatuisen tuloksen etenkin verrattaessa käsinpesuun. Lisäksi koneellinen puhdistus varmistaa turvalliset työskentelyolosuhteet välinehuollon työntekijöille, kun käsinpesussa mahdollisesti syntyvien pisto- ja viiltohaavojen esiintyminen voidaan minimoida. [Välimaa 2016: 26.]

Mikäli pesu- ja desinfiointikoneet kytketään laitoshöyryverkkoon, voidaan prosesseissa käytettävä vesi lämmittää käyttämällä höyryä. Jos kiinteistössä ei ole höyryverkostoa tai yksittäinen laite halutaan sijoittaa kauas verkostosta eikä höyrylinjan rakentaminen laitteelle ole kustannuksien puolesta järkevää, voidaan käytettävä vesi lämmittää sähkövastuksilla.

Hakkarainen [2023] huomauttaa, että oli kyseessä sitten autoklaavit tai pesu- ja desinfiointikoneet, on erikoissuunnittelijalla mahdollista vaikuttaa merkittävästi laitteiston kokonaisenergiatehokkuuteen vertailemalla eri laitevalmistajien todennettuja laitteiden mitoitus- ja kulutustietoja, kuten veden ja höyryn kulutusta sekä prosessiin käytettävää aikaa. Kun laitteiden valinta on tehty huolellisesti, saadaan höyry- ja lauhdejärjestelmän suunnittelijalle oikeat ja tarkat lähtötiedot, jolloin vältetään järjestelmän liialliselta yli- tai alimitoittamiselta.

2.4.2 Ilmanvaihdon kustutus

Talvisin ilma on Suomessa hyvin kuivaa ja mikäli ilmaa ei kostuteta, voi sisäilman suhteellinen kosteus laskea jopa 10–20 %:iin. *Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta* [2017: 6 §] tai *Sisäilmastoluokituksessa* [2018: 7] ei ole annettu sisäilman kosteudelle minimiarvoja, mutta kuten kuvasta 2 nähdään, voi liian kuiva sisäilma lisätä mm. hengitystieinfektioita sekä erilaisten bakteerien ja virusten esiintymistä. Karkiaisen [2019] esityksen mukaan sairaaltiloille onkin annettu ohjearvoja suhteellisen kosteuden hallintaan tiloissa tehtävän toiminnan mukaan. Esimerkiksi leikkausalissa, jossa tehdään sydänleikkausta, tulisi suhteellisen kosteuden pysyä 45–60 %:ssa.



Kuva 2. Suhteellisen kosteuden vaikutus [ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment 2016: 22.1].

Leikkaussalien lisäksi sisäilman suhteellisella kosteudella on merkittävä vaikutus steriilien tarvikkeiden varastoinnissa. Mikäli kosteus kasvaa liian suureksi, alkavat kangaspakkaukset muuttua läpäiseviksi. Liian kuivassa ilmassa puolestaan paperi- ja muovipakkaukset voivat ajan kuluessa haurastua. Steriilitarvikkeiden varaston suhteellisen kosteuden tulisi pysyä 30–60 %:ssa. [Infektioiden torjunta sairaalassa 1989: 172.]

Matala suhteellinen kosteus lisää myös staattisen sähkön esiintymistä [Seppänen & Seppänen 2010: 23]. Kuten kuvasta 3 havaitaan, muodostuu staattista sähköä kääntäen verrannollisesti suhteelliseen kosteuteen nähden. Staattinen sähkö voi aiheuttaa sairaalaympäristössä muun muassa lääkintälaitteiden ja tietotekniikan häiriöitä sekä syttymis- ja räjähdysvaaraa, jolloin pahimmassa tapauksessa voi myös potilasturva vaarantua. Pelkästään Yhdysvalloissa kirjattiin yhteensä yli 1 300 staattisesta sähköstä aiheutuvaa lääkintälaitteiden häiriötä vuosina 2006–2016. [Viheriäkoski 2020.] Suhteellisen kosteuden hallinta

tulisikin ottaa huomioon erityisesti tiloissa, joissa on potilasturvallisuuden kannalta kriittisiä lääkintälaitteita.



Kuva 3. Suhteellisen kosteuden vaikutus staattisen sähkön muodostumiseen [Viheriäkoski 2020].

Vaikka sisäilman suhteellisella kosteudella voidaan havaita olevan merkittävä vaikutus esimerkiksi bakteerien ja virusten esiintymisessä, on koko sairaalan sisäilman kosteuden hallinta paitsi kallista myös hyvin epätarkkaa [Energiansäästö ja sairaalahygienia 1990: 28]. Myös Ranta [2022] totesi, että yksittäisten, kostutusta tarvitsevien, tilojen ilmankosteuden hallinta on parempi hoitaa yleensä paikallisilla kostutusyksiköillä, sillä keskitettyjen järjestelmien ongelmina on useasti näiden säädettävyys.

2.4.3 Valmistuskeittiöt

Sairaaloiden valmistuskeittiöissä tuotetaan useita satoja tai jopa tuhansia ruokaannoksia päivittäin. Useat ruoanvalmistuksessa käytettävät keittölaitteet, kuten uunit ja padat, ovat höyrylämmitteisiä. Laitteista on saatavilla sekä suora-
höyrykäyttöisiä malleja, jotka kytketään kiinteistön höyryverkkoon, että sähkökäyttöisiä malleja, joissa tarvittava höyry tuotetaan laitteisiin integroiduilla höyrykehittimillä. Suora-
höyrykäyttöiset laitteet ovat yleisiä etenkin suurempien sairaaloiden keskuskeittiöissä, sillä nämä ovat huomattavasti sähkökäyttöisiä laitteita

tehokkaampia ja mahdollistavat täten myös suuremman tuotantokapasiteetin.
[Steam-Jacketed Kettels 2013.]

2.4.4 Lämmitys ja lämpimän käyttöveden valmistus

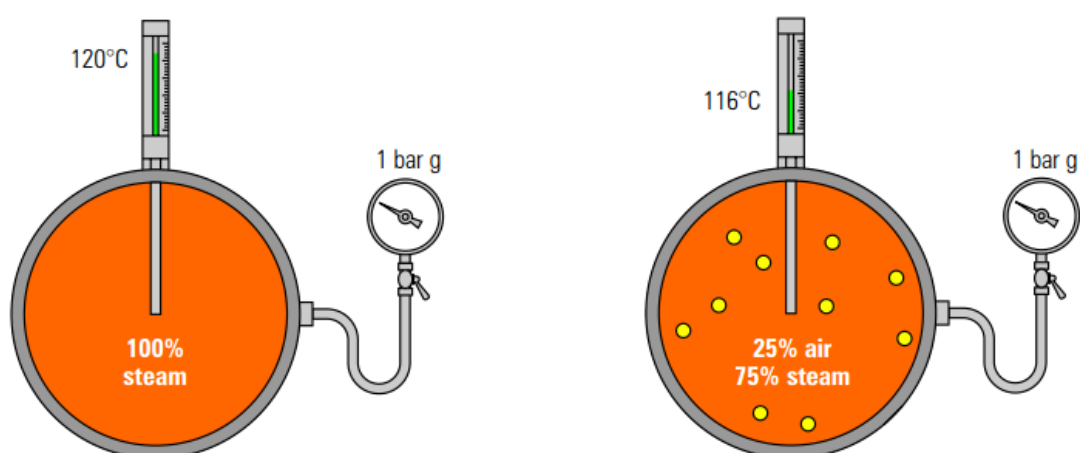
Höyryä on mahdollista hyödyntää sekä suoraan että välillisesti kiinteistöjen lämmityksessä ja välillisesti lämpimän käyttöveden valmistuksessa [ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment 2016: 11.1]. Esimerkiksi Rannan [2022] mukaan Meilahden lauhdeverkostossa syntyvää paisuntahöyryä käytetään käyttöveden lämmitykseen.

3 Lauhteen- ja ilmanpoisto

3.1 Ilmanpoisto

Kun höyryjärjestelmä käynnistetään, ovat putket aluksi täynnä ilmaa. Myöhemmin ilmaa ja muita lauhtumattomia kaasuja virtaa putkistoon höyryn mukana, vaikkakin näiden osuus on höyryn määrään verrattuna suhteellisen pieni. Kun höyrystä alkaa muodostumaan lauhdetta, alkaa ilmaa ja lauhtumattomia kaasuja kerääntymään putkiin ja laitteisiin. Mikäli näitä ei poisteta järjestelmästä, voi tämän huomata ensimmäisenä laitoksen käynnistykseen kuluvan ajan pitenemisestä. Tämän lisäksi ilma ja lauhtumattomat kaasut heikentävät laitoksen hyötysuhdetta ja suorituskykyä [The Steam and Condensate Loop 2018: 10.5.2.]

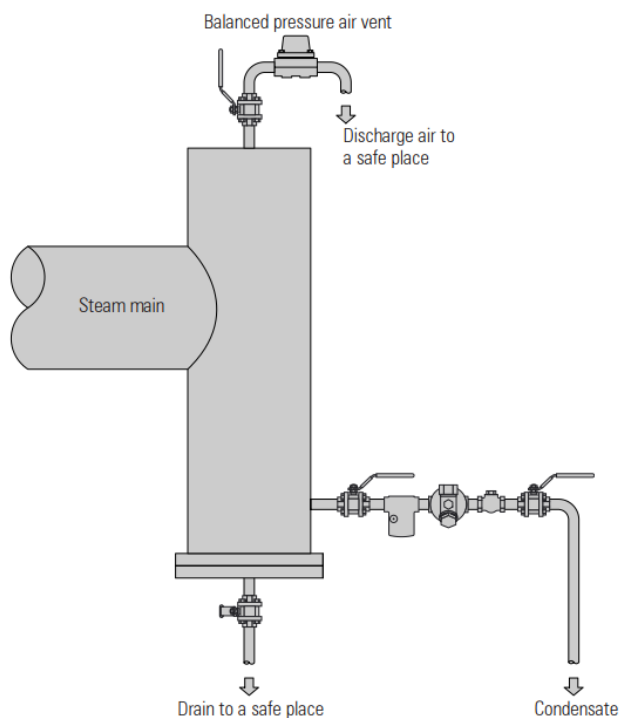
Ilmalla on alentava vaikutus myös järjestelmän tuottaman höyryn lämpötilaan, sillä järjestelmän painemittaukset mittaavat ilman ja höyryn kokonaispainetta, jonka mukaan höyrykattilaa ohjataan. Kuten kuvasta 4 nähdään, alentuu höyryn lämpötila 4 °C:lla, kun painetasossa 1 bar (g) on putkitilavuudesta 25 % ilmaa. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.2.2.] Tällä voi olla erittäin huomattava vaikutus, jos jonkin prosessin onnistuminen on kriittinen tietylle höyryn lämpötilalle.



Kuva 4. Ilman vaikutus höyrynlämpötilaan [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.12.3].

Edellä mainittujen ongelmien lisäksi ilmalla on negatiivinen vaikutus myös lämmönsiirtoon. Jo pelkästään 1 mm:n paksuinen ilmakerros aiheuttaa yhtä suuren lämmön resistanssin kuin 15 mm:n paksuinen kuparikerros. Onkin siis erittäin tärkeää, että kaikki ilma poistetaan höyryjärjestelmistä.

Ilmanpoistimet on suositeltava sijoittaa putkiston korkeimpiin kohtiin, jonne ilmaa tavallisesti kerääntyy. Automaattisia ilmanpoistimia tulee sijoittaa järjestelmässä lauhdetason yläpuolelle siten, että ainoastaan ilma ja lauhtumattomat kaasut poistuvat näistä. Kuvassa 5 nähdään ideaali sijainti ilmanpoistimelle, kun se on sijoitettu höyrylinjan päähän. Ilmanpoistimelta lähtevä putki tulee johtaa turvalliseen paikkaan, sillä on mahdollista, että ilman mukana poistuu myös pieni määrä kuumaa höyryä. Jotta ilman mukana poistuvan höyryn määrä voidaan minimoida, tulee höyrylinjan ja ilmanpoistimen välisen putken olla eristämätöntä, jolloin ilman mukana kulkeutuva höyry lauhtuu ennen ilmanpoistintia ja lauhde saadaan poistettua linjavesityksen kautta. [The Steam and Condensate Loop 2018: 10.5.2–10.5.3.]



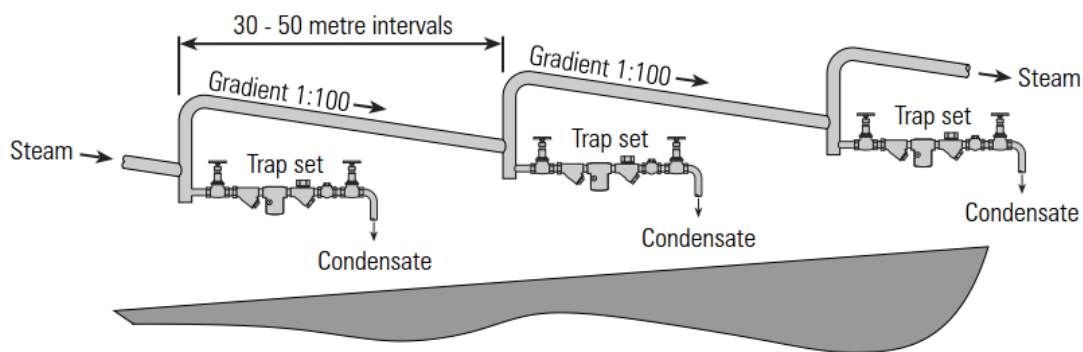
Kuva 5. Höyrylinjan päädyn vesityksen ja ilmanpoiston periaate [The Steam and Condensate Loop 2018: 10.5.2].

Höyrylinjojen päätyjen lisäksi ilmanpoistimia tulisi asentaa rinnan tiettyjen lauhteenpoistimien kanssa, jotka eivät itsessään poista ilmaa. Suuren höyrytilavuuden omaavien laitteiden yhteyteen, joissa ilma voisi vaikuttaa negatiivisesti prosessin laatuun, tulee asentaa ilmanpoistimet. Tällaisia ovat muun muassa autoklaavit. [The Steam and Condensate Loop 2018: 10.5.3.]

3.2 Lauhteenpoisto

Lauhteenpoistolla varmistetaan höyryjärjestelmän lämmönsiirron tehokkuus ja ehkäistään korroosiota, jota aiheutuu, kun lauhdevesi reagoi höyryn mukana kulkeutuvan ilman ja hiilidioksidin kanssa [ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment 2016: 11.2]. Kun höyry luovuttaa lämpöä, joko putkiston lämpöhäviöiden tai kulutuskohteen prosessin seurauksena, muodostuu lauhdetta, joka tulee poistaa putkista ja laitteista. Mikäli lauhdetta ei poisteta, voi järjestelmään alkaa kerääntyä vettä, joka heikentää järjestelmän lämmönsiirtokykyä ja pahimmassa tapauksessa aiheuttaa putkistoa tai laitteita vahingoittavia vesi-iskuja. [Neste 1989: 45.]

Höyrylinjoihin asennetaan kuvan 6 mukaisesti vesityksiä, joista putkiin kerääntynyt lauhde poistetaan, aina 30–50 m:n välein riippuen muun muassa putkien sijainnista ja koosta. Ennen lauhteenpoistinta sijaitseva vesitasku tulee mitoittaa höyrylinjan putkikoon mukaan, eikä lauhteenpoistimelle menevän putken koon mukaan, jotta linjavesitys toimii oikein. Taulukossa 4 on esitetty suositusmitat höyrylinjojen vesitaskuille. Lisäksi linjavesitys tulee järjestää aina, kun höyry putkistossa tehdään suunnan muutos ylöspäin [Ranta 2022]. Näin putkistoon ei synny kohtia, johon lauhdetta alkaa kasaantumaan. Vesitaskujen pohjaan on suositeltavaa asentaa tyhjennysventtiilit, joiden kautta taskujen pohjalle kertynyt lika voidaan säännöllisesti tyhjentää ja vältytään lian kulkeutumiselta lauhteenpoistimille [The Steam and Condensate Loop 2018: 10.3.3].

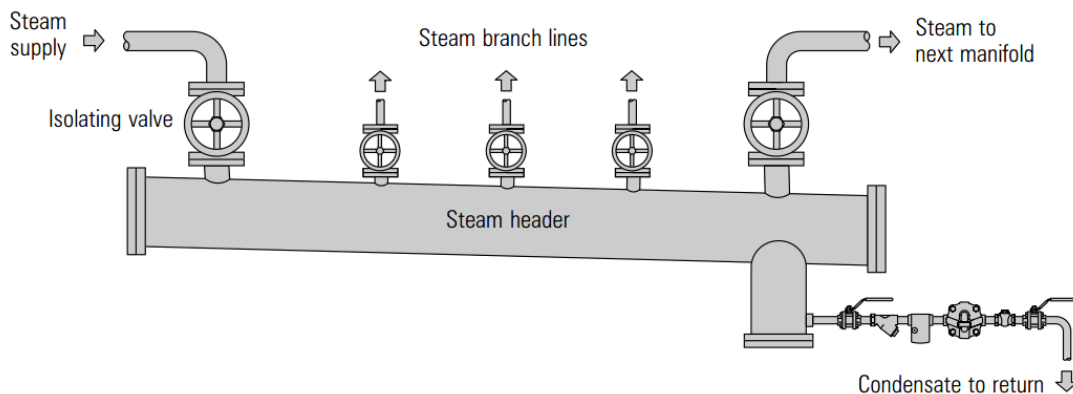


Kuva 6. Höyrylinjojen vesitykset [The Steam and Condensate Loop 2018: 10.3.2].

Taulukko 4. Suositusmitat höyrylinjojen vesitaskuille [The Steam and Condensate Loop 2018: 10.3.3].

Höyrylinjan koko, D	Vesitaskun halkaisija, d_1	Vesitaskun syvyys, d_2
DN100 tai pienempi	$d_1 = D$	$d_2 \geq 100 \text{ mm}$
DN125 – DN200	$d_1 = \text{DN100}$	$d_2 \geq 150 \text{ mm}$
DN250 tai suurempi	$d_1 \geq D/2$	$d_2 \geq D$

Höyryputkiston höyrytukkeihin ja höyrylinjojen päihin tulee järjestää vesitykset. Erityisesti höyrylinjojen päät ovat hyvin alttiita vesi-iskuille, johtuen niiden sijoituksista putkistossa. Linjojen päiden vesitykset toteutetaan kuvan 5 periaatteen mukaisesti ja vesitaskut mitoitetetaan taulukon 4 perusteella. Höyrytukkien vesitaskut mitoitetetaan myös taulukon 4 perusteella, mutta mikäli höyrytukin pituus on yli 5 metriä, on suositeltavaa sijoittaa vesitykset tukin molempiin päihin, jotta kaikki lauhde saadaan varmasti poistettua. Höyrytukin vesityksen periaate esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Höyrytukan vesityksen periaate [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.11.4].

Edellä mainittujen höyryverkoston vesityksien lisäksi tulee vesitykset järjestää kaikille höyryä käyttäville laitteille sekä paineenalennusventtiilien yhteyteen. Höyrykäyttöisten laitteiden vesityksien toteutusperiaatteet ovat riippuvaisia laitteen tyypistä, ja vesityksen toteutus tulee tarkastaa kunkin laitteen kohdalla esimerkiksi laitevalmistajien oppaista.

3.3 Lauhteenpoistimet

Lauhteenpoistimilla poistetaan höyryverkkoon muodostuva lauhde sekä verkostoon kerääntyvä ilma ja lauhtumattomat kaasut. Tämän lisäksi lauhteenpoistin estää tuoreen höyryn pääsyn lauhdeverkostoon lauhteenpoiston yhteydessä. Mikäli lauhteenpoistimessa ei ole ilmanpoisto-ominaisuutta, asennetaan lauhteenpoistimen rinnalle yleensä erillinen ilmanpoistin. Ilmanpoistoa on käsitelty tarkemmin luvussa 3.1. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.1.3–11.1.4.]

Lauhteenpoistimet voidaan jakaa kolmeen kategoriaan niiden toimintaperiaatteiden mukaan. Mekaanisten lauhteenpoistimien toiminta perustuu höyryn ja lauhteen tiheyseroihin, kun taas termostaattisten lauhteenpoistimien toiminta perustuu höyryn ja lauhteen lämpötilaeroihin. Kolmas lauhteenpoistintyyppi on termodynaamiset lauhteenpoistimet, joiden toiminta perustuu lauhteen virtauksesta

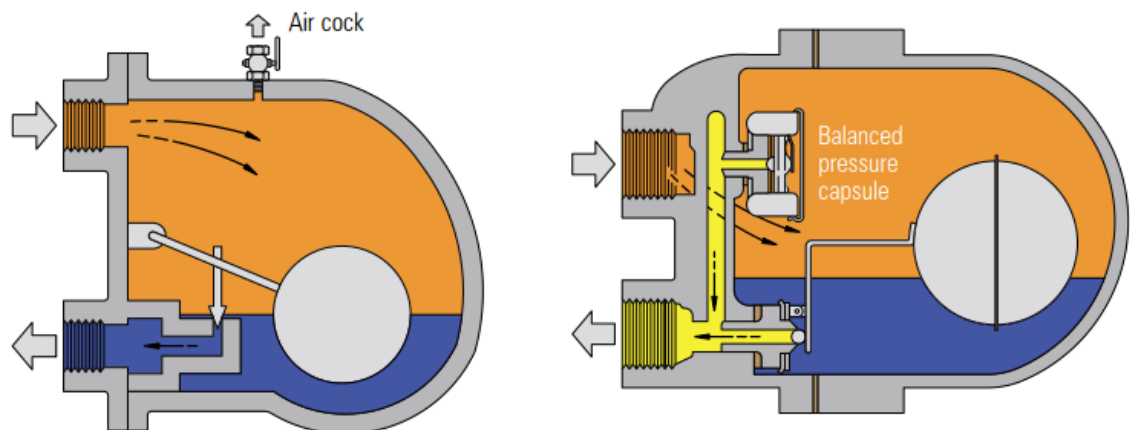
aiheutuviin paine-eroihin sekä lauhteen höyrystymiseen. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.1.6.]

3.3.1 Mekaaniset lauhteenpoistimet

Umpiuimurilauhteenpoistimet

Kun höyryverkostossa muodostuvaa lauhdetta kerääntyy umpiuimurilauhteenpoistimeen, alkaa poistimen sisällä oleva uimuri kohota avaten samalla venttiiliä, jonka kautta lauhde virtaa pois höyryverkostosta. Kun lauhde on poistettu, laskeutuu uimuri takaisin ala-asentoon sulkien venttiilin.

Kuvassa 8 on esitetty vasemmalla vanhempaa mallia ja oikealla uutta mallia olevat umpiuimurilauhteenpoistimet. Vanhemman mallisessa umpiuimurilauhteenpoistimessa ei ilmanpoisto ole mahdollista, sillä poistimen ollessa auki on lauhtepinta lauhteenpoistoaukkoa korkeammalla, jolloin ilma ei pääse poistumaan. Mikäli ilmaa halutaan esimerkiksi järjestelmän käynnistyksen yhteydessä poistaa lauhteenpoistimesta käsin, tulee käyttäjän käydä avaamassa poistimen yläosassa oleva ilmanpoistiventtiili.



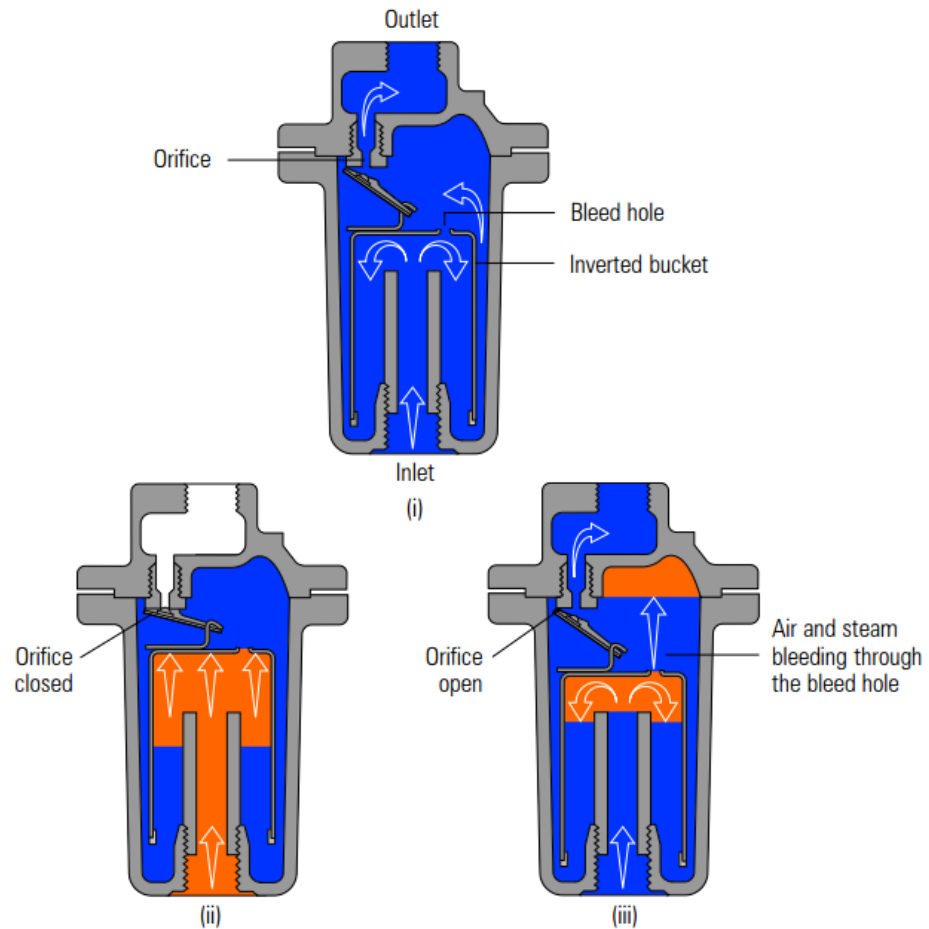
Kuva 8. Vasemmalla vanhan mallinen manuaalisella ilmanpoistolla varustettu umpiuimurilauhteenpoistin ja oikealla termostaattisella ilmanpoistiventtiilillä varustettu moderni umpiuimurilauhteenpoistin [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.3.2].

Modernit umpiimurilauhteenpoistimet on varustettu termostaattisilla ilmanpoistoventtiileillä, jotka sijaitsevat lauhteenpoistimen höyrytilassa poistimen yläosassa. Nämä ilmanpoistoventtiilit toimivat samalla periaatteella kuin termostaattiset lauhteenpoistimet. Kun lauhteenpoistimen yläosaan kerääntyy ilmaa tai lauhtumattomia kaasuja, alkaa ilmanpoistoventtiilin lämpötila laskea. Kun lämpötila on laskenut tarpeeksi, avautuu venttiili poistaen lauhteenpoistimeen kertyneen ilman. Heti ilmanpoiston jälkeen kuuman höyryn virratessa poistimelle sulkeutuu venttiili lämpötilan kasvun johdosta estäen tuorehöyryn vuotamisen lauhdeverkostoon. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.3.2.]

Termostaattisella ilmanpoistoventtiilillä varustettua umpiimurilauhteenpoistinta voidaan pitää lähimpänä ideaalista lauhteenpoistinta. Lauhteenpoistin poistaa lauhteen heti lauhtumisen jälkeen riippumatta höyryn paineesta tai lauhdekuorman suuruudesta. Lisäksi lauhteenpoistin ei tarvitse rinnalle erillistä ilmanpoistinta, sillä poistimen oma ilmanpoistokyky on erinomainen. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.3.2.]

Käännetty avouimuripoistin

Käännetyn avouimuripoistimen toimintaa säätelee ylösalaisin käännetty uimuri. Kuvasta 9 nähdään, että lauhteenpoistimen ollessa täynnä lauhdetta, on uimuri ala-asennossa ja lauhteen poistava venttiili auki. Kun höyryä alkaa virrata lauhteenpoistimeen, alkaa uimuri nousta sulkien venttiilin. Venttiili pysyy kiinni, kunnes poistimessa oleva höyry lauhtuu tai virtaa läpi uimurissa olevasta ilmanpoistoaukosta poistimen yläosaan. Tämän jälkeen uimuri laskeutuu avaten venttiilin ja lauhde alkaa jälleen virtaamaan pois lauhteenpoistimelta. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.3.3.]



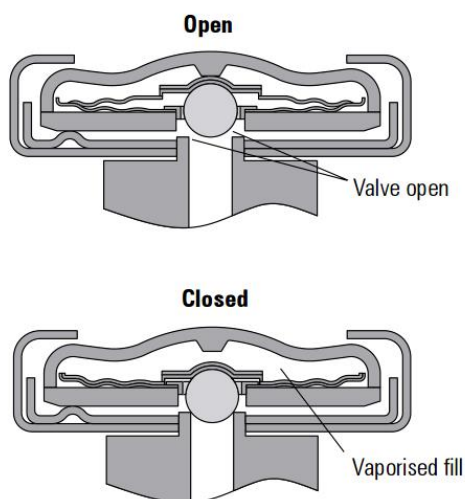
Kuva 9. Käännetyn avouimurilauhteenpoistimen toiminta [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.3.3].

Avouimurilauhteenpoistimet ovat herkkiä vuotamaan tuorehöyryä lauhdeverko-
toon ilmanpoistoaukon kautta. Lisäksi poistimen ilmanpoisto-ominaisuudet ovat
hyvin rajalliset, sillä poistimeen kerääntyvä ilma nostaa höyryn tavoin uimuria
sulkién lauhteenpoistimen venttiiliin. Tämä aiheuttaa hankaluuksia erityisesti il-
manpoistossa järjestelmän käynnistyksen yhteydessä. [The Steam and Con-
densate Loop 2018: 11.3.3.] Avouimurilauhteenpoistimen sijaan suositellaankin
yleensä käytettäväksi joko umpiimurilauhteenpoistinta tai termodynaamista
lauhteenpoistinta [Neste 1989: 48].

3.3.2 Termostaattiset lauhteenpoistimet

Termostaattiset painetasapainotetut poistimet

Termostaattisessa painetasapainotetussa poistimessa on poistimen toimintaa ohjaavana elementtinä kapseli, jonka sisällä olevan erikoisliuoksen kiehumispiste on matalampi kuin veden. Kun lauhteenpoistimen kapselin sisällä oleva liuos on viileää, on lauhteenpoistimen venttiili auki kuten kuvan 10 ylemmässä tilanteessa. Auki ollessaan poistin päästää ilmaa ja lauhtumattomia kaasuja pois lähes rajattomasti, minkä vuoksi tämäntyyppiset poistimet sopivatkin erityisen hyvin ilmanpoistamiseen. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.2.4.]



Kuva 10. Termostaattisen painetasapainotetun lauhteenpoistimen toiminta [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.2.4].

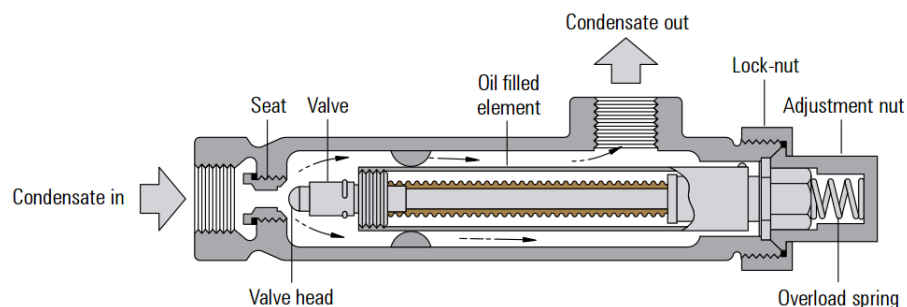
Kun lauhdetta alkaa virrata poistimeen, alkaa kapselissa oleva liuos lämmetä. Ennen kuin höyry ehtii virtaamaan poistimeen, on kapselissa oleva liuos ehtinyt höyrystyä aiheuttaen kapselin laajenemisen ja venttiilin sulkeutumisen. Kun höyry lauhtuu, kutistuu kapseli jälleen avaten venttiilin, minkä jälkeen lauhdetta alkaa jälleen poistumaan. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.2.4.]

Termostaattisten painetasapainotettujen lauhteenpoistimien etuina on suuri lauhteenpoistokapasiteetti poistimen pieneen kokoon nähden. Poistimen ollessa

käynnistyksessä täysin auki se poistaa ilmaa ja lauhtumattomia kaasuja lähes rajattomasti. Lisäksi poistin tarjoaa maksimaalisen lauhteenpoistokapasiteetin juuri sillä hetkellä, kun lauhdekuorma on suurimmillaan. Lauhteenpoistimen huolto on myös yksinkertaista. Kapseli ja venttiilin istukka ovat helposti vaihdettavissa muutamassa minuutissa ilman, että poistinta tarvitsee poistaa putkesta. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.2.6.]

Nesteen laajennukseen perustuvat lauhteenpoistimet

Nesteen laajennukseen perustuvien lauhteenpoistimien toiminta on hyvin yksinkertainen. Kuten kuvasta 11 nähdään, on poistimessa öljyllä täytetty elementti, joka laajenee lämmitessään sulkien venttiilin. Poistimessa olevalla säätömutterilla voidaan säätää poistettavan lauhteen lämpötilaa välillä 60–100 °C. Tämän ansiosta poistin sopii erinomaisesti poistamaan suuria määriä ilmaa ja kylmää lauhdetta, kun höyryjärjestelmää käynnistetään. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.2.2.]

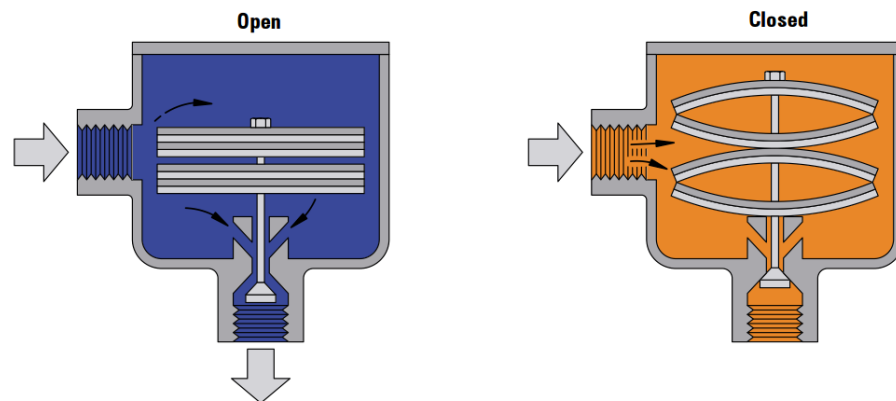


Kuva 11. Nesteen laajennukseen perustuvan lauhteenpoistimen toiminta [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.2.2].

Bimetalliset lauhteenpoistimet

Bimetallisissa lauhteenpoistimissa toimintaa ohjaava elementti on kahdesta eri lämpölaajenemiskertoimen omaavasta metallista koostuva liuska. Liuskaa lämmitettäessä alkaa elementti taipumaan. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.2.6.]

Kuvassa 12 nähdään bimetallisen lauhteenpoistimen olevan täysin auki, kun höyryjärjestelmää käynnistetään. Auki ollessaan se poistaa erittäin suurella kapasiteetilla lauhdetta, ilmaa ja lauhtumattomia kaasuja. Kun poistimelle tulevan lauhteen lämpötila nousee, alkavat bimetalliset elementit taipumaan sulkien lauhteenpoistimen. Kun poistimessa oleva lauhde on jäähtynyt, avautuu poistin uudestaan ja lauhde alkaa virtaamaan lauhdeverkostoon. [The Steam and Condensate Loop 2018. 11.2.6.] Koska bimetallinen lauhteenpoistin on hidas reagoimaan muutokseen, tulee poistin säätää poistamaan lauhdetta vasta pienen alijäähtyksen jälkeen, jotta mahdollisimman vähän tuoretta höyryä pääsisi vuotamaan lauhdeverkostoon [Neste 1989: 49].



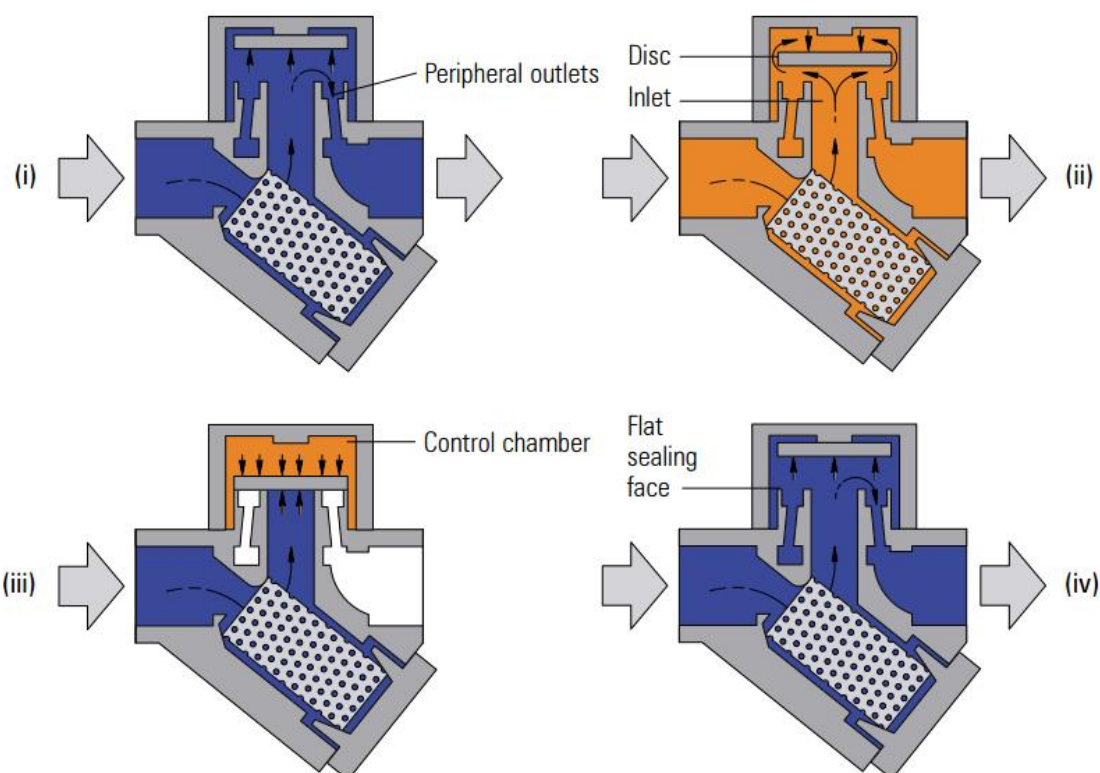
Kuva 12. Bimetallisen lauhteenpoistimen toiminta [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.2.7].

3.3.3 Termodynaamiset lauhteenpoistimet

Termodynaaminen lauhteenpoistin on rakenteeltaan yksinkertainen ja ainoana liikkuvana osana poistimessa on tämän sulkeva lautanen. Lauhteenpoistimen toiminta perustuu paisuntahöyryn dynaamiseen vaikutukseen, kun tämä virtaa poistimen läpi.

Kuten kuvasta 13 voidaan nähdä, käynnistyksessä saapuva paine nostaa poistimen lautasta, jolloin lauhde, ilma ja lauhtumattomat kaasut poistuvat välittömästi poistimesta. Kun poistimen läpi virtaavan kuumen lauhteen paine alentuu, syntyy samalla paisuntahöyryä, jonka virtausnopeus poistimessa on erittäin

suuri. Paisuntahöyryn vaikutuksesta sulkulautanen painautuu istukkaa vasten sulkién poistimen ja lautasen yläpuolelle jää paisuntahöyrystä täyttynyt kammio. Kun kammiossa oleva paisuntahöyry alkaa lauhtumaan, alenee sulkulautaseen kohdistuva paine ja lauhteenpoistin avautuu uudelleen päästään lauhteen virtaamaan lauhdeverkostoon. [The Steam and Condensate Loop 2018. 11.4.2.]



Kuva 13. Termodynaamisen lauhteenpoistimen toiminta [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.4.2].

Lauhteenpoistimen käyntiväli riippuu höyrynpaineesta ja ympäristön olosuhteista. Useimmiten termodynaaminen lauhteenpoistin pysyy suljettuna 20–40 sekuntia. Mikäli poistin avautuu liian tiheään, voi syynä olla esimerkiksi liian kylmä ympäristön lämpötila. Käyntiväliä voidaan yksinkertaisesti pidentää eristämällä lauhteenpoistin. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.4.2.]

Termodynaamisen lauhteenpoistimen etuina on kompakti ja yksinkertainen rakenne sekä poistimen kokoon nähden suuri lauhteenpoistokapasiteetti. Lisäksi koska lauhteenpoistimessa on ainoastaan yksi liikkuva osa, joka sekä

avautuessaan että sulkeutuessaan pitää tunnistettavan napsahdusta muistuttavan äänen, on poistimen toiminnan varmistaminen helppoa. Poistin voidaan myös huoltaa irrottamatta sitä putkesta. [The Steam and Condensate Loop 2018: 11.4.3.]

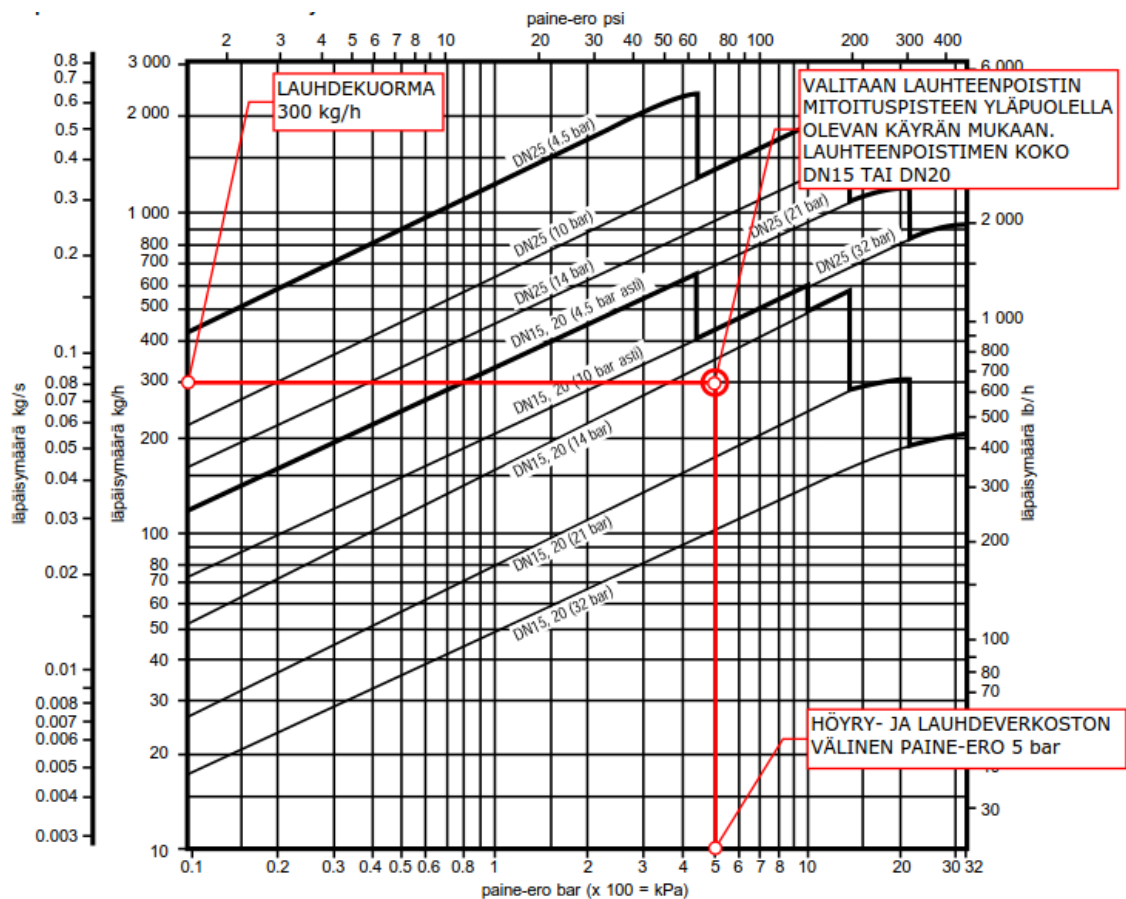
Termodynaamisen lauhteenpoistimen heikkoutena on puolestaan huono ilmanpoistokyky tilanteissa, joissa järjestelmän höyrynpaine nousee verkostossa nopeasti. Tällöin ilma voi tukkia poistimen, jolloin myöskään lauhdetta ei poistimen kautta poistu. [The Steam and Condensate Loop 2018. 11.4.3.] Lisäksi dynaaminen lauhteenpoistin päästää aina toimiessaan lauhteen mukana pienen määrän höyryä läpi, mikä lisää järjestelmän energiankulutusta [Neste 1989: 51].

3.4 Lauhteenpoistimen valinta ja mitoitus

Yleensä samaan käyttökohteeseen soveltuu useampi erilainen lauhteenpoistin ja valinnassa kannattaa hyödyntää laitevalmistajilta saatavia valintataulukkoja [Neste 1989: 53]. Monesti lauhteenpoistimen valinta voikin perustua osittain käyttäjän hyviin kokemuksiin tietyn tyyppisestä lauhteenpoistimesta. Ranta [2022] kertoo, että Meilahden höyryverkostossa suurin osa lauhteenpoistimista on uimurilauhteenpoistimia, joita verkostossa käytetään suurien lauhdekuormien yhteydessä esimerkiksi höyrylinjojen vesityksissä. Uimurilauhteenpoistimien lisäksi verkostosta löytyy termostaattisia lauhteenpoistimia, joita on käytetty muun muassa verkostoon kytkettyjen laitteiden, kuten autoklaavien, yhteydessä.

Kun lauhteenpoistimen tyyppi on valittu suunniteltuun prosessiin sopivaksi, tulee poistin vielä mitoittaa oikein. Lauhteenpoistimen mitoitusta varten täytyy tietää sekä poistimen yli vaikuttava paine-ero että lauhdemäärä eri käyttötilanteissa. [Neste 1989: 53.] Linjavesityksien lauhdekuormat mitoitetaan höyrylaitoksen käynnistyksessä esiintyvien lauhdekuormien mukaan, koska lauhdekuormat ovat tällöin suurimmillaan [TalotekniikkaRYL 2002: 242]. Höyryä kuluttavien laitteiden lauhdekuormat saadaan laitevalmistajien teknisistä esitteistä.

Kun lauhdekuorma on saatu arvioitua ja tiedetään höyry- ja lauhdeverkoston välinen paine-ero, voidaan lauhteenpoistin mitoittaa valmistajien mitoitusdiagrammien avulla. Kuvan 14 diagrammissa on esitetty uimurilauhteenpoistimen mitoitus. Lauhteenpoistimen mitoituspiste saadaan lauhdekuorman ja paine-eron riis-teyskohdasta, jonka jälkeen valitaan lauhteenpoistimen koko mitoituspisteen yläpuolisen käyrän mukaiseksi. Kuvan 14 tapauksessa lauhteenpoistin voi olla joko kokoa DN15 tai DN20. Kun lauhteenpoistin on saatu mitoitettua, on viimeistään tässä vaiheessa hyvä huomioida lauhteenpoistimen toiminta ilmanpoistossa, jotta poistimen rinnalle osataan tarvittaessa valita erillinen ilmanpoistin.



Kuva 14. Uimurilauhteenpoistimien mitoitusdiagrammi [Kapasiteettitaulukot FT44, FT46 ja FT47 uimurilauhteenpoistimille 1998].

Lauhteenpoistimen materiaali on yleensä joko pallografiittivalurautaa, valuterästä tai ruostumatonta terästä. Mikäli lauhteenpoistin asennetaan tavalliseen

laitoshöyryverkostoon, voidaan poistimen materiaalina käyttää yleensä pallografiittivalurautaa tai valuterästä, jotka ovat ruostumatonta terästä huomattavasti halvempia vaihtoehtoja. [TalotekniikkaRYL 2002: 242.] Mikäli lauhteenpoistin asennetaan verkostoon, jossa virtaa puhdasta höyryä, tulee poistimen materiaalina käyttää aina ruostumatonta terästä, sillä puhdas höyry voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa pallografiittivaluraudan tai valuteräksen syöpymistä [Karhumäki ym. 2017: Puhtaan höyryn jakelujärjestelmä].

Lauhteenpoistimet varustetaan aina molemmin puolin sulkuventtiileillä, jotta poistimen huoltaminen onnistuu ilman käyttökatkoja. Poistimen eteen tulee asentaa lianerotin, mikäli poistin ei itsessään suodatinta sisällä. Lisäksi lauhteenpoistimen jälkeen tulee asentaa yksisuuntaventtiili. Kaikki putkistovarusteet asennetaan putkistoon laippaliitoksilla. [Talotekniikka RYL 2002: 240, 242.] Ranta [2022] suosittelee käyttämään lauhteenpoistimien yhteydessä tehdasvalmisteisiä kuvassa 15 esitetyn mukaisia lauhteenpoistinpaketteja, jotka sisältävät lauhteenpoistimen lisäksi tarvittavat sulku- ja yksitieventtiilit sekä lianerottimen. Varusteet on prässätty yhdeksi kokonaisuudeksi, jolloin kaikki varusteet saadaan liitettyä putkistoon vain kahdella laippaliitoksella ja vältetään ylimääräisiltä putkiliitoksilta ja potentiaalisilta vuotokohdilta.



Kuva 15. Spirax Sarcon kompakti lauhteenpoistinpaketti STS17.2 uimurilauhteenpoistimella.

4 Lauhteen ja paisuntahöyryn talteenotto

Lauhteen talteenotolla huolehditaan järjestelmän mahdollisimman kustannustehokkaasta toiminnasta. Koska lauhde on valmiiksi lämmintä ja käsiteltyä vettä, voidaan tätä käyttää suoraan kattilan syöttövetenä, jolloin varmistutaan sairaalan höyryjärjestelmän mahdollisimman energiatehokkaasta käytöstä. Mikäli lauhdetta ei palauteta kattilalle, täytyy poistettu lauhde korvata vastaavalla määrällä tuoretta vettä, joka ennen kattilalle syöttämistä lämmitetään sekä käsitellään kattilalle sekä prosessille sopivaksi. [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.1.5.]

4.1 Paisuntahöyry

Paisuntahöyryä syntyy, kun kuumen lauhteen paine alentuu esimerkiksi lauhteen virratessa lauhteenpoistimen läpi lauhdeverkostoon, jossa vallitsee höyryverkostoa matalampi painetaso. Mikäli lauhteen lämpötila ennen paineenalennusta on suurempi kuin veden höyrystyslämpötila paineenalennuksen jälkeen, ei lauhde pysty sitomaan kaikkea lämpöenergiaa, vaan alkaa maksiminelämmön ylittävä lämpöenergia muodostamaan lauhdesta paisuntahöyryä. [The Steam and Condensate Loop 2018: 2.2.8.]

Paisuntahöyryn määrä voidaan laskea kaavalla 1, kun tiedetään höyry- ja lauhdeverkostojen painetasot sekä näitä vastaavat neste- ja höyrystyslämmöt. Esimerkiksi 5 bar (g) höyryverkostossa syntyvän lauhteen lämpötila on noin 159 °C, joka vastaa nestelämpösisällöltä (h_1) 670 kJ/kg. Kun lauhde virtaa lauhteenpoistimen kautta 0 bar (g):n lauhdeverkostoon, voi nestelämpösisältö (h_2) olla maksimissaan 419 kJ/kg. Kun nämä arvot yhdessä 0 bar (g):n höyrystyslämmön (h_n), 2 256 kJ/kg, kanssa syötetään kaavaan 1, nähdään, että lauhdesta 11 % muuttuu paisuntahöyryksi.

$$\begin{aligned}
 \text{hönkähöyryn osuus lauhteesta} &= \frac{h_1 - h_2}{h_h} \cdot 100 \% & (1) \\
 &= \frac{670 \text{ kJ/kg} - 419 \text{ kJ/kg}}{2256 \text{ kJ/kg}} \cdot 100 \% \\
 &= 11 \%
 \end{aligned}$$

h_1 on lauhteen nestelämpö paineessa p_1

h_2 on lauhteen nestelämpö paineessa p_2

h_h on höyryn höyrystyslämpö paineessa p_2 .

4.2 Lauhteen ja paisuntahöyryn hyödyntäminen

4.2.1 Lauhteen ja paisuntahöyryn palautuksen säästöpotentiaali

Lauhde ja paisuntahöyry sisältävät yhteensä keskimäärin vielä 25 % siitä lämpöenergiasta, joka höyryyn on ennen kulutuskohdetta sitoutunut [Höyry- ja lauhdejärjestelmien suunnittelu: 10]. Lisäksi lauhde on jo valmiiksi käsiteltyä vettä, joka sopii suoraan kattilan syöttövedeksi. Tästä johtuen lauhde tulisikin aina ensisijaisesti pyrkiä palauttamaan höyrykattilalle, koska tällä on merkittävä vaikutus laitoksen käyttökustannuksiin.

Taulukossa 5 esitetään lämpöenergian määrä, joka hävitään, mikäli lauhdetta, paisuntahöyryä tai kumpaakaan näistä ei oteta talteen. Taulukossa 6 puolestaan esitetään talteenoton puuttumisesta aiheutuvat kustannukset. Laskelmissa lauhdetta on poistettu 5 bar (g):n höyryverkostosta 0 bar (g):n lauhdeverkkoon, jolloin 11 % syntyvästä lauhteesta muuttuu paisuntahöyryksi. Lisäksi laskelmissa on oletettu höyrykattilan hyötysuhteen olevan 90 %, kaasun hinnan olevan 7,5 €/GJ ja veden sekä veden käsittelyn maksavan yhteensä 1 €/m³ julkaisun *A Practical Guide to Steam and Condensate Engineering* [2018: 90] mukaisesti.

Taulukko 5. Lauhteen ja paisuntahöyryn mukana menetettävä lämpöenergia, jos lauhdetta ja paisuntahöyryä ei oteta talteen ja palauteta kattilalle.

	Lauhde	Paisuntahöyry	Yhteensä
Määrä	890 kg/h	110 kg/h	1000 kg/h
Lämpöenergia (netto)	0,37 GJ/h (102,8 kWh)	0,29 GJ/h (80,5 kWh)	0,66 GJ/h (183,3 kWh)
Kattilan hyötysuhde	90 %		
Lämpöenergia (brutto)	0,41 GJ/h (114,2 kWh) 3591,6 GJ/a (1000,4 MWh/a)	0,32 GJ/h (89,4 kWh) 2803,2 GJ/a (783,1 MWh/a)	0,73 GJ/h (203,6 kWh) 6394,8 GJ/a (1783,5 MWh/a)

Taulukko 6. Lauhteen ja paisuntahöyryn aiheuttamat välilliset kustannukset, jos lauhdetta ja paisuntahöyryä ei oteta talteen ja palauteta kattilalle.

	Lauhde	Paisuntahöyry	Yhteensä
Määrä	890 kg/h	110 kg/h	1000 kg/h
Lämpöenergia (brutto)	0,41 GJ/h	0,32 GJ/h	0,73 GJ/h
Kaasun hinta	7,5 €/GJ		
Veden ja veden käsittelyn hinta	1 €/m ³		
Kustannukset yhteensä	3,97 €/h 34777,20 €/a	2,51 €/h 21987,60 €/a	6,48 €/h 56764,80 €/a

Kuten taulukoista voidaan havaita, on lauhteen ja paisuntahöyryn talteenotolla saavutettavissa merkittäviä kustannussäästöjä. Mikäli tällainen höyrylaitos käy 24 tuntia vuorokaudessa vuoden ympäri samalla 1 000 kg/h kuormalla ja sekä lauhde että paisuntahöyry saadaan palautettua kattilalle, saavutettaisiin tällä lähes 57 000 €:n vuosittaiset säästöt verrattuna tilanteeseen, jossa kumpaakaan ei oteta talteen. Jos pelkästään lauhde saadaan palautettua kattilalle, olisi vuosittainen säästö noin 35 000 €.

Taulukosta 7 nähdään, että lauhteen ja paisuntahöyryn palautuksella on merkittävä vaikutus myös laitoksen hiilidioksidipäästöihin. Jatkuvasti kuormalla 1000 kg/h käyvän höyrylaitoksen hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää vuodessa jopa 339 CO₂-tonnia, mikäli kaikki lauhde ja paisuntahöyry onnistutaan palauttamaan kattilalle. Siitosen [2018] mukaan yksi CO₂-tonni vastaa noin 7 500 kilometrin autoilua dieselkäyttöisellä farmariautolla, jolloin talteenoton päästövähennyspotentiaali vastaisi noin 2,5:tä miljoonaa ajettua kilometriä.

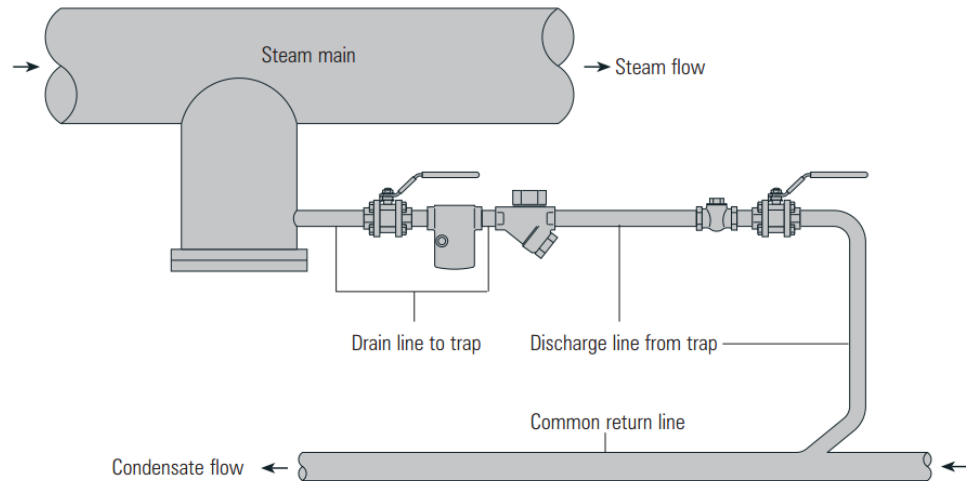
Taulukko 7. Lauhteen ja paisuntahöyryn aiheuttamat välilliset CO₂-päästöt, jos lauhdetta ja paisuntahöyryä ei oteta talteen ja palauteta kattilalle.

	Lauhde	Paisuntahöyry	Yhteensä
Lämpöenergia (brutto)	0,41 GJ/h	0,32 GJ/h	0,73 GJ/h
Maakaasun päästökerroin	55,3 kg/GJ		
CO ₂ -päästöt	22,7 kg/h 199 t/a	16,0 kg/h 140 t/a	38,7 kg/h 339 t/a

4.2.2 Lauhteen palautus

Lauhteen palautus on yksinkertainen ja yleensä helposti toteutettavissa oleva tapa parantaa höyrylaitoksen energiataloudellisuutta. Höyryputkiston rinnalle rakennetaan lauhdeputkisto, johon höyryn kulutusposteista sekä höyrylinjojen vesityksistä johdetaan näihin kerääntyvä lauhde, kuten kuvassa 16 on esitetty.

Lauhde kerätään yhteiseen lauhdesäiliöön, josta se voidaan pumpata takaisin kattilalaitokselle [Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan ohjeistus 2011: 28].

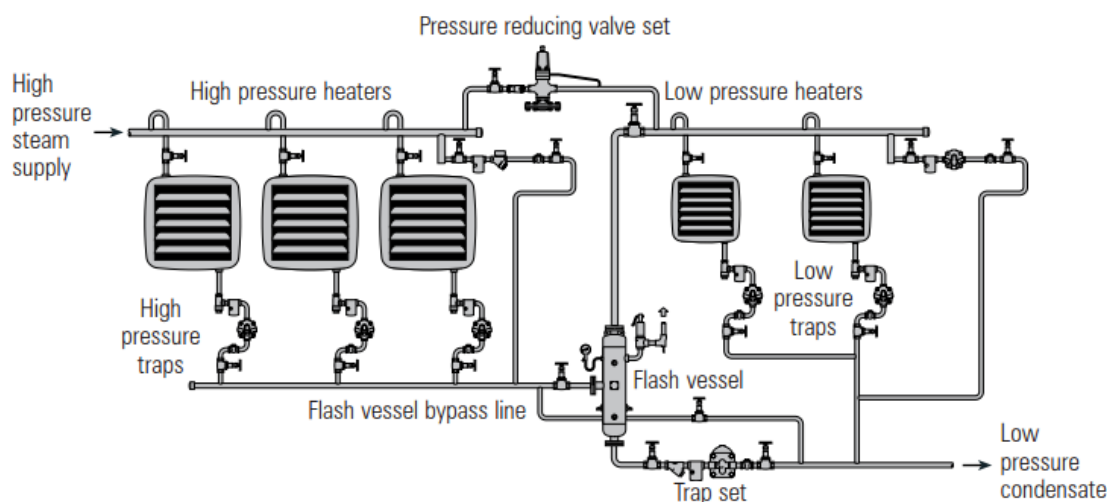


Kuva 16. Linjavesityksen liittyminen lauhdeputkistoon [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.2.2].

Ranta [2022] huomauttaa, että painovoimaiset ja pumpatut lauhdelinjat tulee pitää erillään. Pumpattujen lauhdelinjojen mitoituksessa ei yleensä oteta huomioon paisuntahöyryä, sillä tämä on erotettu lauhteesta ennen pumppaamoja. Mikäli pumpattuun linjaan liitetään painovoimainen lauhdeputki, jossa virtaa lauhteen lisäksi paisuntahöyryä, jää pumpattu linja usein liian tiukaksi, joka voi johtaa esimerkiksi rajuihin vesi-iskuihin. [Steam and Condensate Loop 2018: 14.3.2.] Tämä ilmenee käyttäjälle useimmiten kovina pamauksina.

4.2.3 Paisuntahöyryn palautus

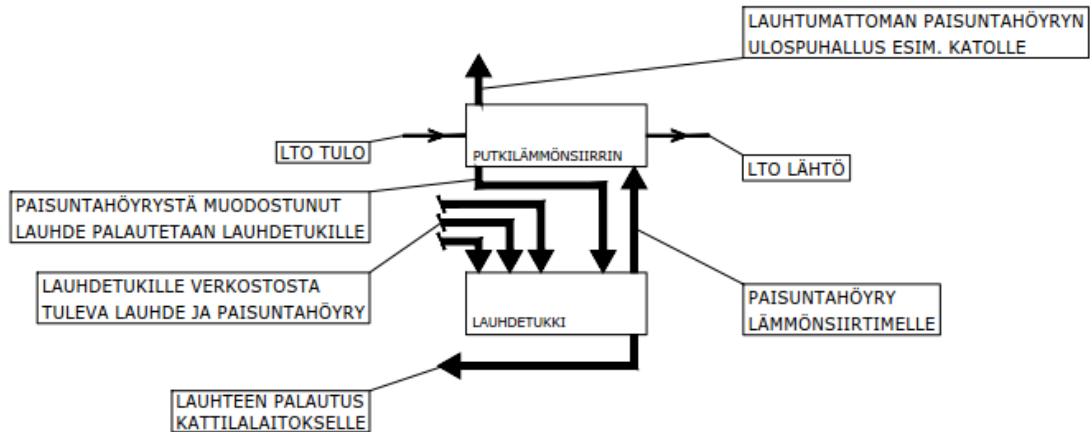
Paisuntahöyryä ei voida sellaisenaan palauttaa suoraan kattilalaitokselle, vaan se täytyy ensin jäähdyttää takaisin lauhteeksi. Paisuntahöyry vastaa täysin saman paineista tuorehöyryä, joten sitä voidaan kuvan 17 mukaisesti käyttää matalapaineisissa höyryprosesseissa tuorehöyryn rinnalla. Paisuntahöyry erotetaan lauhteesta paisuntahöyrysäiliössä, minkä jälkeen höyry johdetaan kulutuskohteisiin. Mikäli paisuntahöyry ei itsessään riitä tuottamaan tarvittavaa prosessilämpöä, voidaan puuttuva höyry korvata korkeapaineverkostosta otetulla laitoshöyryllä, kunhan tämän painetta ensin alennetaan. Kun paisuntahöyry on kulutuspisteen jälkeen lauhtunut, se johdetaan takaisin lauhdeverkostoon. [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.6.5–14.5.9.]



Kuva 17. Paisuntahöyryn hyödyntäminen lämmityksessä [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.6.9].

Useimmiten sairaalakiinteistöissä paisuntahöyryn lauhdutus tapahtuu kuitenkin joko tuottamalla lämmintä käyttövettä tai lämmittämällä lämmitysverkoston menovettä. Ranta [2022] mainitsee, että Meilahden sairaala-alueen vanhemmissa osissa paisuntahöyryä on pyritty lauhduttamaan tekemällä lämmintä käyttövettä, jotta mahdollisimman suuri osa lauhteesta saataisiin talteen. Vaikka lauhduttamisesta saatavaa lämpöenergia voidaan siirtää suoraan siirtimen välityksellä esimerkiksi lämpimään käyttöveteen, on suositeltavaa pyrkiä varastoitamaan lämpö puskurivaraajiin, jolloin lämpöä voidaan kerätä paisuntahöyrystä, vaikka samanaikainen lämmitystarve olisikin lauhdutustehoa pienempi.

Ranta [2022] korostaa, että paisuntahöyryn hyödyntäminen tulisi pyrkiä huomioimaan rakennushankkeissa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta kaikki saatavilla oleva lämpöenergia ja lauhde voidaan hyödyntää mahdollisimman hyvin. Kiinteistöön voidaan rakentaa esimerkiksi LTO-verkosto, jolla kuvan 18 mukaisesti voidaan lauhduttaa paisuntahöyryä. Lauhdetukilta paisuntahöyry johdetaan putkilämmönsiirtimeen, jossa höyryn lauhtuessa lämpöenergia siirtyy LTO-verkostoon. Paisuntahöyrystä syntynyt lauhde palautuu takaisin lauhdetukille, josta se johdetaan edelleen takaisin kattilalaitokselle. Mikäli LTO-verkostoon ei voida siirtää kaikkea lauhdetta, puhalletaan ylimenevä paisuntahöyry ulos esimerkiksi kiinteistön katolle.



Kuva 18. Esimerkki paisuntahöyryn talteenotosta.

4.3 Lauhdeputkiston suunnittelussa huomioitavia asioita

4.3.1 Putkiston mitoitusperusteet

Vesityksien jälkeiset lauhdeputket lauhteenpoistimille

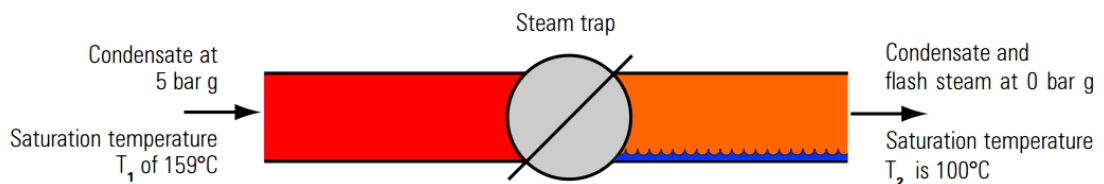
Mikäli putkimatka lauhteenpoistimelle on alle 10 metriä, voidaan vesityksen ja lauhteenpoistimen välinen putki mitoittaa lauhteenpoistimen liitoskoon mukaan. Mitoitus voidaan varmistaa kuvan 19 taulukosta katsomalla, ettei valitulla putkikoolla lauhdekuorman aiheuttama painehäviö kasva yli 200 Pa/m eikä virtausnopeus putkessa ylitä 1,5 m/s. Tilanteissa, joissa putkimatka on yli 10 metriä, tulee putki mitoittaa korkeintaan painehäviölle 100 Pa/m ja virtausnopeudelle 1,0 m/s. Vesityksen jälkeistä putkea mitoittaessa on tärkeä muistaa, että höyryn kulutuskohteen lauhdeputken liituskoko voi olla pienempi, kuin lauhteenpoistoon tarvittava putkikoko, eikä lauhdeputkea tulisi koskaan mitoittaa kulutuskohteen liitoskoon mukaan. [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.3.2–14.3.3.]

Flowrate		Capacity kg/h								
Pipe size Ø		15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm
Pa/m	mbar/m	<0.15 m/s			0.15 m/s					0.3 m/s
90.0	0.900	173	403	745	1627	2488	4716	9612	14940	30240
92.5	0.925	176	407	756	1652	2524	4788	9756	15156	30672
95.0	0.950	176	414	767	1678	2560	4860	9900	15372	31104
97.5	0.975	180	421	778	1699	2596	4932	10044	15552	31500
100.0	1.000	184	425	788	1724	2632	5004	10152	15768	31932
120.0	1.200	202	472	871	1897	2898	5508	11196	17352	35100
140.0	1.400	220	511	943	2059	3143	5976	12132	18792	38160
160.0	1.600	234	547	1015	2210	3373	6408	12996	20160	40680
180.0	1.800	252	583	1080	2354	3589	6804	13824	21420	43200
200.0	2.000	266	619	1141	2488	3780	7200	14580	22644	45720
220.0	2.200	281	652	1202	2617	3996	7560	15336	23760	47880
240.0	2.400	288	680	1256	2740	4176	7920	16056	24876	50400
260.0	2.600	306	713	1310	2855	4356	8244	16740	25920	52200
280.0	2.800	317	742	1364	2970	4536	8568	17388	26928	54360
300.0	3.000	331	767	1415	3078	4680	8892	18000	27900	56160

Kuva 19. Lauhdevirtaamat teräsputkissa [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.3.4].

Lauhdeputket lauhteenpoistimen jälkeen

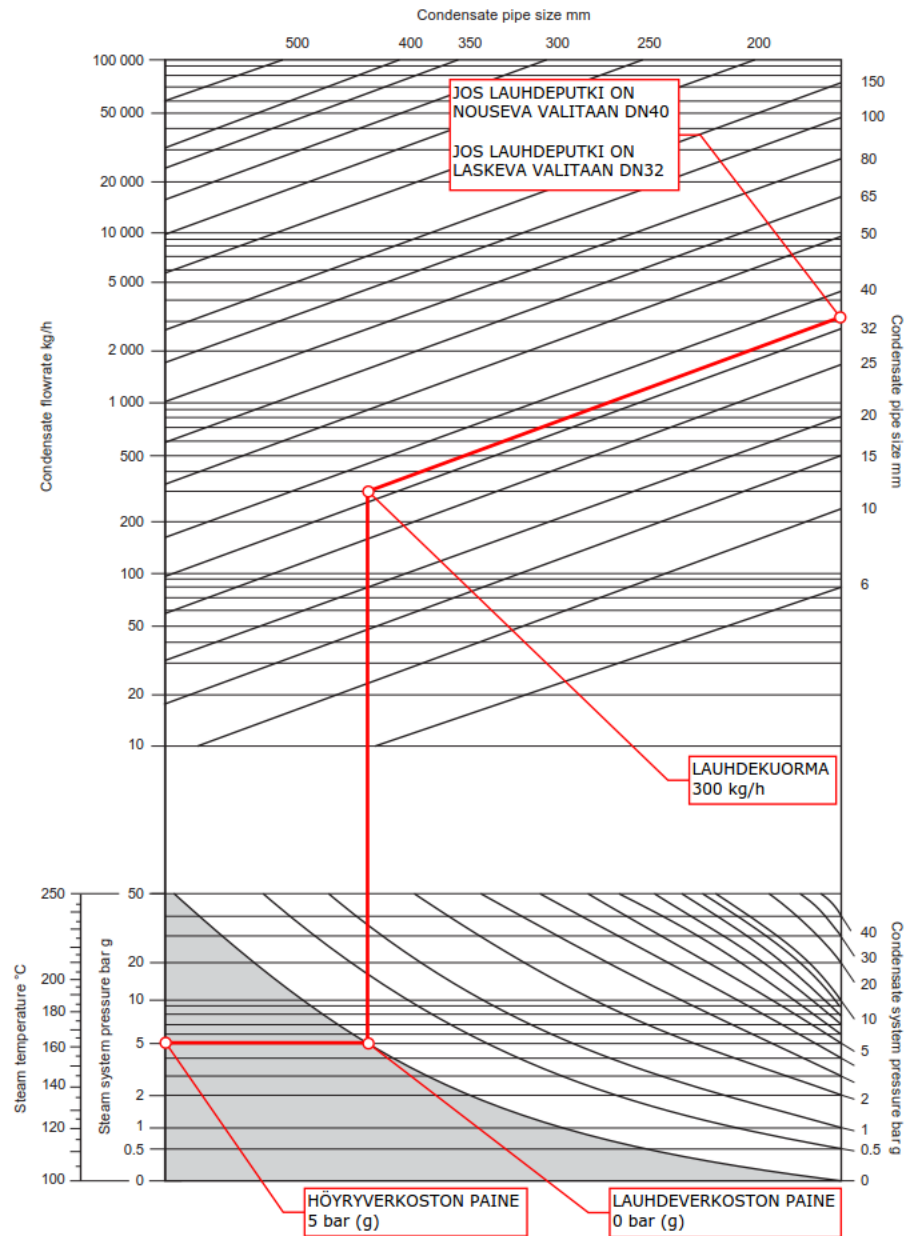
Lauhdeputkiston mitoituksessa tulee muistaa, että putkistossa virtaa lauhteen lisäksi myös paineenalennuksessa syntyvää paisuntahöyryä, joka vaatii huomattavasti lauhdetta suuremman putkitilavuuden. Esimerkiksi kuvan 20 tilanteessa, jossa 5 bar (g) paineessa lauhteenpoistimelle tulevasta lauhteesta 11 %:sta muodostuu ilmakehän paineessa paisuntahöyryä, vie paisuntahöyry putken kokonaistilavuudesta 99,5 %. [ARI-Armaturen GmbH & Co. KG 2018: 90–92.]



Kuva 20. Paisuntahöyryn ja lauhteen osuudet lauhdeputkessa lauhteenpoistimen jälkeen [The Steam and Condensate Loop 2018: 2.2.8].

Mikäli lauhdeputkia, joissa kulkee lauhteen lisäksi paisuntahöyryä, yritetään mitoittaa pelkän lauhdekuorman mukaan, voivat putket jäädä liian pieniksi. Alimitoituksen seurauksena höyryn virtausnopeus ja lauhdeverkoston vastapaine kasvavat, joiden seurauksena voi syntyä esimerkiksi putkistoa vahingoittavia vesi-iskuja ja lauhteenpoiston kapasiteetti voi pienentyä. [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.3.4.]

Lauhdeputket tuleekin mitoittaa paisuntahöyryn mukaan, pitämällä höyryn virtausnopeus välillä 15–20 m/s. Tätä suuremmilla virtausnopeuksilla märkähöyry voi vahingoittaa putkistoa. Minimikaadoksi lauhdeputkille suositellaan 150 mm jokaista 10 m:n putkivetoa kohden. Kuvasta 21 nähdään, kuinka lauhdeputket mitoitetaan, kun tiedetään höyry- ja lauhdeverkostojen painetasot sekä lauhdekuorma. Kuvan esimerkissä 5 bar (g):n höyryverkostosta poistetaan lauhdetta 300 kg/h 0 bar (g):n lauhdeverkostoon. Mikäli lauhdetta joudutaan nostamaan korkeammalla sijaitsevaan lauhdelinjan runkoputkeen, tulee esimerkin tilanteessa valita putkikooksi diagrammin mitoituspisteen yläpuolella oleva putkikoko, DN40. Jos lauhdeputkella voidaan liittyä runkoputkeen suoraan painovoimaisesti, valitaan putkikooksi sen sijaan mitoituspisteen alapuolella oleva koko, DN32. [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.3.5–14.3.7.]



Kuva 21. Lauhdeputkien mitoitusdiagrammi [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.3.9].

Runkoputket

Lauhdeverkoston runkoputket mitoitetaan kasvamaan kumulatiivisesti haaraputkien kokojen mukaan käyttämällä kaavaa 2, kun kokoojaputkeen liittyvät haaraputket on mitoitettu käyttämällä kuvan 21 diagrammia. Kuvassa 22 on esitetty esimerkki runkoputken mitoituksesta. Kaavalla 2 saadaan ensimmäisen

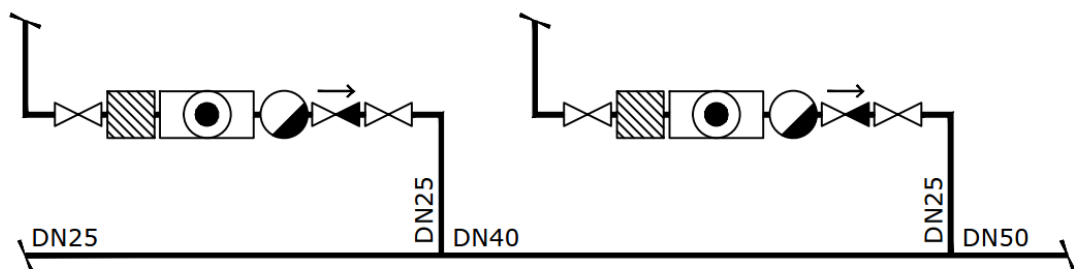
putkihaaran jälkeiseksi laskennalliseksi putkikooksi 35,4 mm, jolloin valitaan runkoputken kooksi DN40. Seuraavan liitoksen jälkeinen laskennallinen putkikoko saadaan sijoittamalla kaavaan 2 aiemmin laskettu putkikoko 35,4 mm ja runkoputken liittyvän putkihaaran koko 25 mm. Laskennalliseksi putkikooksi toisen liitoksen jälkeen saadaan 43,3 mm, jolloin putkikooksi valitaan DN50. [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.3.14.]

$$d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2} \quad (2)$$

d_1 on kokoojaputken koko ennen seuraavaa haaraa

d_2 on kokoojaputken liittyvän putken koko

d on kokoojaputken koko haaran jälkeen



Kuva 22. Lauhdeverkoston runkoputkien mitoitus.

4.3.2 Lämpölaajenemisen tasaus

Höyry- ja lauhdeputkistoissa voi esiintyä suuria lämpötilojen vaihteluita. Kun putkiston lämpötila kasvaa, alkavat lämpölaajenemisen seurauksena putket pitenemään. Ohjekortin LVI 12-10330 [2001: 2] mukaan lämpöpitenerroin teräkselle on 0,012 mm/m°C ja ruostumattomalle sekä haponkestävälle teräkselle 0,016 mm/m°C. Näillä kertoimilla laskettuna esimerkiksi 50 m pitkän teräksestä valmistetun lauhdeputkiston, jonka lämpötila on korkeintaan 100 °C, pituus kasvaisi 60 mm lämpölaajenemisen seurauksena. Mikäli putkiston materiaali olisi teräksen sijaan ruostumatonta tai haponkestävää terästä, kasvaisi putkiston pituus 80 mm.

Lämpölaajenemisen vaikutukset on otettava suunnittelussa huomioon, jotta vältetään lämpölaajenemisen aiheuttamilta vaurioilta mm. putkissa, liitoksissa ja kannakkeissa. Ensisijaisesti lämpölaajeneminen pitäisi pyrkiä tasaamaan putkistossa olevien mutkien avulla, mutta mikäli pitkien suorien putkiosuuksien vuoksi tämä ei ole mahdollista, tulee tasauksessa käyttää joko paisuntalengkettä tai paljetasaimia. [Putkistojen lämpölaajeneminen 2001: 1–2.] Käytäntö on opettanut, etteivät paljetasaimet ole kovin pitkäikäisiä, vaan nämä voivat muodostua putkiston heikoksi lenkiksi aiheuttaen myöhemmin suuremman vuotoriskin putkistoon [Ranta 2022]. Paljetasaimia tulisikin käyttää vain tilanteissa, joissa lämpölaajenemisen tasausta ei voida toteuttaa putkiston mutkien tai paisuntalengkien avulla esimerkiksi tilan puutteen vuoksi.

4.3.3 Lauhdepumput

Mikäli painovoimainen lauhteenpalautus ei ole mahdollista, tulee lauhteen palautuksessa käyttää lauhdepumppua. Yleensä lauhteenpalautus edellyttää pumppua viimeistään siinä vaiheessa, kun lauhdesäiliöstä lauhdetta nostetaan kattilan syöttövesisäiliöön. [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.4.2.]

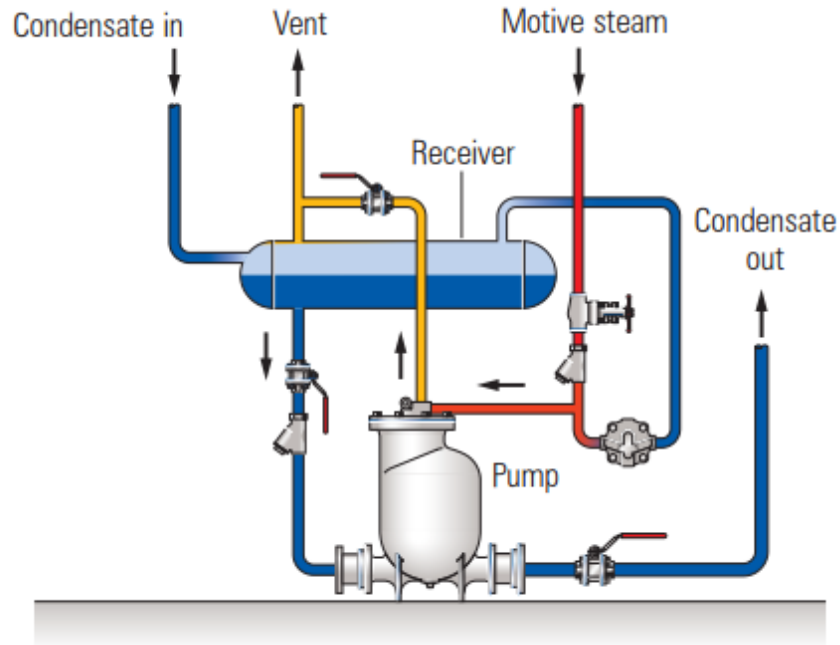
Mekaaninen lauhdepumppu

Lauhteen pumppaamisessa suositellaan käytettävän mekaanisia lauhdepumppuja, jotka hyödyntävät höyryä pumpatessaan lauhdetta. Mekaanisten lauhdepumppujen etuina on vähäinen huoltotarve ja pumppujen itsenäinen toiminta, sillä nämä eivät tarvitse minkäänlaista ohjausjärjestelmää toimiakseen. Lisäksi mekaanisissa lauhdepumpuissa ei esiinny kavitaatiota. [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.4.10.]

Mekaaninen lauhdepumppu toimii samalla periaatteella kuin umpiurilauhteenpoistimet. Lauhdepumpun sisällä on uimuri, joka lauhteen kerääntyessä pumppuun alkaa nousemaan. Kun uimuri on tarpeeksi ylhäällä, sulkeutuu lauhdepumpun tuuletusaukko ja höyryn syöttöaukko avautuu, josta virtaava höyry työntää lauhteen pois pumpusta. Kun uimuri on laskeutunut takaisin ala-

asentoon, menee höyryn syöttöaukko jälleen kiinni ja tuuletusaukko avautuu.

[The Steam and Condensate Loop 2018: 14.4.10.] Mekaanisen lauhdepumpun toimintaa on havainnollistettu kuvassa 23.



Kuva 23. Mekaaninen lauhteenpalautusyksikkö [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.4.10].

Sähköinen lauhdepumppu

Lauhteen pumppaaminen voidaan toteuttaa myös sähköisillä keskipakoispuimpuilla, joita käytetään erityisesti silloin kun lauhdekuormat ovat suuria. Sähköiset lauhdepumput toimitetaan yleensä kokonaisina lauhteen palautusyksiköinä, jotka sisältävät pumpun lisäksi lauhteen keräyssäiliön sekä ohjausjärjestelmän. [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.4.6.] Kun keräyssäiliössä olevan lauhteen pinta nousee tarpeeksi korkealle, saa ohjausjärjestelmä tästä tiedon säiliössä olevalta uimurikytkimeltä, jonka jälkeen ohjausjärjestelmä antaa pumpulle käyntiluvan. Säiliön tyhjennyttyä pumppu sammuu, ja lauhdetta alkaa kerääntyä jälleen säiliöön.

Koska pumpulle tulevan lauhteen lämpötila on tyypillisesti hyvin lähellä kiehumispistettä, tulee pumpun valinnassa huomioida erittäin suuri mahdollisuus kavitaatioon. Mikäli lauhteen paine laskee alle höyryn paineen, alkaa lauhteen sekaan muodostumaan höyrykuplia, jotka aiheuttavat melua ja voivat johtaa pumpun ennenaikaiseen hajoamiseen. [The Steam and Condensate Loop 2018: 14.4.2.] Tämän takia lauhteen pumppaaminen on suositeltavaa toteuttaa mekaanisilla lauhdepumpuilla.

5 Case Siltasairaala

Siltasairaala on kesäkuussa 2022 valmistunut Meilahden sairaala-alueen uusin osa, jossa on mm. 16 leikkaussalia ja 58 tehohoitopaikkaa. Sairaala on täynnä uudenlaista tekniikkaa ja rakennushanke on HUS:n historian kaikista suurin. [Pihlava 2023.]

5.1 Höyry- ja lauhdeverkosto yleisesti

Siltasairaala on liitetty osaksi koko Meilahden sairaala-alueen kattavaa yhteistä höyry- ja lauhdeverkostoa, johon tuotetaan höyryä toisella Meilahden voimakeskuksen 3,3 MW:n höyrykattilalla [Ranta 2022]. Sairaalan höyryverkosto on liitetty suoraan koko alueen kiertävään höyryn rengasverkostoon, mutta lauhteen palautusta varten on rakennettu uusi pumpattu lauhdelinja Siltasairaalan ja voimakeskuksen välille.

Sairaalaan höyryä tuodaan paineessa 8 bar (g), joka sellaisenaan käy osalle höyryä käyttävistä laitteista. Kiinteistössä on kuitenkin laitteita, jotka käyttävät 3 bar (g):n tai 4 bar (g):n paineista höyryä. Nämä laitteet ovat sijoitettu omiin vyöhykkeisiin, joita ennen alennetaan höyryn painetta tarvittava määrä paineenalennusventtiileillä. Yhteensä sairaalassa on erilaisia höyryä käyttäviä laitteita 22 kappaletta, jotka samanaikaisesti käydessään tarvitsevat 880 kg/h höyryä. Lisäksi verkostossa on varauduttu laajennuksiin, joita voi esiintyä rakennuksen elinkaaren aikana.

5.2 Lauhteen talteenotto

Siltasairaalassa kaikki lauhde on pyritty ottamaan talteen. Kulutuspisteiltä lauhteet johdetaan lauhdetukkeihin, jotka ovat osa kuvassa 24 näkyvää lauhteenpalautusyksikköä. Lauhteenpalautusyksiköltä lauhde pumpataan takaisin voimakeskukselle.

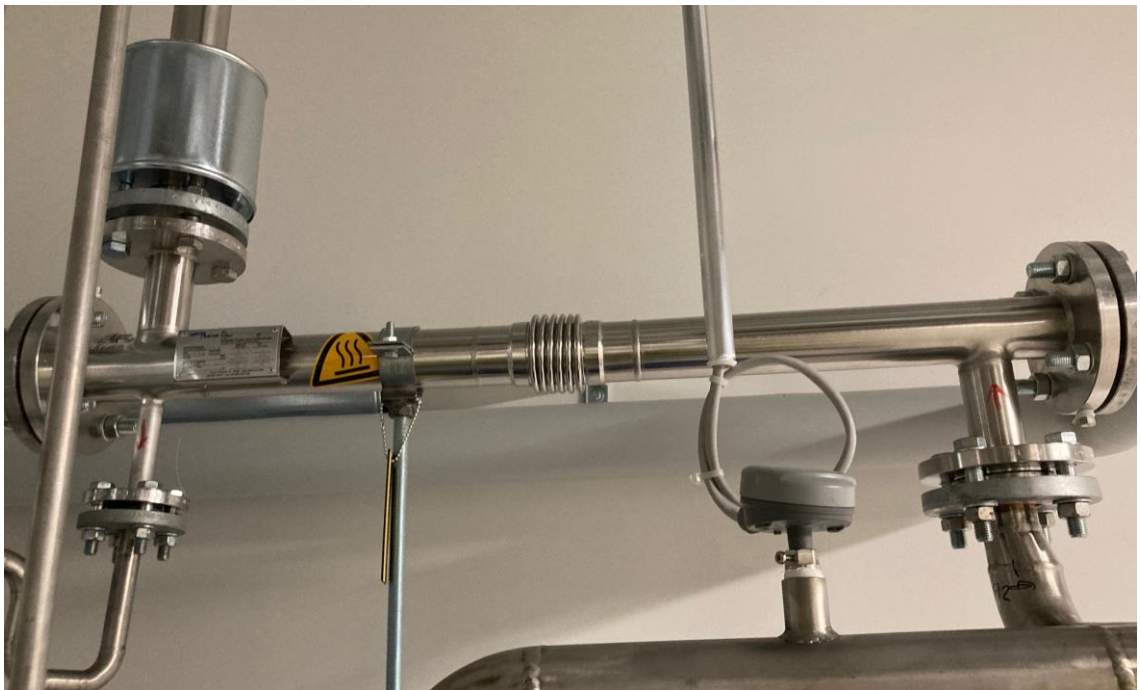


Kuva 24. Toinen Siltasairaalan lauhteenpalautusyksiköistä.

Koska kaikki lauhde otetaan talteen, on tällä huomattava vaikutus kiinteistön höyry- ja lauhdejärjestelmän käyttökustannuksiin sekä hiilidioksidipäästöihin. Kuten liitteestä 2 nähdään, ovat vuosittaiset kustannussäästöt lauhteen talteenoton kohdalla noin 7 700 €, jonka lisäksi CO₂-päästöjä syntyy vuodessa 44,4 tonnia vähemmän kuin tilanteessa, jossa lauhdetta ei kerätä talteen. On kuitenkin huomioitava, että liitteen 2 laskelmat on tehty yksinkertaistuksen vuoksi oletuksella, että laitos käy vain 25 % ajasta täydellä teholla, eikä osatehoa laitoksen käytössä esiinny ollenkaan. Todellinen käyttö voi olla laskettua runsaampaa, jolloin päästään entistä suurempiin kustannussäästöihin sekä päästövähenyksiin.

5.3 Paisuntahöyryn talteenotto

Siltasairaalassa on myös paisuntahöyry pyritty ottamaan kokonaisuudessaan talteen. Lauhdetukeilta lähtevät paisuntahöyryjen ulospuhallukset johdetaan lämmönsiirtimien läpi kuvan 18 periaatteen mukaisesti, joissa höyry on tarkoitus lauhduttaa toisiopiirissä virtaavaan nesteeseen. Paisuntahöyrystä vapautunut lauhde johdetaan takaisin lauhdetukille, josta se palautetaan muun lauhteen mukana voimakeskukseen. Lämmönsiirtiminä paisuntahöyryn lauhdutuksessa on käytetty kuvassa 25 esitetyn tapaisia putkilämmönsiirtimiä.



Kuva 25. Paisuntahöyryn lauhdutuksessa käytettävä putkilämmönsiirrin.

Kuten liitteestä 2 nähdään, ovat vuosittaiset kustannussäästöt paisuntahöyryn talteenoton kohdalla noin 4 700 €, minkä lisäksi CO₂-päästöjä syntyy vuodessa 33,2 tonnia vähemmän. Kokonaisuudessa lauhteen ja paisuntahöyryn talteenotolla voidaan vuodessa säästää noin 12 400 € ja vähentää syntyviä CO₂-päästöjä 77,6 tonnia. Kannattaa myös huomioida, että vaikka paisuntahöyryn osuus palautettavasta lauhteesta on vain 11,7 %, on paisuntahöyryn osuus saatavasta kokonaissäästöstä noin 37,9 % ja päästövähennyksestä 42,8 %.

6 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin, millä tekijöillä saavutetaan mahdollisimman energia-
tehokkaasti ja hyvin toimiva höyry- ja lauhdejärjestelmä. Lisäksi tavoitteena oli
tuottaa ohjeistus, jonka avulla höyry- ja lauhdejärjestelmiä tuntematon henkilö
saa kattavan perustietämyksen järjestelmistä.

Työssä tarkasteltiin höyry- ja lauhdejärjestelmien teoreettisia perusteita suurim-
milta osin kirjallisuustutkimuksen muodossa. Kirjallisuustutkimusta täydennettiin
haastattelemalla alan asiantuntijoita, joiden osaamisella pyrittiin saamaan vas-
taukset sellaisiin teknisiin kysymyksiin, joihin ei alan kirjallisuudesta vastauksia
löytynyt. Case-esimerkissä tarkasteltiin HUS:n uuden Siltasairaalan höyry- ja
lauhdejärjestelmää ja sitä, kuinka merkittävä vaikutus lauhteen ja paisunta-
höyryn talteenotolla on sairaalan höyry- ja lauhdejärjestelmän energiankulutuk-
seen.

Työssä saatiin selville, että lauhteen- ja ilmanpoistolla on erittäin merkittävä vai-
kutuksen höyry- ja lauhdejärjestelmien toimintaan. Lauhteen ja paisuntahöyryn tal-
teenotolla voidaan vähentää merkittävästi höyry- ja lauhdejärjestelmän os-
toenergian tarvetta, sillä nämä sisältävät lähes 25 % siitä energiasta, joka höy-
ryyn on höyrykattilalta lähtiessä sitoutunut. Kun höyryn tuottamiseen käytettävä
energia lauhteen ja paisuntahöyryn talteenoton myötä vähenee, on tällä myös
huomattava vaikutus järjestelmän aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin ja elinkaa-
rikustannuksiin.

Insinööriyön tuloksena syntyi sairaaloiden höyry- ja lauhdejärjestelmien suun-
nittelua tukeva ohjeistus. Tämän ohjeistuksen avulla etenkin nuoremmat suun-
nittelijat voivat saada kattavan perustietämyksen höyry- ja lauhdejärjestelmistä.

Lähteet

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. 1009/2017.

A Practical Guide to Steam and Condensate Engineering. 2018. 4. uudistettu painos. Schloß Holte-Stukenbrock: ARI-Armaturen GmbH & Co. KG.

ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment. 2016. Atlanta: ASHRAE.

Energia. 2019. Verkkoaineisto. HUS. <<https://husinvuosi2019.fi/vastuullisuus/ymparisto/energia/>>. Luettu 17.4.2022.

Energiansäästö ja sairaalahygienia. 1990. Helsinki: Sairaalaliitto.

Hakkarainen, Jukka. 2023. Projektimyöntispesialisti, Insinööri (AMK). Getinge Finland Oy, Espoo. Keskustelu. 13.4.2023

Höyryjärjestelmät sairaaloille. 2021. Cheltenham: Spirax Sarco Limited.

Höyry- ja lauhdejärjestelmien suunnittelu. Opas. Helsinki: Spirax Oy.

Infektioiden torjunta sairaalassa. 1989. 2. uudistettu painos. Helsinki: Sairaalaliitto.

Kapasiteettitaulukot FT44, FT46 ja FT47 uimurilauhteenpoistimille. 1998. Spirax Oy.

Karhumäki, Tuula; Hirvonen; Kaisa & Ylitupa, Eija. 2017. Välinehuolto. E-kirja. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

Karkiainen, Sasu. 2019. Leikkaussalien sisäilmaolosuhteiden hallinta. Luentomateriaali. AX-Suunnittelu.

Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan ohjeistus. 2011. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/8897/HOLA_kaytto-kunnossapito_ohjeistus_2011.pdf>. Marraskuu 2011. Luettu 11.3.2023.

Neste. 1989. Höyryopas. Helsinki: Valtion Painatuskeskus.

Onko höyry ainesosa ruoantuotannossa. 2020. Cheltenham: Spirax Sarco Limited.

Painelaitelaki. 2016. 16.12.2016/1144.

Pihlava, Minna. 2023. Husin suurin sairaalahanke Siltasairaala avaa ovensa. Verkkoaineisto. Potilaan Lääkärilehti. < <https://www.potilaanlaakarilehti.fi/uutiset/husin-suurin-sairaalahanke-siltasairaala-avaa-ovensa/>>. 19.1.2023. Luettu 12.3.2023.

Putkistojen lämpölaajeneminen. 2001. LVI 12-10330. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ranta, Jarmo. 2022. LVI-esimies, HUS-kiinteistöt Oy, Helsinki. Haastattelu 26.4.2022.

Seppänen Olli & Seppänen Matti. 2010. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: SIY Sisäilmätieto Oy.

SFS-EN 285:2015 + A1:2021:en. Sterilization. Steam sterilizers. Large sterilizers. 2021. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 13060:2015 + A1:2018. Small steam sterilizers. 2018. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Siitonen, Sari. 2018. Onko CO2-tonni paljon vai vähän. Verkkoaineisto. Clonet Oy. < <https://www.clonet.fi/ilmasto/onko-co2-tonni-paljon-vai-vahan/>>. 14.5.2028. Luettu 12.3.2023.

Sisäilmastoluokitus 2018. 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. RT 07-11299. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Steam-Jacketed Kettles. 2013. Foodservice Equipment & Supplies, Vol. 66, s. 84. <<https://www.proquest.com/trade-journals/steam-jacketed-kettles/docview/1511536864/se-2>>. Luettu 4.6.2022.

TalotekniikkaRYL 2002. 2003. Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset Osa 1. LVI-01-10355. Helsinki: Rakennustieto Oy.

The Steam and Condensate Loop. 2018. Cheltenham: Spirax-Sarco Limited.

Viheriäkoski, Toni. 2020. Staattinen sähkö lääkintätiloissa. Luentomateriaali. Cascade Metrology.

Välimaa, Hannamari. 2016. Ohje suun terveydenhuollon yksiköiden tartunnan torjuntaan. Helsinki: Terveyden ja hyvinvoinnin laitos.

Haastattelu: Jarmo Ranta, LVI-esimies HUS-kiinteistöt Oy

Haastattelu - 26.4.2022

Jarmo Ranta - LVI-esimies, HUS-kiinteistöt Oy

1 Kuinka kauan olet työskennellyt HUS:lla? Entä höyry- ja lauhdejärjestelmien parissa?

Yli 40 vuotta vaihtelevissa asennus-, työnjohto- ja esimiestehtävissä. Työuran alusta asti työskennellyt höyry- ja lauhdejärjestelmien parissa.

2 Kuinka paljon höyryä HUS:n Meilahden kiinteistöissä käytetään arviolta vuodessa?

Yksinkertaistettuna voidaan sanoa, että käytännössä toinen Meilahden 3 MW:n höyrykattiloista tuottaa höyryä täydellä teholla koko ajan.

3 Miten höyryä hyödynnetään HUS:n kiinteistöissä?

Höyryä käytetään mm. keskuskeittiössä ja välinehuollossa. Keskuskeittiössä keittolaitteet, kuten esimerkiksi keittopadat, lämmitetään kiinteistössä tuotetulla laitoshöyryllä. Välinehuollossa voidaan laitoshöyryllä lämmittää pesu- ja desinfiointikoneita ja puhdashöyryllä steriloida sairaalatarvikkeita autoklaaveissa.

Höyryä olisi mahdollista hyödyntää myös ilman kostuttamiseen, mutta keskitetyistä kostutusjärjestelmistä on luovuttu säädön epätarkkuuden vuoksi ja kustusta tarvitsevat tilat, kuten leikkaussalit ja steriilivarastot, varustetaan tarvittaessa erillisillä kostutusyksiköillä.

4 Millä tavoilla höyrykattilan syöttövettä esikäsitellään?

Kattilan syöttövedestä poistetaan epäpuhtaudet käänteisosmoosilla (RO) ennen syöttövesisäiliöön johtamista.

**5 Onko Meilahden voimakeskuksen höyrykattiloita mahdollista hyödyntää kiinteistön lämmityksessä esim. varavoi-
mana?**

Ei ole. Kuitenkin tällä hetkellä lauhteenpoiston yhteydessä syntyvää hönkä-
höyryä hyödynnetään mm. käyttöveden lämmityksessä.

**6 Minkä tyyppisiä lauhteenpoistimia sairaaloiden höyry- ja
lauhdeverkostoissa tulisi käyttää? Minkälaisia lauhteenpois-
timia Meilahden höyryverkostossa käytetään?**

Käytössä olevista lauhteenpoistimista suurin osa on uimurilauhteenpoistimia,
jonka lisäksi verkostosta löytyy myös termisiä lauhteenpoistimia.

Uimurilauhteenpoistimia käytetään lauhdekuormien ollessa suuria, kuten esi-
merkiksi höyrylinjojen vesityksien yhteydessä. Termisiä lauhteenpoistimia käy-
tetään usein höyryverkostoon kytkettävien laitteiden, kuten esimerkiksi auto-
klaavien ja keittopatojen, yhteydessä.

**7 Mitä tulisi huomioida lauhteenpoiston suunnittelussa? Huo-
mioidaanko lauhteenpoistimien huollettavuus tarpeeksi hy-
vin?**

Lauhteenpoistoja tulee olla linjoissa riittävän tiheästi, jotta estetään lauhteen ke-
rääntyminen putkistoon. Kaikki putkistossa tehtävät korkeuden muutokset tulee
varustaa vesityksellä. Lauhteenpoistimien huollettavuus huomioidaan yleensä
hyvin. Lauhteenpoistimet liitetään verkostoon laippaliitoksilla ja laippatiivisteiden
valinnassa tulee huomioida järjestelmän vaatimukset.

Lauhteenpoistossa kannattaa hyödyntää markkinoilla tarjolla olevia tehdasval-
misteisia lauhteenpoistinpaketteja, joissa sulku- ja yksitievientiilit, lianerotin
sekä lauhteenpoistin on jo tehtaalla koottu yhdeksi kokonaisuudeksi. Tällöin työ-
maalla asentajan tehtäväksi jää ainoastaan yhden komponentin asennus putkis-
toon ja vältetään ylimääräisiltä putkiliitoksilta. Tällaisia on tarjolla lauhteenpoistin
valmistajista ainakin Spiraxilla.

8 Kuinka usein lauhteenpoistimia tarkastetaan/huolletaan/uusitaan?

Meilahden höyry- ja lauhdeverkoston lauhteenpoistimet tarkastetaan kaksi kertaa vuodessa. Tarkastuksien perusteella lauhteenpoistimia huolletaan ja uusitaan tarvittaessa.

9 Kuinka suuri osa lauhteesta saadaan Meilahden höyryverkostossa palautettua kattilalle?

Arviolta noin 90 %. Hukkaan menevä osuus on hönkähöyryä, jota ei tällä hetkellä pystytä hyödyntämään kiinteistössä.

10 Mitä lauhteenpalautuksessa tulee huomioida? Miten lauhteenpalautus on toteutettu Meilahden höyryverkostossa?

Pumpatut ja painovoimaiset lauhdelinjat tulee johtaa erikseen yhteiselle lauhdetukille, josta kerätty lauhde palautetaan lauhdesäiliöön mahdollisuuksien mukaan joko pumppaamalla tai painovoimaisesti. Pumppuina käytetään mekaanisia lauhdepumppuja, jotka hyödyntävät höyryä pumppauksessa.

11 Miten hönkähöyryä voidaan hyödyntää?

Hönkähöyryllä voidaan valmistaa mm. lämmintä käyttövedettä tai lämmitysverkostojen menovettä. Meilahden höyry- ja lauhdeverkostoissa syntyvää hönkähöyryä hyödynnetään pääasiassa lämpimän käyttöveden valmistukseen. Hönkähöyryn hyödyntäminen olisi hyvä ottaa huomioon mahdollisimman varhaisessa vaiheessa hanketta, jotta voidaan varmistua, että mahdollisimman suuri osa syntyvästä hönkähöyrystä voidaan hyödyntää.

12 Mihin suunnittelijan pitäisi kiinnittää erityistä huomiota höyry- ja lauhdejärjestelmiä suunnitellessa?

Vesitykset ovat varmasti yksi tärkeimmistä asioista, jotta höyryjärjestelmä toimii oikein. Mikäli vesitykset ovat puutteellisia, kulkeutuu höyryn mukana vettä käyttökohteisiin, jonka seurauksena laitteet eivät toimi oikein.

Putkiston suunnittelussa tulee muistaa lämpölaajenemisen tasaus (kiintopisteet ja paisuntalenkit). Käytäntö on osoittanut, että tasauksessa hyödynnettävät paljetasaimet ovat monesti putkistojen heikoin lenkki, eivätkä ne ole kovin pitkäikäisiä, joten lämpölaajenemisen tasaus tulee toteuttaa paisuntalenkeillä aina kun mahdollista.

Laskelma: Lauhteen ja paisuntahöyryn talteenoton kustannus- ja CO₂-päästövähennyspotentiaali

Kulutuslaite	Höyryvirta (kg/h)	Höyrynpaine (bar.g)	Lauhepaine (bar.g)	Hönlämpövirran osuus lauhteesta (%)	Lauhevirta (kg/h)	Hönlämpövirta (kg/h)
Sairaalavälineidenpesukone	30	4	0	10 %	27,1	2,9
Sairaalavälineidenpesukone	30	4	0	10 %	27,1	2,9
Sairaalavälineidenpesukone	90	4	0	10 %	81,2	8,8
Sairaalavälineidenpesukone	30	4	0	10 %	27,1	2,9
Desinfiointi huuhtelulaite	7,2	4	0	10 %	6,5	0,7
Pyykinpesukone	50	8	0	14 %	42,8	7,2
Pyykinpesukone	50	8	0	14 %	42,8	7,2
Pyykinpesukone	84	8	0	14 %	71,9	12,1
Pyykinpesukone	84	8	0	14 %	71,9	12,1
Sairaalavälineiden pesukone	30	4	0	10 %	27,1	2,9
Desinfiointi huuhtelulaite	7,2	3	0	8 %	6,6	0,6
Desinfiointi huuhtelulaite	7,2	3	0	8 %	6,6	0,6
Desinfiointi huuhtelulaite	7,2	3	0	8 %	6,6	0,6
Desinfiointi huuhtelulaite	7,2	3	0	8 %	6,6	0,6
Desinfiointi huuhtelulaite	7,2	3	0	8 %	6,6	0,6
Desinfiointi huuhtelulaite	7,2	3	0	8 %	6,6	0,6
Desinfiointi huuhtelulaite	7,2	3	0	8 %	6,6	0,6
Sairaalavälineiden pesukone	30	3	0	8 %	27,5	2,5
Desinfiointi huuhtelulaite	7,2	3	0	8 %	6,6	0,6
Sairaalavälineidenpesukone	150	3	0	8 %	137,6	12,4
Vaunujenpesukone	150	3	0	8 %	137,6	12,4
Yhteensä	880,0			11,7 %	787,7	92,3

Oletettu laitoksen käyttöaste	25 %
Oletettu höyrykattilan hyötysuhde*	90 %
Oletettu kaasun hinta*	7,50 €/GJ
Oletettu veden ja veden käsittelyn kustannus*	1,00 €/m ³
Maakaasun CO ₂ -päästökerrin	55,3 kg/GJ

	Lauhe	Paisuntahöyry	Yhteensä
Lämpöenergia, netto (GJ/a)	722	541	1263
Lämpöenergia, brutto (GJ/a)	802	601	1403
Lämpöenergia, brutto (MWh/a)	223	167	390
Kustannussäästöpotentiaali (€/a)	7 741,54 €	4 709,89 €	12 451,43 €
CO ₂ -päästövähennyspotentiaali (t/a)	44,4	33,2	77,6

* Lähde: A Practical Guide to Steam and Condensate Engineering, 2018.4, uudistettu painos. Saksa: ARI-Armaturen GmbH & Co. KG.