



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Ilari Lund

# Höyry- ja lauhdelaboratorion suunnittelu ja jatkokehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

25.3.2020

Tekijä Otsikko	Ilari Lund Höyry- ja lauhdelaboratorion suunnittelu ja jatkokehitys
Sivumäärä Aika	36 sivua + 3 liitettä 25.3.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	kemiantekniikka
Ohjaajat	lehtori Timo Seuranen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja jatkokehittää Oy Konwell Ab:lle tehtävää höyry- ja lauhdedemonstraatiolaboratoriota Metropolia Ammattikorkeakoulun Leiritien kampuksen prosessilaboratorioon. Laboratorion tarkoitus on toimia opetusvälineenä yritykselle ja ammattikorkeakoululle.</p> <p>Höyry- ja lauhdelaboratorion jatkokehityskohteena oli prosessiautomaation toteutus, höyryn saattolinjaston, lauhteennostinlinjan, lauhteen jäähdytyksen ja viemäroinnin suunnittelu. Prosessiautomaatio toteutettiin yhteistyössä kahden Metropolian energia- ja automaatiotekniikan opiskelijan Jari Ruuskan ja Henna Sotalan kanssa.</p> <p>Työn toteutuksen aikana Metropolian Leiritien kampuksen prosessilaboratoriossa tehtiin remonttia, jonka seurauksena höyry- ja lauhdelaboratorion alkuperäistä sijoitusaluetta jouduttiin muuttamaan. Tämä aiheutti muutostarpeita alkuperäiseen höyry- ja lauhdedemonstraatiolaboratorion malliin. Nämä muutokset toteutettiin osana tätä työtä.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena syntyi metallipajalle toimitusvalmiit isometripiirustukset höyry- ja lauhdelaboratoriosta ja siihen liittyvistä prosessilaboratorioon sijoitettavista saatto- ja poistoputkiliinjoista. Lisäksi valmistui asennusvalmis laboratoriot varten räätälöity Siemensin Simatic -automaatiologiikan käyttöliittymän ja järjestelmään tarvittavien laitteiden tilauslista.</p>	
Avainsanat	höyry, lauhde, laboratorio, koulutuslaitteisto, lauhteenpoistin

Author Title	Ilari Lund Development of steam and condensate system
Number of Pages Date	36 pages + 3 appendices 25 March 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Bio and chemical engineering
Professional Major	Chemical engineering
Instructors	Timo Seuranen Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to design and further develop the steam and condensate laboratory system made for Konwell Ltd. The laboratory will be installed in the process laboratory of Metropolia University of Applied Sciences in the Myyrmäki campus. The laboratory serves as an educational equipment for the school and the company.</p> <p>The development consisted of designing the process automatization system, steam feeding line, condensate lift's pipeline and storage tank, condensate cooling system, and sewage lines. The Process automatization was developed in co-operation with two automatization degree programme students.</p> <p>When this thesis project was conducted, the process laboratory was been renovated, which forced the relocation of the steam and condensate laboratory from the originally destined position to a different one. This move required changes in the steam laboratory itself, which were made as part of this thesis.</p> <p>This thesis resulted in complete isometric drawings for steam and condensate laboratory and for its external pipelines. In addition, also the implementation of Siemens Simatic automatization logic system with tailored user interface was created bundled with complete order list for all the equipment the system requires.</p>	
Keywords	steam, condensate, demonstration equipment, steam trap

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Oy Konwell Ab	1
3	Höyry- ja lauhdejärjestelmä	2
3.1	Höyrykattila	2
3.2	Höyryputkisto	3
3.3	Höyryputkiston vesitys	4
3.4	Paineiskut höyrylinjastossa	5
4	Lauhteenpoistimet	7
4.1	Lauhteenpoistin prosessissa	7
4.1.1	Mekaaniset lauhteenpoistimet	7
4.1.2	Termiset lauhteenpoistimet	9
4.1.3	Termodynaamiset lauhteenpoistimet	11
4.2	Lauhteenpoistimen valinta	12
4.3	Lauhteenpoistimien sijoittaminen höyrylinjastoon	12
4.4	Lauhteenpoistimien kunnon seuranta ja ylläpito	13
5	Höyry- ja lauhdelaboratorion sijoitus prosessilaboratorioon	14
6	Höyry- ja lauhdelaboratorion prosessikuvaus	16
6.1	Putkisto ja prosessilaitteet	16
6.2	Päähöyrylinja	16
6.3	Höyryn kulutuskohde	17
6.4	Lauhdelinjasto	18
6.5	Jäähdytysvesilinjat	19
6.6	Paineilmalinja	20
6.7	Lauhteennostin ja lauhteennostolinja	20
7	Höyry- ja lauhdelaboratorion saatto- ja poistolinjat	21

7.1	Höyrykattila	21
7.2	Höyryn saattolinjasto ja virtausmittaus	21
7.3	Höyrynpuskurisäiliö	22
7.4	Höyrynsaattolinjan vesitys	24
7.5	Paineilman saattolinja	25
7.6	Jäähdytysveden viemärointilinjasto	26
7.7	Kuuman lauhteen viemärointilinjasto	26
8	Höyry- ja lauhdelaboratorion ja prosessilaboratorion 3D-mallit	27
8.1	Höyry- ja lauhdelaboratoriokehikko	27
8.2	Prosessilaboratorio	30
9	Automatisaatio	31
9.1	Yhteistyö sähkö- ja automaatiotekniikan opiskelijoiden kanssa	31
9.2	Automatisaation tavoitteet	31
9.3	Automaationjärjestelmälogiikan valinta	33
9.4	Projektiryhmän tulokset	33
10	Yhteenveto	34
	Lähteet	35
	Liitteet	
	Liite 1. Levylämmönsiirtimen mitoituslaskelmat ja määrittäminen	
	Liite 2. Höyryn puskurisäiliön mitoituslaskelmat	
	Liite 3. Viemäroitävien vesivirtausten lämpötilalaskelmat	

## Lyhenteet

bara	bar absolute. Bar-mittayksikkö absoluuttisesti ilmaistuna.
bar(g)	bar gauge. Bar-mittayksikkö mittarilukeman mukaan ilmaistuna. 0 barg vastaa 1 baaria absoluuttisesti ilmaistuna.
DN	Putken nimelliskoko. Vastaa putken sisähalkaisijaa.
ISBL	Inside battery limits. Rajattu tarkastelukohteen alue. Esimerkiksi prosessi-laite, tuotantoyksikkö tai -alue.
OSBL	Outside battery limits ISBL rajatun tarkastelukohteen ulkopuolinen alue.
ORC	Organic Rankine Cycle. Lämpövoimakone tai -laitos, joka muuttaa lämpöä mekaaniseksi energiaksi.
Oyj	Julkinen osakeyhtiö. Yhtiö, jonka osakkeilla voidaan käydä kauppaa julkisesti esimerkiksi pörssissä.
PI-kaavio	Putki- ja instrumentointikaavio. Tarkastelukohteen toiminnallista kokonaiskuvaa havainnollistava kaavio tai piirustus.
PN	Paineluokka. Osoittaa putken tai paineastian paineen kestoluokan.

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja jatkokehittää Oy Konwell Ab:lle suunniteltua höyry- ja lauhdelaboratoriota Metropolian AMK:n Leiritien kampuksen prosessilaboratorioon. Laboratorion tarkoitus on toimia opetusvälineenä molemmille tahoille. Konwell tulee hyödyntämään laitteistoa muutamia kertoja vuodessa järjestämälleen höyry- ja lauhdekursseilla. Metropolia tulee käyttämään laitteistoa kemian prosessitekniikan kursseilla ja mahdollisissa opiskelijaprojekteissa.

Höyry- ja lauhdejärjestelmän päätarkoituksena on havainnollistaa neljää eri toimintamekanismeilla toimivaa lauhteenpoistinta ja höyry- ja lauhdejärjestelmän dynamiikkaa. Demonstroitavat lauhteenpoistintyyppit ovat uimuri-, kapseli-, bimetalli- ja termodynaaminen lauhteenpoistin.

Höyry- ja lauhdelaboratorion jatkokehityskohteena oli prosessiautomaation toteutus, höyryn saattolinjaston, lauhteenostin linjan, lauhteen jäähdytyksen ja viemäröinnin suunnittelu. Suunnittelulle oli paljon rajoitteita johtuen sijoituskohteessa olevista esteistä. Prosessiautomaatio toteutettiin yhteistyössä kahden Metropolian energia- ja automaatiotekniikan opiskelijan kanssa.

## 2 Oy Konwell Ab

Oy Konwell Ab on vuonna 1982 perustettu suomalainen perheyrittys. Konwellin pääliiketoiminta keskittyy teollisuusventtiilien, prosessiautomaation kentälaitteiden ja muiden prosessiteollisuuden laitteiden maahantuontiin ja jälleenmyyntiin. Tuotteiden myynnin ohella Konwell tarjoaa asiakkailleen myös teknisen tuen, asennus- ja huoltopalveluja sekä höyry- ja lauhdeprosessijärjestelmiin keskittyvää koulutusta.

Konwell tarjoaa myös asiakkailleen energiaratkaisuja keskittyen ORC-järjestelmiin, lauhdevoimalaitoksiin ja mikroturbiineihin. Energiaratkaisujen tarkoituksena on tehostaa energiatehokkuutta ehkäisemällä ja hyödyntämällä prosesseissa tapahtuvia energiahäviöitä.

Konwellin myynti keskittyy koko Suomeen Helsingin pääkonttorin sekä Nokian, Kouvolan ja Oulun sivukonttorien kautta. Suomen toiminnan ohella Konwellin kohdealueena on Baltian maat, joiden myyntiä hoidetaan Tallinnan tytäryhtiöstä käsin. Konwellin asiakas-kuntaan kuuluvat suuret ja pienemmät teollisuusyritykset ja teollisuusratkaisuihin keskit-tyvät yritykset, joista esimerkkinä Neste Oyj, Wärtsilä Oyj ja Valmet Oyj. [1.]

Konwellin liikevaihto oli 16,1 miljoonaa euroa vuonna 2018 ja henkilöstömäärä 34 [2]. Pääkonttorin yhteydessä sijaitsee Konwellin tuotevarasto, jossa säilötään bulkkituotteita ja varaosia nopean toimituksen takaamiseksi. Varaston yhteydessä toimii asennuspaja, jossa mm. tarkastellaan reklamoituja tuotteita ja kasataan toimilaitteventtiiliyhdistelmiä toimitusvalmiiksi. [3.]

### 3 Höyry- ja lauhdejärjestelmä

#### 3.1 Höyrykattila

Höyry- ja lauhdejärjestelmän tarkoituksena on toimia energian tuotto- ja siirtoprosessina osana laajempaa prosessikonaisuutta. Höyryjärjestelmä alkaa höyrykattilasta, johon tuodaan energiaa. Energia siirretään kattilassa olevaan veteen nostaan sen lämpötilaa, kunnes vesi saavuttaa kiehumispisteensä. Kattilasta syntyvä kylläinen höyry ohjataan putkilinjastoa pitkin höyrynkäyttökohteeseen, jossa höyryyn varastoitunut energia hyö-dynnetään, jolloin höyry lauhtuu takaisin nesteeksi.

Veden höyrystyminen vaatii paljon energiaa, 2256 kJ/kg 101 kPa:n paineessa eli ilman normaalipaineessa [4]. Tämä energia voidaan vastaavasti vapauttaa käyttökohteessa veden tiivistyessä takaisin nesteeksi. Tämän vuoksi vesihöyry toimii hyvänä väliaineena energian siirrolle. Vesihöyryä on myös mahdollista tulistaa lämmittämällä sitä yli kylläi-syysasteen, mutta tällöin höyryn lämmönsiirtokyky laskee erittäin alhaiseksi, jolloin se ei sovellu hyvin energian siirtoon.

Kattilassa käytettävä vesi on ennen höyrystämistä mahdollisuuksien mukaan puhdistet-tava epäpuhtauksista, joiden ei haluta päätyvän höyrylinjastoon, kuten liuennutta hap-pea, hiilidioksidia ja suoloja. Puhdistus on mahdollista toteuttaa esilämmittämällä



käyttövesi etukäteen, jotta veteen liennut ilma haihtuu pois ilmaan tai vaihtoehtoisesti veteen voidaan sekoittaa epäpuhtauksien liukoisuutta vähentävää kemikaalia. Ilman päätyminen höyryn sekaan haittaa höyryn lämmönsiirtoa käyttökohteessa ja aiheuttaa korroosiovaurioita putkistossa laskien prosessin energiansiirtokapasiteettia.

Kattilaveden esikäsitteystä huolimatta höyrylinjastoon muodostuu ilmaa prosessiolosuhteiden vaihteluiden seurauksena kaikkialta linjaston yhteydessä olevista prosesseista. Mikäli ilma pääsee vapaasti sekoittumaan höyryn kanssa, sitä ei voida järkevästi poistaa linjastosta ennen kuin se liukenee lauhteeseen. Kun sekoittuminen on tapahtunut, ilma voidaan poistaa lauhteen mukana lauhteenpoistimilla. Suuremmat ilmamäärät tarvitsevat erillisen ilmanpoiston, mutta yleensä höyryjärjestelmään päätynyt ilma saadaan poistettua lauhteenpoistimien avulla. [5.]

Kattilaa valittaessa on olennaista keskittyä sen höyryntuotantokapasiteettiin ja mahdollisiin ajopaineisiin. Nämä viitearvot määrittävät höyryssä kuljetettavan energiamäärän, jonka perusteella tai johon perustuen voidaan mitoittaa höyryn kulutuskohte oikeaksi.

Viitearvojen ollessa tiedossa voidaan keskittyä vertailemaan eri kattilaratkaisujen muita ominaisuuksia. Näistä mainittakoon esimerkiksi höyryn virtauksen automaattinen ohjaus ja paineen rajoittaminen, veden esipuhdistaminen ennen prosessin käynnistämistä ja automaattista pinnansäätöä.

### 3.2 Höyryputkisto

Höyryputkiston materiaalivalinnoissa vaikuttaa prosessissa käytetty suunnittelupaine ja höyryn seassa olevien epäpuhtauksien määrä. Yleensä kattilassa höyrystettävä prosessivesi esikäsitellään epäpuhtauksien vähentämiseksi, jolloin niistä on harvoin haittaa. Höyryn tarpeen määrä, ajopaine ja mahdolliset putkitusreitit vaikuttavat putkiston kokoon. Korkeassa paineessa vesihöyryn tilavuus on pienempi, mikä mahdollistaa pienemmän putkikoon virtausmäärää vähentämättä.

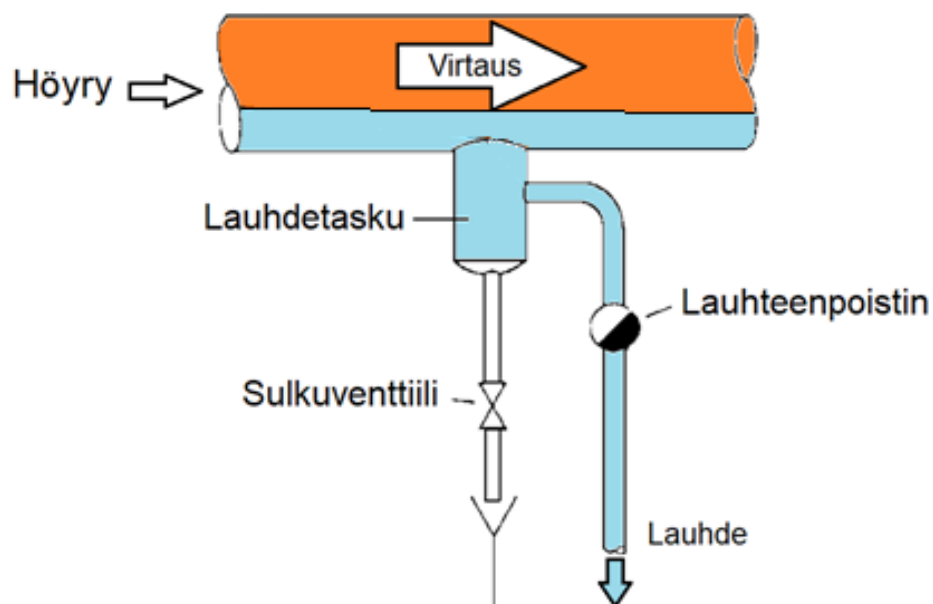
Vesihöyryputkistot ovat aina kuumen väliaineen putkistoja, jolloin ne tulee eristää hyvin lämpöhäviöiden minimoimiseksi ja turvallisuuden varmistamiseksi. Tästä huolimatta höyryputkistossa tapahtuu aina pientä lämpöhäviötä, joka johtaa kylläisen höyryn osittaiseen

lauhtumiseen vedeksi. Muodostunut lauhde haittaa höyryn virtausta ja alentaa virtauksen energiasisältöä. Tämän vuoksi lauhde on poistettava höyryputkistoista linjavesityksillä.

### 3.3 Höyryputkiston vesitys

Vesitykseksi kutsutaan höyrylinjastosta tehtäviä lauhteenpoistoja. Höyry alkaa lauhtua vedeksi edetessään putkilinjastossa lämpöhäviöiden seurauksena. Lauhde on ohjattava pois höyryputkista, koska kertyessään se aiheuttaa höyryputkiin ylimääräistä lämpöhäviötä ja voi luoda paineiskuja sekä aiheuttaa korroosiovaurioita [6].

Höyryputkiston vesitykset tulee sijoittaa mahdollisuuksien mukaan lauhtetaskuihin. Näin syntynyt lauhde pääsee valumaan taskuihin vähentäen lauhteen määrää höyryvirtauksessa. Esimerkki lauhtetaskusta on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Lauhtetasku höyryputkessa.

Lauhtetaskut on mitoitettava riittävän isoiksi, jotta lauhde pääsee poistumaan lauhteenpoistimelle toivotulla tavalla. Mitä suuremmaksi höyrylinjan kokoluokka kasvaa sitä

tärkeämpää on huolehtia linjan riittävästä vesityksestä. Nyrkkisääntönä voidaan pitää vesitysten sijoittamista vähintään 50 metrin välein ja jokaiseen nousukohtaan [7].

Laajoissa prosessikokonaisuuksissa, kuten voimalaitoksissa, korkeapaineisesta höyrylinjasta poistettu lauhde voidaan ohjata matalapaineisempaan höyrylinjastoon, jolloin lauhde höyrystyy paineen alenemisen seurauksena ja yhtyy höyryvirtaukseen. Näin lauhteen sisältämä energia saadaan hyödynnettyä tehokkaasti prosessissa.

Prosessia käynnistettäessä lauhdetta syntyy enemmän kuin prosessin ollessa jatkuvassa ajossa, koska putkiston lämpeneminen aiheuttaa ylimääräisen lämpöhäviön. Tämä on syytä huomioida höyryputkiston vesitystä suunniteltaessa.

### 3.4 Paineiskut höyrylinjastossa

Höyryputkistoon kohdistuu paine- tai vesi-iskuja, jotka syntyvät tilavuudeltaan paljon suuremman vesihöyryn lauhtuessa paljon pienemmän tilavuuden omaavaksi neste-mäiseksi vedeksi. Tämä synnyttää alipainealueen, jonka ympäröivä lauhde täyttää hetkessä, antaen lauhteelle suuren virtausnopeuden, luoden paineiskun veden iskiessä putkea tai putkistolaitetta vasten. Mitä suuremmasta vesimassasta on kyse, sitä voimakkaampi paineisku on.

Paineiskuja tapahtuu, kun lauhdetta pääsee kertymään liikaa höyryputkeen. Näin käy etenkin, jos höyrylinjassa on puutteellinen lauhteenpoisto, tai höyrylinjan koko on alimitoitettu. Tällöin lauhde vaikeuttaa höyryä virtaamasta lauhteen ohitse tai muodostaa lauhdeaallon. Nopeammin virtaava höyry alkaa tällöin työntämään lauhdemassa suurella nopeudella ja aiheuttaa paineiskun lauhdemassan osuessa putkiston käyrää tai venttiiliä vasten. Tämän kaltaisia iskuja kutsutaan hydraulisiksi iskuiksi. [8.]

Paineiskut on havaittavissa aistillisesti putkista lähtevistä vasaroivista hakkaus- tai paukeäänistä. Voimakkaat paineiskut ovat joissain tapauksissa myös nähtävissä putkiston liikkeestä iskun yhteydessä.

Pahimmillaan paineiskun voima voi olla niin suuri, että se vaurioittaa vakavasti osuma-kohtaansa aiheuttaen jopa vuodon putkistoon. Paineiskuista muodostuvat paineaallot

voivat myös edetä linjastossa venttiileihin ja putkistoinstrumentteihin vahingoittaen tai jopa rikkoen ne. Paineiskujen voimakkuus voidaan karkeasti laskea esimerkiksi Zhukovskyn kaavalla (kaava 1). [6; 8].

$$\Delta p = \rho * c * \Delta v \quad (1)$$

Esitetyssä kaavassa 1  $\Delta p$  on muodostuvan paineiskun voima (Pa),  $\rho$  on nestemäisen väliaineen tiheys  $\text{kg/m}^3$ ,  $c$  äänen nopeus väliaineessa ja  $\Delta v$  virtauksen nopeuden muutos.

Paineiskujen syntymistä voidaan ehkäistä hyvällä putkistosuunnittelulla. Tämä on parempi ratkaisu käsitellä paineiskujen aiheuttamaa ongelmaa kuin varustaa putkisto kestävämmillä ja kalliimmilla materiaaleilla. Paineiskuja voidaan ehkäistä mm. huolehtimalla höyrylinjaston riittävän tiheästä ja oikein sijoitetuista vesityksistä, venttiileillä, sulkuventtiilien hitaalla operoimisella, putkiston riittäväällä kaltevuudella virtaussuuntaan nähden, välttämällä keskeisiä linjakoon supistuksia ja putkistoon nähden alaspäin asennettavia lianerottimia. [6.]

Paineiskujen aiheuttama ongelma tulee aina huomioida höyrylinjaston instrumentoinnissa suojaamalla iskuille herkät mittareiden anturit korkeilta lämpötiloista ja paineiskuja vastaan. Tämä voidaan toteuttaa korkeiden lämpötilojen osalta liittämällä mittarit putkistoon u- tai 360-asteisen kierroksen tekevällä saporputkella. Putken tehtävä on luoda nestekerros höyrylinjan ja mittausanturin väliin.

Tämä nestekerros toimii välittäjänä putken mittausanturipäädyssä olevalle ilmalle. Kun paine putkistossa kasvaa, nestekerros painaa ilmaa kasaan, nostaen sen painetta ja antaen näin kasvavan painemittauslukeman. Ilman tarkoitus on toimia lämpöeristeenä mittausanturin ja kuumen lauhteen välillä.

## 4 Lauhteenpoistimet

### 4.1 Lauhteenpoistin prosessissa

Lauhteenpoistimien tehtävä höyry- ja lauhdeprosessissa on poistaa höyrylinjoista niihin syntyvää lauhdetta, koska lauhde haittaa prosessin toimintaa ja voi vahingoittaa putkistoa ja sen laitteistoa. Lauhteenpoistimia on useilla eri toimintamekanismeilla eri käyttötarkoituksiin. Toimintamekanismi vaikuttaa, miten poistin voi olla asennettuna putkistoon, miten lauhteenpoistin reagoi lauhdelastiin, höyryputkiston paineen vaihteluun ja pysyykö poistin toimimaan myös ilmanpoistimena. [9.]

Lauhteenpoistimet voidaan jakaa toimintatapojensa mukaisesti kolmeen eri tyyppiin:

- mekaanisiin,
- termisiin
- termodynaamisiin.

Höyry- ja lauhdelaboratoriossa havainnollistettavista lauhteenpoistimista Gestran MK-45 -kapselilauhteenpoistin ja BK-45-bimetallilauhteenpoistin ovat termisiä, UNA-16-, uimurilauhteenpoistin on mekaaninen ja DK-45 on termodynaaminen.

#### 4.1.1 Mekaaniset lauhteenpoistimet

Mekaanisten lauhteenpoistimien toiminta perustuu mekaaniseen liikkeeseen. Mekaaniset lauhteenpoistimet soveltuvat sijoitettavaksi erityisesti höyrynkäyttökohteen jälkeen, koska ne kykenevät poistamaan lauhdetta suurella kapasiteetilla lauhteen muodostumisen mukaan yltäen jopa 16 tonniin tunnissa pienilläkin paine-erolla [5]. Lisäksi mekaaniset poistimet sopivat hyvin höyrylinjastoihin, joissa lämpötila tai paine voivat muuttua prosessin käydessä.

Mekaanisista lauhteenpoistimista on esimerkkinä Gestran uimurilauhteenpoistinsarja UNA. Uimurilauhteenpoistimien toiminta perustuu uimuripalloon, joka avaa tai sulkee

poistoaukon sulkukuulaa. Lauhteenpoistimen ollessa alhaisessa lämpötilassa, esimerkiksi höyrylinjan käynnistämistilanteessa poistimen sisällä oleva kalvosäädin avautuu. Tällöin säädin päästää ilman ulos poistimesta ja höyryputkilinjastosta. [10; 11.]

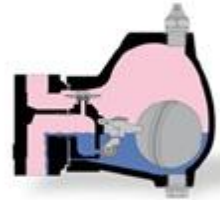
Lauhdepinnan nostaessa uimurin ylös, sulkukuula poistuu poistoaukon edestä päästäten lauhteen virtaamaan poistimesta pois. Kuva 2 havainnollistaa uimurin toimintaperiaatteen. [10; 11.]

## GESTRA UNA-sarjan toiminta

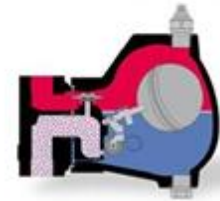
Toiminta ilman- ja lauhteenpoistimena, kun järjestelmä käynnistyy



Ilmanpoisto normaalioperoinnin aikana.



Lauhteen poistuminen normaalioperoinnin aikana.



Konwell

Kuva 2. Gestran UNA -lauhteenpoistimen toimintamekanismi. [11.]

Käytössä vähän rasittuvan toimintamekanisminsa ansiosta uimurilauhteenpoistimen käyttöikä voi olla 2–5 kertaa pidempi kuin termisillä poistimilla [10]. Uimurilauhteenpoistimen valinnassa tulee huomioida virtaava väliaine ominaisuuksineen ja paine-ero höyry- ja lauhdelinjoissa, joiden mukaan valitaan poistimeen sopivat materiaalit.

Haittapuolena uimurilauhteenpoistimissa on, että ne eivät sovellu sijoitettavaksi pakka- sille alttiiseen ulkoilmaan lauhteen jäätyminen takia ilman saattolämmitystä.

#### 4.1.2 Termiset lauhteenpoistimet

Termisen lauhteenpoistimen toiminta perustuu nimensä mukaan lämpötilaan tai lämpötilaeroihin. Termiset lauhteenpoistimet voidaan jakaa kapselilauhteenpoistimiin ja bimetallilauhteenpoistimiin. Molemmat poistimet toimivat kylläisen höyryn rajakäyrän alapuolella ja tämän vuoksi niiden toimintaa häiritsee paineen muuttuminen höyrylinjastossa, tehden poistimista hitaammin reagoivia mekaanisiin verrattuina. Tämä on huomioitava niiden käyttöä harkitessa.

Kapselilauhteenpoistimet soveltuvat kylläisen höyryn linjavesityksiin alle 40 paineluokan höyryputkistoihin. Kapselilauhteenpoistimista voidaan tehdä suurteholauhteenpoistimia, joiden läpivirtaukseksi voidaan saada jopa kymmeniä tuhansia kiloja tunnissa [5]. Nopein poistimien toiminta saavutetaan asettamalla poistimen säädin toimimaan hyvin lähelle kylläisen höyryn rajakäyrää, keskimäärin noin 5 °C sen alapuolelle [9].

Kapselilauhteenpoistimen toimintamekanismi perustuu vesialkoholiseosta sisältävään monokalvosäätimeen. Lauhteenpoistimen ollessa kylmillään alkoholiseos on nestemäisenä säätimessä, jolloin säädin ohjaa lauhteenpoistimen sulkuelimen aukioloasentoon. Poistimen lämmitessä kuumen lauhteen virtauksen johdosta alkoholiseos alkaa höyrystyä, jolloin paine kalvosäätimessä kasvaa ohjaten sulkuelintä virtausaukon eteen. Juuri ennen kuin poistimessa virtaavan lauhteen lämpötila saavuttaa kylläisyyspisteensä, oikein mitoitettu säädin sulkee lauhteenpoistin täysin, koska vesialkoholiseoksen kiehumispiste saadaan asetettua tarkasti hieman lauhdevettä alhaisemmaksi, yleensä noin 10–15 °C:seen. [9.]

Alkoholiseoksen vahvuuden säädöllä ja kalvosäätimen mallin valinnalla saadaan asetettua seoksen kiehumispiste halutun verran kylläisen höyryn rajakäyrän alapuolelle ja sulkuelimen toiminta halutunlaiseksi. Esimerkiksi mikäli lauhteen patoaminen ei tuota ongelmaa prosessille ja höyryn hävikki halutaan minimoida mahdollisimman hyvin, voidaan lauhteenpoistimen säädin asettaa toimimaan jopa 30 °C kylläisen höyryn rajakäyrän alapuolelle [9]. Tällainen viritys soveltuu esimerkiksi tuotelinjoiden saattolämmityksiin.

Bimetallilauhteenpoistimet ovat vuorostaan suuriakin paineita ja höyryn tulistamisen kestäviä lauhteenpoistimia, joiden käyttökohteiksi soveltuvat esimerkiksi voimalaitosten

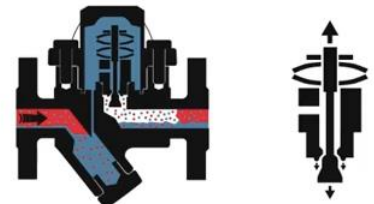
linjavesitykset [5]. Poistimien toimintaperiaatteena on sen sisällä olevien metallilevyjen lämpölaajeneminen (kuva 3). Metallilevyt toimivat poistimen auki-kiinni-asennon säätimenä ohjaten sulkukaraa. Laajentuessa metallilevyt käpristyvät toisiinsa nähden työntäen sulkukaraa poistimen poistoaukkoon eli poistimen kiinniasentoa päin. Näin ollen lauhteenpoistin on täysin auki-asennossa ollessaan kylmillään päästäen käynnistyksessä ilman ja kylmän lauhteen ulos linjastosta.

## GESTRA BK -toiminta

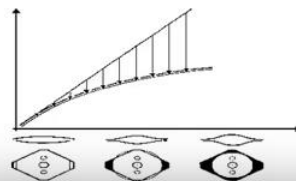
Laitoksen ylösajon aikana kylmä lauhte ja lauhtumattomat kaasut virtaavat lauhteenpoistimen läpi. Kaksoismetallit ovat lepoasennossa ja lauhteenpoistimen suutin on täysin auki. Positiivinen paine-ero virtaussuuntaan saa aikaan lauhteenpoistumisen.



Nouseva lauhteen lämpötila saa kaksoismetallit käpristymään toisiinsa nähden (termostaattinen prosessi) liikuttaen karaa kiinni-suuntaan pyrkien sulkemaan suuttimen. Prosessin eropaine ja termovitsäätimen kammiossa syntyvä paisuntahöyry muodostavat sulkusuuttimeen vastakkaisen voiman (termodynaaminen prosessi) pyrkien avaamaan lauhteenpoistinta. Lauhteenpoistin saadaan seuraamaan kylläisen höyryn rajakäyrää



Lähellä kylläisen höyryn rajakäyrää poistin on lähes kiinni. Paine säädinkammiossa alenee ja paisuntahöyryn vaikutus poistuu. Lauhteenpoistin sulkeutuu.



Kuva 3. Gestran BK-sarjan bimetallilauhteenpoistimen toimintaperiaate. [5.]

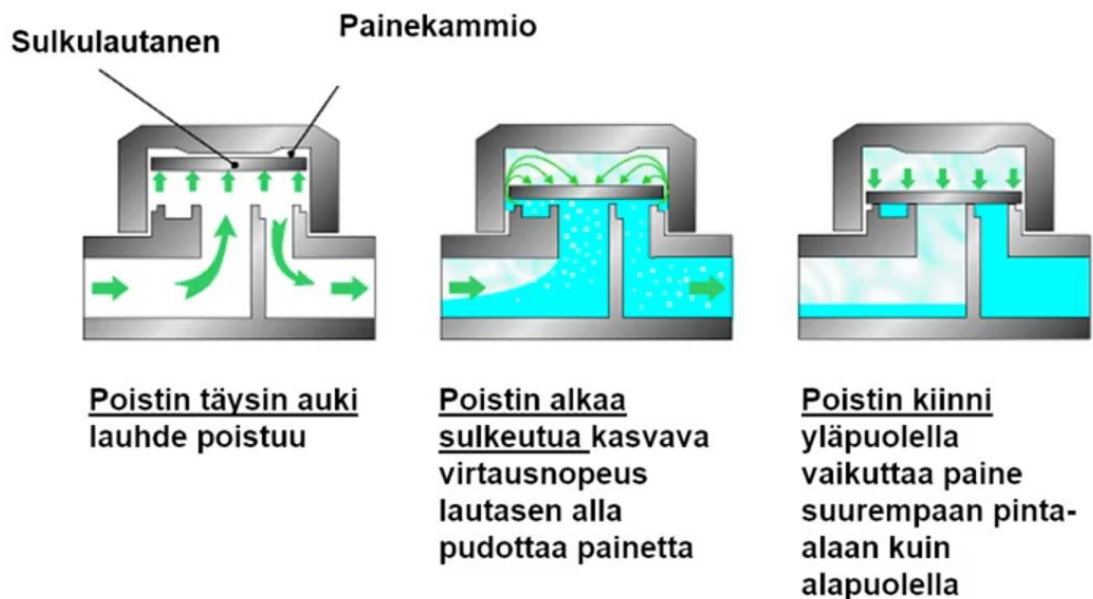
Prosessia ajettaessa ja lämpötilan noustessa eropaine ja metallilevyjen kammiossa syntyvä paisuntahöyry muodostavat sulkuelimen vastakkaisen voiman pyrkien avaamaan poistimen auki-asentoon. Näin lauhteenpoistin saadaan toimimaan 15–20 °C kylläisen höyryn rajakäyrän alapuolelle.

Bimetallilauhteenpoistimet ovat hyvin pienikokoisia ja soveltuvat hyvin moniin käyttökoh-teisiin. Haittapuolena poistimissa on muihin tyypeihin verrattuna alhainen läpivirtauska-pasiteetti, joka voi aiheuttaa patoamisvaaran. Oikeissa käyttökohteissa bimetallilauh-teenpoistin hoitaa tehtävänsä kuitenkin hyvin.



#### 4.1.3 Termodynaamiset lauhteenpoistimet

Termodynaamisessa poistimessa sulkuelimenä toimii sulkulautanen, jonka päällä on painekammio. Poistimen toiminta perustuu sen sulkuelimeen alhaaltapäin tulevan lauhdevirtauksen aiheuttamaan voimaan, joka nostaa sulkuelintä ja avaa näin tien läpivirtaukseen. Lauhdevirtauksen lämpötilan noustessa ja höyrystyessä sen virtausnopeus alkaa kasvaa ja paine laskea. Tällöin höyry hakeutuu painekammioon ja alkaa painaa sulkuelintä kiinni, koska painekammiossa on suurempi pinta-ala sulkuelimeen nähden kuin sen alapuolella (kuva 4).



Kuva 4. Termodynaamisen lauhteenpoistimen toimintaperiaate. [5.]

Lauhteenpoistin pysyy sulkeuduttuaan kiinni, kunnes kammiossa oleva höyry on lauhtunut riittävästi laskien kammion painetta ja sen myötä sulkuelimeen kohdistuvaa sulkuvoimaa. Sulkuvoiman laskiessa alle siihen kohdistuvan virtauksen nostovoiman, sulkuelin alkaa nousta avaten poistimen läpivirtauksella, minkä jälkeen toimintamekanismi toistaa itsensä.

Termodynaaminen lauhteenpoistin soveltuu käytettäväksi linjavesityksissä, mutta sen käytössä ja valinnassa on huomioitava sen toimintamekanismista johtuvat tuorehöyryn häviöt. Lisäksi termodynaamisiin poistimiin vaikuttaa merkittävästi linjaston ulkoiset

tekijät kuten lämpötila ja tuuli. Näiden tekijöiden vuoksi termodynaaminen lauhteenpoistin on harvoin parempi valinta termisien poistimien rinnalla.

#### 4.2 Lauhteenpoistimen valinta

Lauhteenpoistimen oikea valinta on monen tekijän summa. Valintaan vaikuttavat mm. sijoitettavan höyrylinjaston ajopaine ja sen muuttuminen ajon aikana, höyry- ja lauhdelinjan paine-eron suuruus ja lauhteenpoistokapasiteetin tarve. Lisäksi oikein valittuja lauhteenpoistimia voidaan käyttää ilman tai muiden haihtumattomien kaasujen poistamiseen höyrylinjastosta. Asennuspaikan alttius pakkaselle vaikuttaa myös oikean poistintyyppin valintaan. [9].

Esimerkiksi mekaanisia uimurilauhteenpoistimia tulee käyttää lähes poikkeuksetta höyryn käyttökohteen jälkeen, koska toimintamekanisminsa ansiosta uimuripoistin poistaa lauhdetta tehokkaasti sitä mukaa, kun sitä syntyy. Mekaanisen toimintamekanisminsa ansiosta uimuripoistimet ovat hyvin toimintavarmoja ja niiden käyttöikä on termisiä poistimia pidempi. Uimurilauhteenpoistimilla on myös suuri lauhteenpoistokapasiteetti, eli poistimet mahdollistavat lauhteen nopean poiston höyryjärjestelmästä. Riittävä poistokapasiteetti on keskeinen tekijä lauhteenpoistimen valinnassa höyryn kulutuskohteen poistimeksi. Lisäksi mekaanisen lauhteenpoistimen toimintaan eivät vaikuta höyrylinjassa tapahtuvat paineen muutokset. [5; 9.]

Bimettallilauhteenpoistimia suositellaan käytettävän korkeapaineisissa ja tulistetun höyryn linjavesityksissä ja kapselilauhteenpoistimia alle 40 baarin kylläisen höyryn linjavesityksissä. Kapselilauhteenpoistimet soveltuvat käytettäväksi myös joissakin tapauksissa höyryn käyttökohteen jälkeisenä lauhteenpoistimena, esimerkiksi pesuloiden kuivureissa. [5.]

#### 4.3 Lauhteenpoistimien sijoittaminen höyrylinjastoon

Höyrylinjastoa suunniteltaessa on tärkeää huolehtia linjaston riittävästä lauhteenpoistosta eli vesityksestä. Vesitystä käsiteltiin tarkemmin luvussa 3.3. Lauhteenpoistimet tulee sijoittaa aina siten, että paine-ero höyry- ja lauhdelinjan välillä on riittävän suuri

mahdollistamaan lauhteen riittävän ja jatkuvan lauhteen poiston. Ilmanpaineeseen tai matalapaineisiin lauhdelinjoihin johtavat lauhteenpoistimet tulee mahdollisuuksien mukaan sijoittaa painovoima huomioiden, eli lauhdelinjan tulee lähteä suoraan tai lievästi kaltevassa kulmassa maata kohti.

Lauhteenpoistimien käyttöikä voidaan pidentää ja toimintavarmuutta parantaa asettamalla lianerotin sen eteen. Lianerotin tulee asentaa 90 asteen kulmaan putkiston sivulle, koska tällöin se ei täyty lauhteesta, jonka höyry voi imaista mukaansa kulkiessaan sen ohi. Lisäksi suoraan alaspäin asennettu lianerotin voi olla mahdollinen vesi-iskujen aiheuttaja [6]. Lianerotin tarkoitus on estää epäpuhtauksien päätymistä poistimeen.

#### 4.4 Lauhteenpoistimien kunnon seuranta ja ylläpito

Lauhteenpoistimet on syytä tarkastaa säännöllisesti mahdollisten höyryvuotojen varalta. Vuotavat lauhteenpoistimet ovat suuri energiahukan aiheuttaja prosessilaitoksissa etenkin, jos poistin vuotaa höyryn täysin lävitseen. Vuotojen aiheuttamat energiahäviöt aiheuttavat merkittäviä kustannuksia ja voivat johtaa tuotantoprosessin vajaatoimintaan, haitaten tuotantoa.

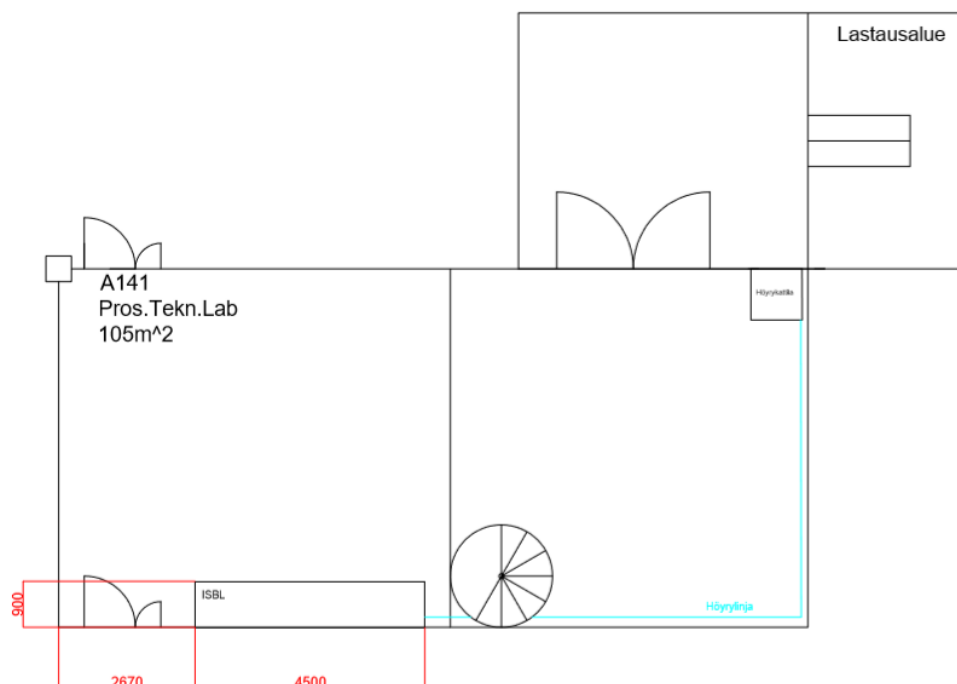
Tuotantoa häiritsevät myös tukkiutuneet tai kiinni juuttuneet poistimet, jotka eivät kykene poistamaan lauhdetta höyrylinjastoista. Tuotantotason ylläpitämiseksi, eli riittävän höyryenergiavirtauksen takaamiseksi kulutuskohteeseen, laitoksissa saatetaan nostaa höyrylinjan ajopainetta nostamalla höyryn energiasisältöä. Tämä saattaa aiheuttaa suurempia vuotoista aiheutuvia energiahäviöitä ja vaikeuttaa höyrylinjojen vesitystä. [13; 14.]

Lauhteenpoistimien toimintamekanismin vahingoittumisen tai väärin asennuksen seurauksena poistin voi alkaa vuotaa höyryä ulos lauhdelinjastoon. Nämä vuodot voidaan havaita ultraäänimittauksella tai vaihtoehtoisesti lämpökameralla tai pintalämpömittarilla, koska yleensä höyry- ja lauhdelinjojen välillä on merkittävä paine-ero, joka johtaa lauhteen nopeaan lämpötilan laskuun. Mikäli lämpötilaeroa ei havaita riittävässä määrin, voidaan olettaa lauhteenpoistimen mahdollisesti vuotavan höyryä läpi. Tämä havainto kannattaa kuitenkin varmistaa vielä ultraäänimittauksella.

Ultraäänimittaus on hyvä keino mitata lauhteenpoistimien toimintaa. Ultraääneen perustuvalla mittauslaitteella voidaan havaita höyryn läpivirtauksesta syntyvää ultraääntä. Mikäli ääni havaitaan ja sen ilmentyminen voidaan erottaa muusta mittauksen ulkoisesta kohinasta, voidaan todeta lauhteenpoistimen olevan täysin auki tai vuotavan höyryä läpi.

## 5 Höyry- ja lauhdelaboratorion sijoitus prosessilaboratorioon

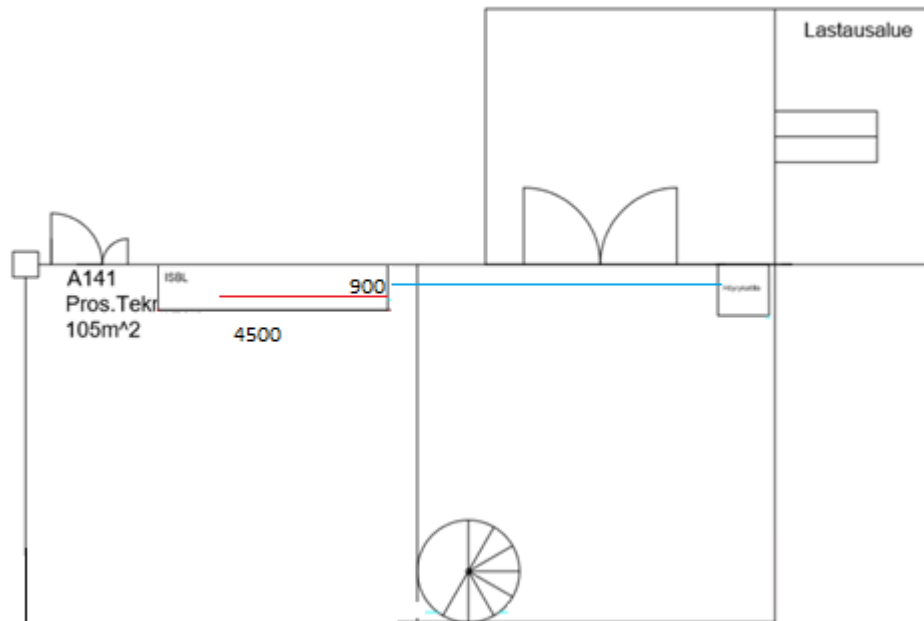
Höyry- ja lauhdelaboratoriokehikko tullaan sijoittamaan Metropolian Leiritien kampuksen prosessitekniikan laboratorioon. Laitteisto on tarkoitus rakennuttaa yhdeksi kappaleeksi tukikehikkoon ja tuoda valmiina laboratorioon. Laboratoriosta oli varattu laitteistolle tarkasti mitoitettu tila. Laitteiston ISBL-alueeksi rajattiin höyry- ja lauhdelaboratorion kehikko. Alkuperäisestä OSBL-layoutista voidaan nähdä järjestelmän suunniteltu sijoittuminen prosessilaboratoriossa (kuva 5).



Kuva 5. Alkuperäinen OSBL-alue ennen prosessilaboratorion remonttia vuonna 2019.

Suunniteltu sijoituspaikka jouduttiin kuitenkin vaihtamaan prosessilaboratoriossa kesällä 2019 tehdyn remontin seurauksena, koska alkuperäinen sijoituspaikka olisi esteenä sen taakse tulevien ilmastointilaitteen huolto-ovien avaamiselle.

Tästä muutoksesta ei tiedotettu etukäteen. Tämän seurauksena höyry- ja lauhdejärjestelmän sijainti jouduttiin siirtämään vastakkaiselle seinustalle, mikä edellytti paikalla olevien kaappien ja lavuaaritason purkua ja johti höyry- ja lauhdelaboratorion tukikehikon muuttamiseen peilikuvakseen sekä valaisun ja kehikon ulkopuolisten putkilinjojen täydelliseen uudelleen suunnitteluun. Uusi prosessilaboratorion remontin jälkeisten muutoksien mukainen OSBL-alue on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. OSBL-alue Leiritien prosessiteknikan laboratoriosta remontin jälkeen.

Uusi höyry- ja lauhdelaboratorion sijainti mahdollisti höyryn- ja paineensaattolinjastojen suoraviivaistamisen. Höyrynsaattolinjasto oli mahdollista nostaa ylös suoraan kattilan putkiliitoksesta, mikä vähentää vesityksen energiahäviöitä. Kuvassa 6 sinisellä merkitty höyrynsaattolinja jouduttiin nostamaan prosessilaboratorion huolto-ovien vuoksi yli höyry- ja lauhdelaitteiston höyryntuloliitoksen yläpuolelle noin 3,4 metrin korkeuteen tilan lattiatasosta. Onneksi prosessilaboratoriossa olevat putkistot eivät asettuneet uuden höyrynsaattolinjan tielle ja mahdollistivat höyrylinjan vetämiseen suoraan ennen sen laskea. Tällä oli merkitystä virtausmittarin uudelleen sijoittamisessa.

## 6 Höyry- ja lauhdelaboratorion prosessikuvaus

### 6.1 Putkisto ja prosessilaitteet

Kaikki höyry- ja lauhdelaboratoriossa olevat putkilinjat on suunniteltu toteutettavaksi PSK-standardin mukaisella putkiluokalla E16H1A. Putkiluokan materiaalina on austeniitinen teräs, joka tunnetaan paremmin ruostumattomana teräksenä. Höyrylinjastojen putket ovat lämpöeristettyjä. Höyrylaboratorion venttiilit ja lauhteenpoistimet ovat vähintään paineluokkaa PN 16. Materiaalit valittiin 12 baarin suunnittelupaineen ja väliaineiden mukaisesti. Vaikka prosessin ajopaine on tarkoitus pitää 6 barissa, näin varattiin mahdollisuus ajaa laitteistoa korkeammillakin paineilla tulevaisuudessa.

Putkiston putkilinjat ja laitteistojen tunnuksot ovat Konwell Oy:lle toimitetun PI-kaavion mukaisia. Yrityksen toiveen mukaisesti PI-kaaviota ei julkaista.

### 6.2 Päähöyrylinja

Höyry ajetaan kattilalta saattolinjaa pitkin höyry- ja lauhdelaboratorion höyryn sisäänmenolinjaan (001-SST-E16H1A). Höyryn virtausta ja painetta säädetään järjestelmän sisääntulon jälkeen toimilaitteella varustetulla säätöventtiilillä, jota ohjataan painemittauksella. Höyryn painetta ja lämpötilaa mitataan höyrylinjassa ennen ja jälkeen virtauksen säädön. Höyrylinja päättyy levylämmönsiirtimeen, jossa höyry lauhdutetaan vesijohtoverkosta otettavalla kylmällä jäähdytysvedellä. Höyryä voidaan myös ohjata sisääntuloyhteestä lauhteenostimelle menemään piiskalinjaan (007-SST-E16H1A) tai suoraan lauhdelinjaan (002-WCO-E16H1A), jolloin se ohittaa lämmönsiirtimen.

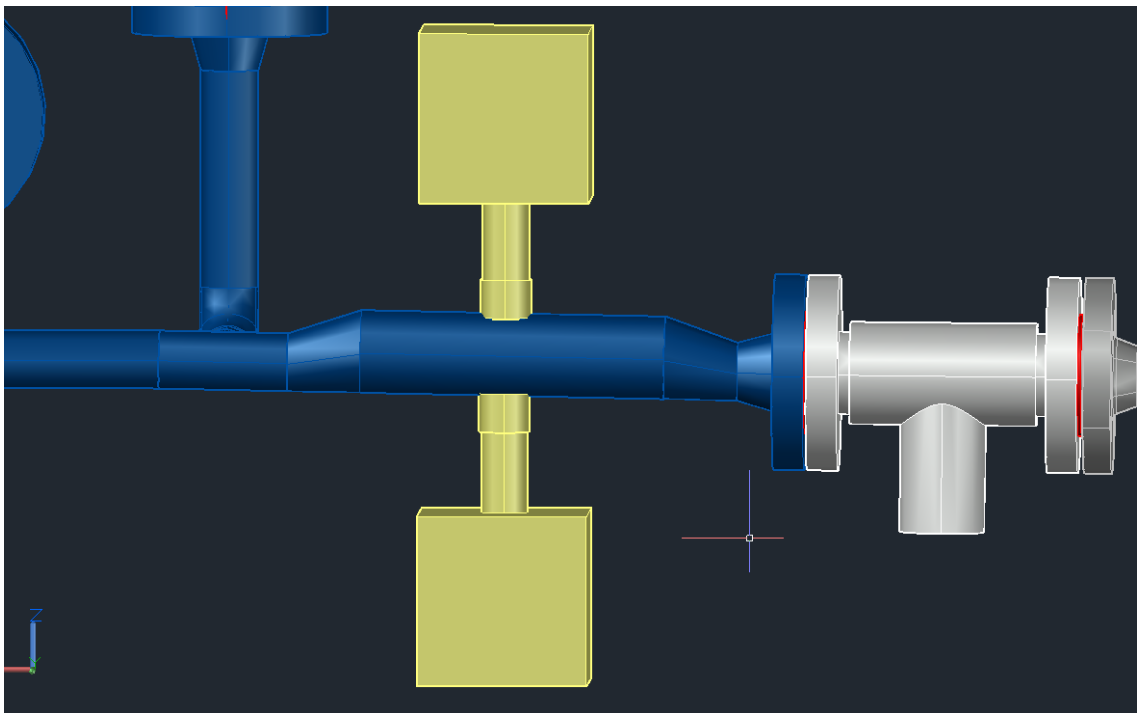
### 6.3 Höyryn kulutuskohte

Höyry- ja lauhdelaboratorion höyrynkäyttötarkoituksena on lämmönsiirto levylämmönsiirtimeissä kylmään vesijohtoveteen eli veden lämmitys. Höyryn enimmäisvirtaus on 45 kg/h eli 6 baarin ajopaineella noin 27 kWh. Pienen höyryn jäähdytykseen tarvittavan energiamäärän takia lämmönsiirrintä ei ollut mahdollista mitoittaa prosessiin optimaalisesti, joten levylämmönsiirtimestä tuli hieman ylimitoitettu [15] (liite 1).

Ylimitoituksesta voi seurata lämmönsiirtimen ylimääräisen tilan täyttyminen ilmalla, mikä heikentää lämmönsiirtoa. Ilmaa ei voida suoraan poistaa siirtimestä siihen integroidulla ilmanpoistimella siirtimen pienen koon takia. Ilmaa ei näin saada poistettua siirtimestä järjestelmän ollessa käytössä. Tämän ei kuitenkaan pitäisi aiheuttaa merkittävää ongelmaa, kun järjestelmää on tarkoitus käyttää 1–2 tuntia yhtäjaksoisesti [3]. Levylämmönsiirtimen höyry- ja lauhdelaboratorioon valmistaa Vahterus Oy.

## 6.4 Lauhdelinjasto

Lämmönsiirtimessä höyrystä muodostuva lauhde kulkeutuu lauhdelinjastoon (002-WCO-E16H1A). Lauhdelinjan alkuun on sijoitettu painemittaus ja kaksi lämpötilamittauspaikkaa siten, että niillä voidaan mitata lauhteen ja siitä muodostuvan hönkähöyryn lämpötila. Tämän mahdollistamiseksi mittauskohtaan sijoitettiin epäkeskoinen kartio (kuva 7). Mittarit tulee asentaa aivan kartion laajennuskohdan ylä- ja alapäähän, jotta mittaus onnistuisi.



Kuva 7. Lauhdelinjan lauhteen ja paisuntahöyryn lämpötilan mittauspaikat mallinnettuna. Keltaiseksi väritetyt mittarit edustavat yleismittareita ja niiden muoto poikkeaa merkittävästi varsinaisista mittareista, joita tullaan käyttämään. Harmaa putkistolaite kuvastaa Gestran VKE-16-1 lauhdepoistimien kunnontarkkailulaitetta.

Lämpötilamittausten jälkeen lauhdelinjastoon sijoitettiin lauhteenpoistimien kunnontarkkailulaite Gestra VKE-16-1 (kuva 7). Laite pystyy havaitsemaan poistimien höyryhäviöt. Kunnontarkkailulaitteen toiminta perustuu siihen ja tarkastettavaan lauhteenpoistimeen kytkettäviin elektrodeihin, jotka tunnistavat höyryn ja lauhteen niiden lämmönjohtokyvyn ja lämpötilan eroavaisuuden avulla. Elektrodit lähettävät mittaustiedot kannettavalle



mittalaitteelle tai tietojärjestelmään. Mittaustulosten perusteella voidaan nähdä, aiheutuuko poistimessa höyryhäviötä. [13; 16.]

Lauhdelinjasto jatkuu ja haarautuu viiteen neljällä eri lauhteenpoistinmallilla varustettuun putkilinjaan. Lauhteenpoistimien toimintaa havainnollistetaan ennen poistimia sijoitetuin näkölasein. Näkölaseista pystytään havainnoimaan, poistaako lauhteenpoistin lauhdetta putkilinjasta vai pataaako linja lauhdetta. Poistimien jälkeen lauhde ohjataan avoimiin paisutuskartioihin, joilla havainnollistetaan hönkähöyryn äkillistä muodostumista lauhteesta paineen laskiessa lauhdelinjastossa vallitsevasta ylipaineesta ilmanpaineeseen viimeistä linjastoa lukuun ottamatta. Viimeisen linjaston tarkoitus on havainnollistaa kolmen näkölasin avulla tarkemmin lauhteen patoutumista ja sen nopeaa poistoa.

Paisunnasta lauhde ohjataan höyry- ja lauhdelaboratoriokehikon poistumisyhteeseen, josta se ohjataan kehkosta irrallaan olevalla viemäriinjalla jäähdytyspiraalin kautta viemäriin. Lauhde on lauhdelinjastoon päätyessään normaalissa ilmanpaineessa noin 100 °C:ssa. Lauhde on jäähdytettävä ennen viemärointiä, ettei kuuma lauhde aiheuttaisi vahingoittaisi osittain muovista viemäriputkistoa. Jäähdytyksen jälkeen lauhteen lämpötila saadaan laskettua noin 55–65-asteiseksi riippuen jäähdytysveden lämpötilasta. Jäähdytysvetenä voidaan käyttää joko laboratoriokehikosta poistuvaa noin 32-asteista viemäroittävää jäähdytysvettä tai 10-asteista vesijohtovettä.

## 6.5 Jäähdytysvesilinjat

Laboratoriokehikon lämmönsiirtimelle ajetaan höyryn jäähdytyslinjan (003-WCL-E16H1A) sisääntuloyhteen kautta erillisestä prosessilaboratorion vesijohtoverkosta lähtevästä linjasta (012-WCL-E16H1A) noin 8-asteista ja 4–4,5 barin paineista jäähdytysvettä [17]. Jäähdytysveden virtausta voidaan säätää virtausta mittaavan rotametrin ja säätökeilalla varustetun sulkuventtiilin avulla. Jäähdytysveden lämpötilaa mitataan ennen ja jälkeen lämmönsiirtimen. Lämmönsiirtimen jälkeen jäähdytysvesi ohjataan laboratoriokehikon poistumisyhteeseen ja sieltä erillisellä linjalla joko suoraan tai spiraalilämmönsiirtimen kautta viemäriin. Lämmönsiirtimen läpiajon avulla voidaan jäähdyttää kehkön lauhde- ja höyrynsaattolinjoista viemäroittävää kuumaa lauhdetta ilman ylimääräistä jäähdytysvirtausta.

Jäähdytysvesilinjasta vesi voidaan myös ajaa lauhdelinjaan avaamalla venttiili HV-115. Kun vettä halutaan ajaa lauhdepuolelle normaalissa tilanteessa, tulee lämmönvaihtimeen menevä ja vaihtimelta tulevan lauhteen venttiilit sulkea. On tärkeää huolehtia, ettei yhteyttä höyry- tai paineilmapuolelle ole, koska höyry- ja paineilmapuolella on huomattavasti suurempi paine kuin jäähdytysvesilinjastossa.

## 6.6 Paineilmalinja

Paineilmaa höyry- ja lauhdelaboratorion kehikkoon saadaan prosessilaboratorion paineilmalinjastosta erillisen painelinjan (013-ACP-E10H1A) kautta. Paineilmaa ajettaessa kehikkoon on huolehdittava, että höyry- ja vesilinjat on suljettu, koska höyryn ja vesilinjojen ajopaineet ovat paineilmalinjaa suuremmat. Huolimaton käyttö saattaa johtaa veden päätymiseen prosessilaboratorion paineilmalinjaan.

## 6.7 Lauhteennostin ja lauhteennostolinja

Höyry- ja lauhdelaboratorioon sisältyy lauhteennostin UNA25 PS. Lauhteennostimen tehtävä on nostaa paineistamaton lauhde linjastossa ylöspäin paineistetun piiska-, pusku- tai työntöhöyryn avulla. Lauhteennostimen toimintaa voidaan havainnollistaa ajamalla siihen lauhde- tai jäähdytysvettä lauhdelinjasta (002-WCO-E16H1A). Lauhteennostin tarvitsee toimiakseen nostovoiman tuovan höyrysyötön. Syöttö saadaan avaamalla piiskahöyrylinjan (SST-007-E16H1A) venttiili HV-117. Tällöin höyrylinjassa oleva paineistettu höyry puskee nostimessa olevan lauhteen lauhteennostimen linjaan (WCO-006-E16H1A). Linja ohjaa lauhteen laboratoriokehikon ulosmenoyhteeseen, josta se ohjataan lauhteenkeräyssäiliöön.

## 7 Höyry- ja lauhdelaboratorion saatto- ja poistolinjat

### 7.1 Höyrykattila

Höyry- ja lauhdelaboratoriossa hyödynnetään Metropolian Leiritien kampuksen prosessilaboratoriossa valmiina olevaa Elmo 30 -sähkökattilaa. Sähkökattilan toiminta perustuu sähköllä kuumennettaviin vastuksiin, jotka siirtävät lämpöenergian kattilassa olevaan veteen. Kattilassa on höyryventtiili, jolla tuotettua höyryvirtausta voidaan hallita. Lisäksi kattilassa on automaattinen pinnansäätö. Tämän ja sähkökäyttöisyyden ansiosta kattila voidaan jättää toimimaan omavaraisesti, jolloin voidaan keskittyä prosessin esittelyyn ja säätöön.

Kattilassa käytetty vesi on esikäsiteltyä, mikä minimoi vedessä olevien epäpuhtauksien pääsyn prosessiin [18]. Kattilan maksimihöyryntuottokapasiteetti on 45 kg/h ja maksimijopaine on 9 baaria [19].

### 7.2 Höyryn saattolinjasto ja virtausmittaus

Höyryn saattolinja alkaa suoraan höyrykattilasta lähtevästä laippaliitoksesta nimellis-koolla DN 25. Höyrylinjasto nostetaan kattilasta suoraan ylöspäin ja johdetaan suoraa linjaa pitkin virtausmittarin läpi höyryn puskurisäiliölle. Suorat linjat mahdollistivat optimaalisen virtausmittauksen ja putkien kallistuksen viemään linjastossa syntyneen lauhteen takaisin höyrykattilaan mikä säästää energiaa.

Virtausmittarina päätettiin käyttää Metran kuristuslaippamittaria (EDZ / EWZ), jonka mitauslogiikka perustuu paine-eroon. Mittari aiheuttaa etukäteen määritellyn paine-eron virtaukseen mittarin virtausaukon molemmin puolin. Kun virtaavan aineen tiheys tunnetaan, voidaan sen ja virtaukseen luodun tunnetun painehäviön avulla laskea Bernoullin yhtälöllä (kaava 2) virtauksen tilavuusvirta.

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho w_1^2 + \rho g z_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho w_2^2 + \rho g z_2 \quad (2)$$

Esitetyssä kaavassa 2 symbolien merkityksen ovat seuraavat:

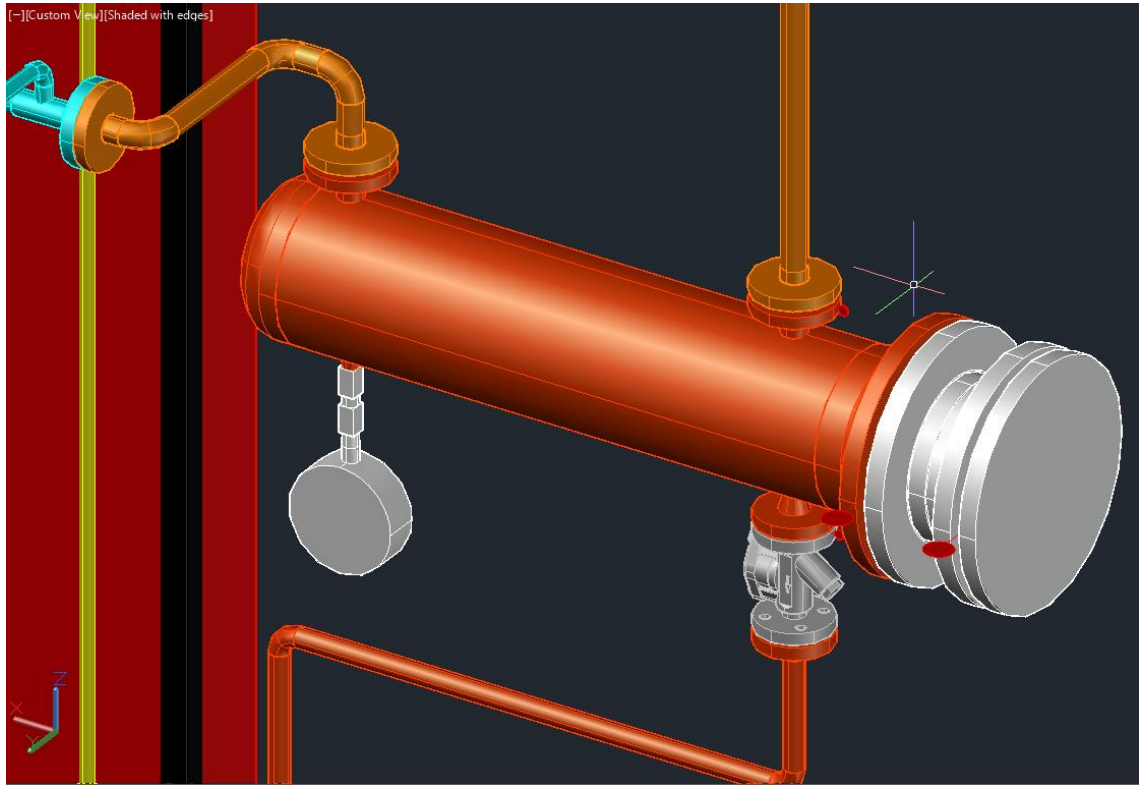
- $p_1$  on virtauksen paine ennen mittaria (Pa),
- $\rho$  on virtaavan väliaineen tiheys ( $\text{kg/m}^3$ ),
- $w_1$  on virtausnopeus ennen mittaria (m/s),
- $g$  on vallitseva putoamiskiikkyvyys ( $\text{m/s}^2$ ),
- $z_1$  on korkeusasema ennen mittaria (m),
- $p_2$  on paine mittarin jälkeen (Pa),  $w_2$  virtaus nopeus mittarin jälkeen m/s,
- $z_2$  on korkeusasema mittarin jälkeen (m).

Virtausmittari voitiin asentaa optimaalisesti siten, että virtaus voi edetä häiriöttä vähintään kolme metriä suorassa linjassa ennen mittaria ja ainakin puoli metriä mittarin jälkeen.

### 7.3 Höyrynpuskurisäiliö

Höyrynpuskurisäiliön tehtävänä on toimia puskurivarastona, mikä mahdollistaa tasaisen höyryvirtauksen höyry- ja lauhdelaboratoriokehikon päähöyrylinjaan kattilan höyryntuotantomäärän vaihdellessa. Puskurisäiliö mitoitettiin ylläpitämään höyryn syöttöä kuuden sekunnin ajan höyryn virtauksen täysin lakatessa kattilasta (liite 2).

Mitoitus riittää takaamaan tasaisen höyryvirtauksen laboratoriokehikkoon hidastamatta liikaa linjaston ylösajoa ja minimoiden puskurisäiliön painon ja viemän tilan. Tällä oli oleellinen merkitys, koska järjestelmän sijoituskohteessa sijaitsee myös muita prosessilaitteita ja tukielementeistä ei toivottu tulevan kovin raskaita. Puskurisäiliö on mallinnettu kuvassa 8.



Kuva 8. Höyrypuskurisäiliö. Pyöreän muotoinen roikkuva laite kuvastaa paikallista lämpötilamittaria.

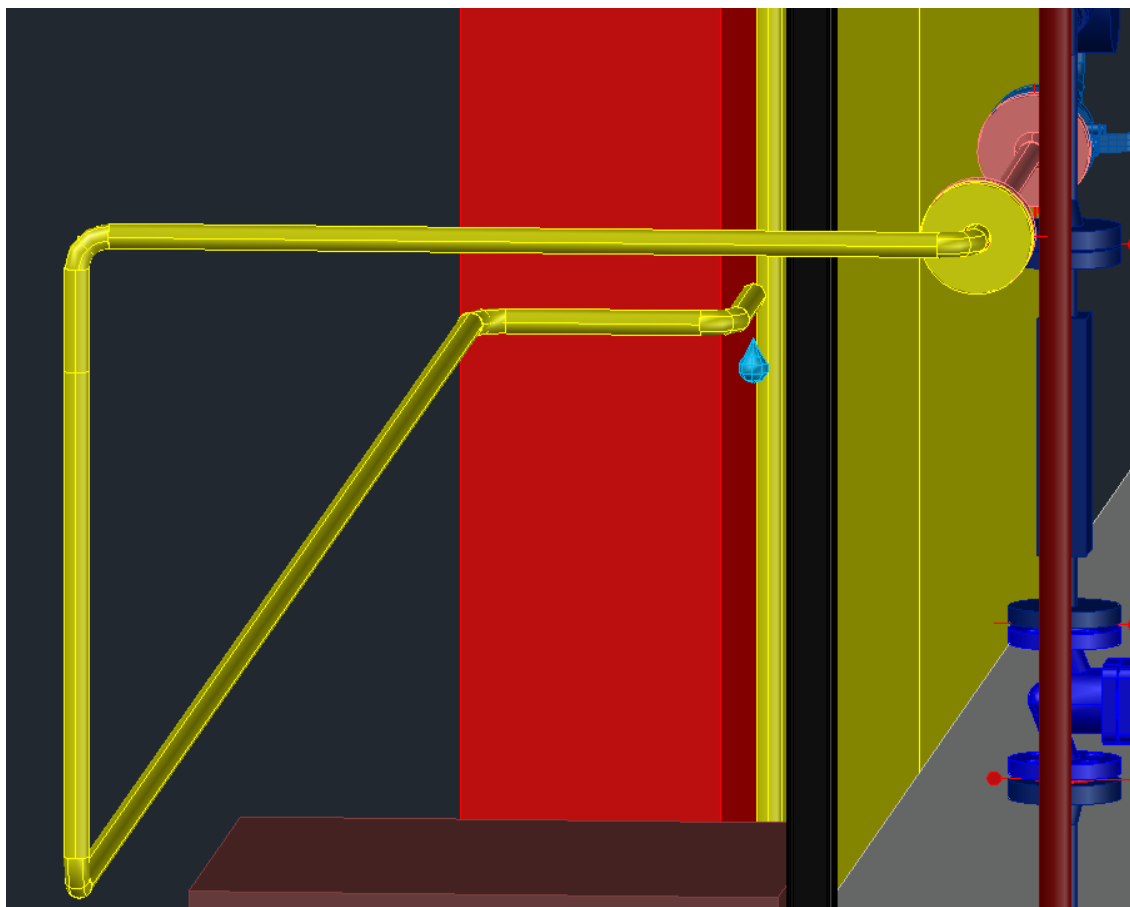
Höyryn menoyhteen tulee nousta suoraan ylöspäin puskurisäiliöstä, koska tällöin säiliössä muodostunutta lauhdetta päätyy höyrylinjaan vähiten ja höyry on mahdollisimman kuivaa. Puskurisäiliöstä lähtevän höyrylinjan tulee myös olla mahdollisimman lyhyt, jotta minimoidaan höyryn lauhtuminen putkistossa ennen kulutuskohdetta. Puskurisäiliöön sisällytettiin paikallinen lämpötilamittari ja linjavesitys.

#### 7.4 Höyrysaattolinjan vesitys

Vesityksen lauhteenpoistimeksi valittiin terminen kapselilauhteenpoistin Gestra MK45-1 alhaisen lauhteen syntymismäärän vuoksi. Poistettava lauhde ohjataan saattohöyryn vesityslinjaa (011-WCO-E16H1A) pitkin ilmanpaineessa olevaan laboratoriokehikosta lähtevään lauhteen viemäriin t-kappaleella ylhäältäpäin, jottei linjan virtaus häiriintyisi.

## 7.5 Paineilman saattolinja

Paineilman saattolinjasto (012-ACP-E10H1A) lähtee höyry- ja lauhdelaboratoriokehikon sijoituspaikan takana olevasta prosessilaboratorion paineilman jakelupisteestä. Saattolinjaston on mallinnettu johtavan prosessilaboratorion seinänä pitkin vaakatasossa höyry- ja lauhdelaboratorionkehikon paineilmayhteen läheisyyteen siten, että putkilinja saadaan ohjattu suoraviivaisesti kehikon liitosyhteeseen kiinni (kuva 9).

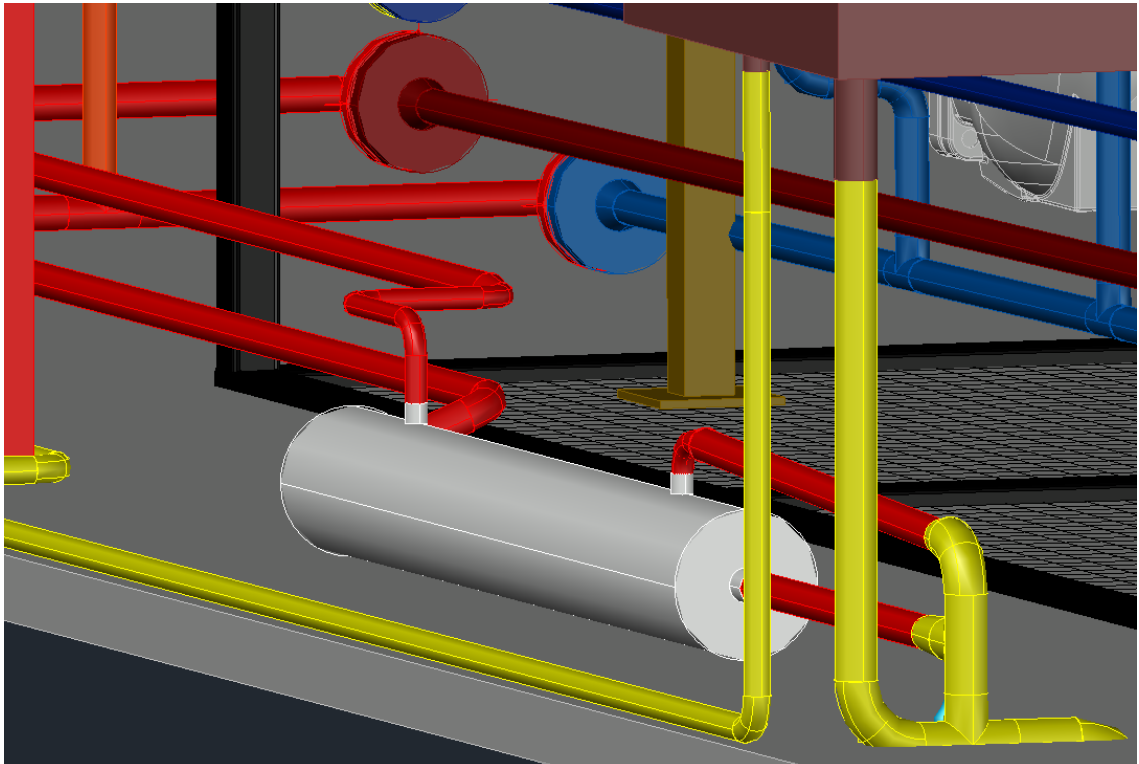


Kuva 9. Paineilman saattolinjasto mallinnettuna keltaiseksi ja yhdistettynä vaaleanpunaiseen höyry- ja lauhdelaboratorion paineilmanlinjaan.

Paineilman saattolinjasto saattaa häiritä ikävästi tiskialtaan käyttöä, mutta allasta ei ole prosessitekniiikan lehtorin Timo Seurasen mukaan tarkoitus käyttää prosessilaboratorio-työskentelyssä [18].

## 7.6 Jäähdytysveden viemärintilinjasto

Höyry- ja lauhdelaboratoriosta lähtevä jäähdytysveden viemäriinija (009-WCL-E16H1A) johtaa ennen viemärintiä spiraalilämmönsiirtimeen, jolla jäähdytetään laboratoriokehikon lauhdelinjasta (002-WCO-E16H1A) ja saattohöyrylinjan vesityslinjastosta (011-WCO-E16H1A) virtaavaa 100 -asteista lauhdetta (kuva 10). Jäähdytysveden lämpötila on noin 32 °C, jolloin lauhde jäähtyy noin 65–70-asteiseksi (liite 3).



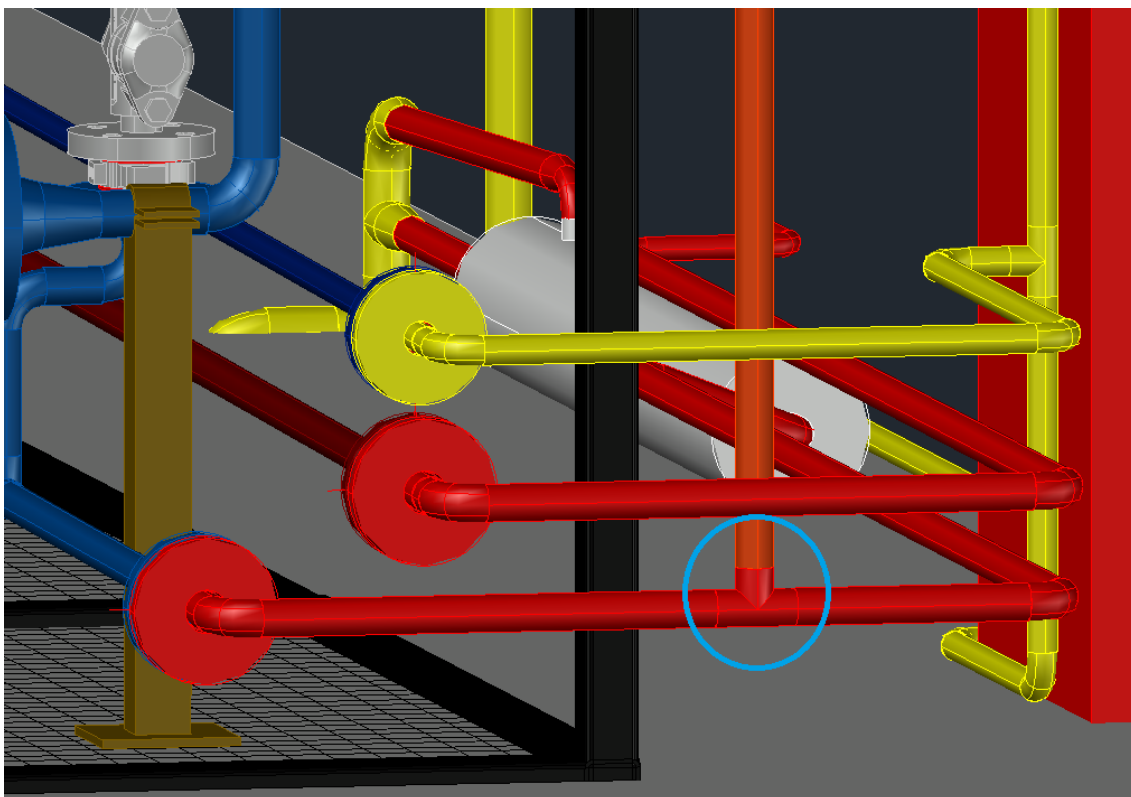
Kuva 10. Viemäritävien vesivirtojen lämmönsiirtospiraali. Mallinnetussa kuvassa harmaa putki kuvastaa spiraalilämmönsiirintä. Punaiset putket kuvastavat prosessilaboratorion viemärintilinjastoja. Lämmönsiirtimen päälle ja päältä lähtevä putkilinja on paineistetun jäähdytysveden, ja sivuista lähtevät linjat ilmanpaineessa oleva lauhdelinja.

## 7.7 Kuumen lauhteen viemärintilinjasto

Höyry- ja lauhdelaboratoriosta lähtevä 100 -asteisen lauhteen viemärintilinjasto (010-WCO-E16H1A) on ilmanpaineessa, jolloin virtaus etenee putkikallistusten avulla viemäriin. Ennen viemärintiä linjaan liittyy saattohöyrylinjan vesityslinjan (011-WCO-E16H1A)



lauhdevirta ja yhdistynyt virtaus ohjataan spiraalilämmönsiirtimeen, jossa se jäähdyytään noin 65–75 asteiseksi (kuva 11).



Kuva 11. Höyry- ja lauhdelaboratorion viemäri- ja lämmönvaihtimen mallinnettu kuva, jossa kuumien lauhdelinjien yhdistyminen ympyröitynä.

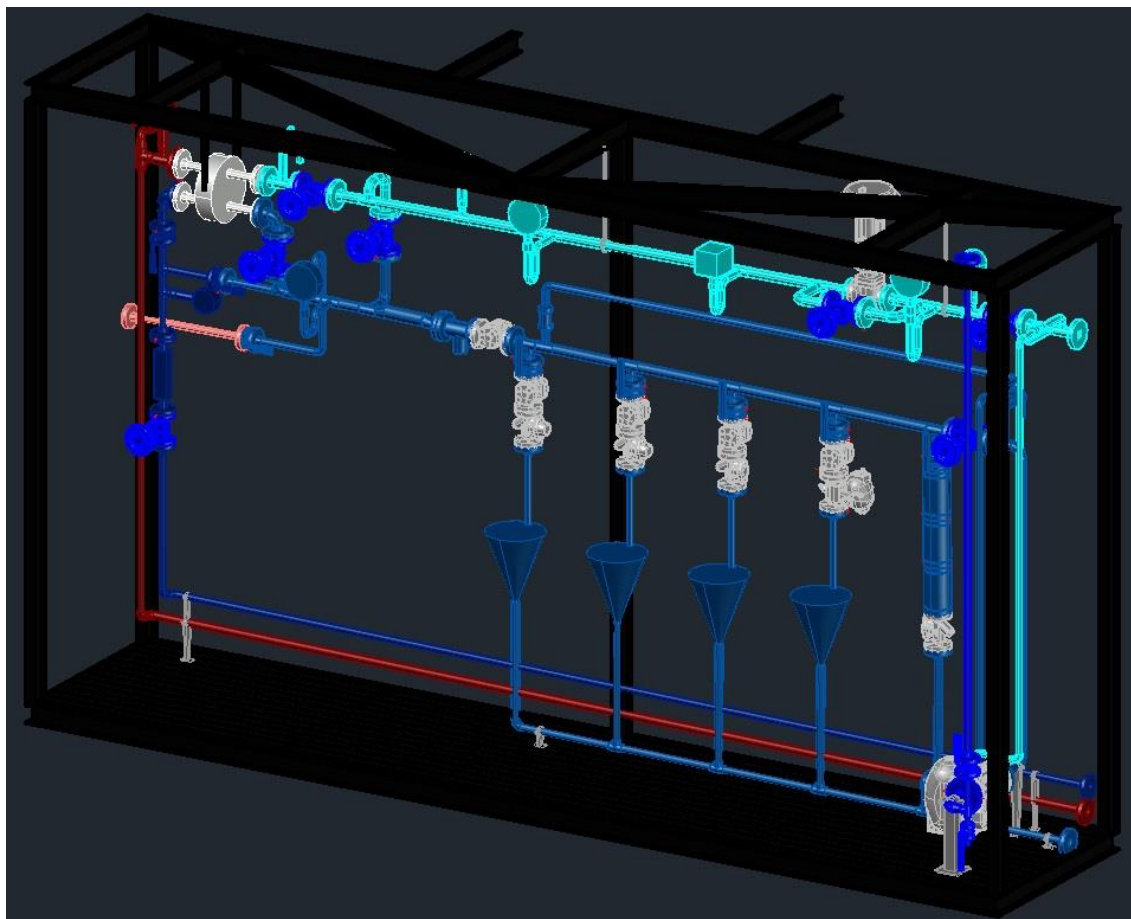
Lauhdelinjan paineistamattomuus aiheutti huolen kaltevuuden riittävydestä ylläpitää riittävää virtausta. Kaltevuutta ei ollut mahdollista toteuttaa kovin jyrkkänä linjaston suhteellisen matalan lähtöyhteen vuoksi. Mikäli kaltevuus ei ole riittävä on poistolinjastoon mahdollista asentaa pieni pumppu, jonka avulla lauhde saadaan ajettua viemäriin.

## 8 Höyry- ja lauhdelaboratorion ja prosessilaboratorion 3D-mallit

### 8.1 Höyry- ja lauhdelaboratoriokehikko

Suunnittelusta höyry- ja lauhdejärjestelmästä laadittiin 3D-malli, joka soveltui muuttuneeseen sijoituspaikkaan. Mallinnus toteutettiin Autodesk Plant3D -ohjelmalla. Kuvassa 12

esitetty 3D-malli vastaa mittasuhteiltaan ja ulkonäöltään rakennettavaa laboratoriota lukuun ottamatta höyrylinjan lämpöeristystä ja väritystä, joka on tehty mallissa värikkääksi eri putkilinjojen selkeämmän visualisoinnin havainnollistamiseksi.



Kuva 12. Höyry- ja lauhdelaboratorion 3D-mallin SW isometric -näkö ilma turvakaidetta.

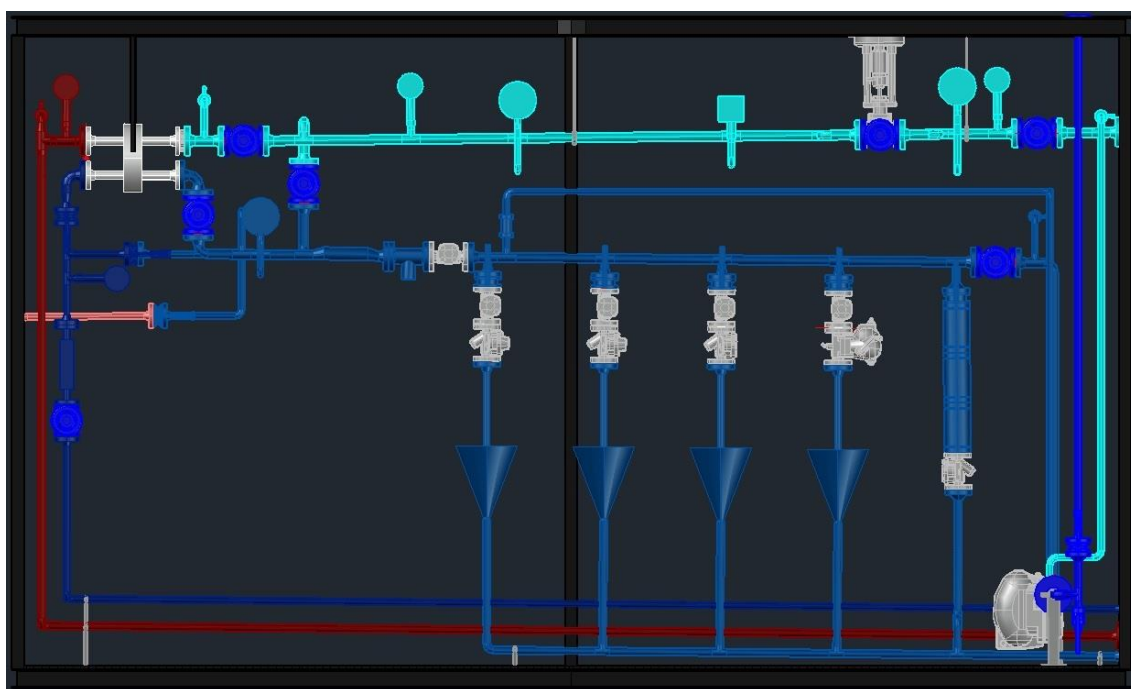
Kuvassa 12 näkyy selkeästi ISBL-alue, joka rajattiin itse höyry- ja lauhdelaboratoriokehikkoon. Tukikehikkoon, johon höyry- ja lauhdelaboratorion laitteisto on tuettuna, rakennetaan 40 x 40 x 2,6 mm:n pulttavista teräspalkeista. Kehikon koko on 2,75 x 4,5 x 0,9 m (korkeus, leveys, syvyys).

Kuvassa 13 olevassa mallissa turkoosi linja on höyrylinja (001-STT). Höyry syötetään laitteistoon linjan oikeassa yläkulmassa sijaitsevasta laipasta. Höyryvirtausta säädetään säätöventtiilillä, joka säätelee höyryn virtausta lämmönsiirtimelle. Laitteiston vasemmassa

yläkulmassa sijaitsee järjestelmää varten mitoitettu Vahterus Oy:n suunnittelema 27 kW:n tehon levylämmönsiirrin.

Lämmönsiirtimen avulla järjestelmään virtaava höyry lauhdutetaan. Muodostunut lauhde ohjataan sinistä (002-WCO) lauhdelinjaa pitkin järjestelmässä oleville demonstroitaville lauhteenpoistimille. Poistimien jälkeen lauhde kulkeutuu paisuntakartioon ja siitä edelleen viemäriin.

Oikealla alhaalla näkyvässä oleva laite on lauhteennostin, jolla lauhdetta voidaan nostaa keuhikon yläpuolelle sijoitettavaan lauhteenkeräyssäiliöön. Tummansininen linja (003-WCL) on jäähdytysvesilinja, joka kulkee lämmönsiirtimelle ja haarautuu lauhtepuolelle. Punainen (004-WCL) linja on lämmönsiirtimellä lämmennyt jäähdytysvesi, joka johtaa viemäriin.

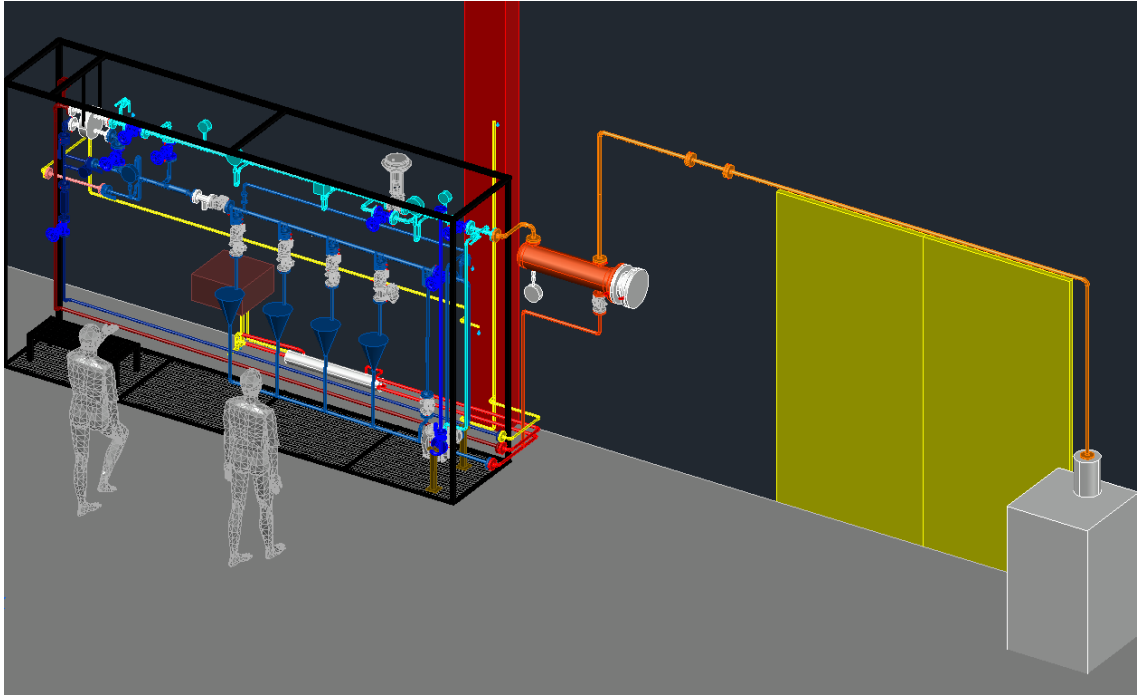


Kuva 13. Höyry- ja lauhdelaboratorio edestäpäin havainnollistettuna ilman turvakaidetta.

Kuvassa 13 on laitteisto kuvattuna edestä ja putkissa on nähtävissä oikeat kallistuskulmat. Instrumentoinneista ja muutamasta käsiventtiilistä ei löytynyt valmistajilta valmiita 3D-malleja, joten ne on mallinnettu käsin tai käytetty valmista suuntaa antavaa mallia. Laitteiden mittasuhteet vastaavat kuitenkin järjestelmään asennettavia laitteita.

## 8.2 Prosessilaboratorio

Prosessilaboratorion ympäristö mallinnettiin pääpiirteittäin höyry- ja lauhdelaboratoriokehikon ympärille. Mallin avulla voitiin sommitella laboratoriokehikon saatto- ja poistoputkistot prosessilaboratorioon ja laatia niistä isometrit valmistamista varten. Mallinnettavat linjat olivat höyryn- ja paineensaattolinjat ja viemärointilinjat (kuva 14).



Kuva 14. Prosessilaboratorion 3D-mallin kuvakaappaus ilman turvakaidetta. Harmaa suorakulmio kuvastaa höyrykattilaa, keltaiset pylväät kuvastavat prosessilaboratorion huolto-ovia, punainen pylväs kattotukipilaria ja haaleanpunainen suorakulmio tiskiallasta. Kuvassa olevat ihmismallinnukset ovat pituudeltaan 180 cm.

Tarkan kolmiulotteisen mallinnuksen avulla järjestelmän sijoitus prosessilaboratorioon onnistui kätevästi. Näin asennuspaikka voitiin tarkkaan määrittää siten, että se ei häiritse muita laboratoriossa olevia laitteita ja että järjestelmän käytössä muodostuva vesihöyry voitiin sijoittaa lähelle ilmastointikanavia ja viemäryhdettä.

## 9 Automatisaatio

### 9.1 Yhteistyö sähkö- ja automaatiotekniikan opiskelijoiden kanssa

Höyry- ja lauhdelaboratorion automatisaatio päätettiin toteuttaa yhteistyössä kahden sähkö- ja automaatiotekniikan opiskelijan Jari Ruuskan ja Henna Sotalan kanssa osana heidän opintoihinsa kuuluvaa projektikurssia. Kehitystyölle asetettiin tarkat vähimmäistavoitteet ja työn etenemistä esiteltiin tietyin väliajoin Konwellille kommentteja varten.

### 9.2 Automatisaation tavoitteet

Automaatioprojektin tavoitteet olivat mittaustiedon välitys painemittarilta säätöventtiilille, mittaustietojen keräys prosessin mittauksista ja niiden esittäminen käyttöliittymässä, jolla on mahdollista säätää prosessia. Projektiryhmän tuli toteuttaa ohjauslogiikan ja käyttöliittymän toteutus sekä automatisaation tarvittavien laitteiden valintaesityksen laatiminen. Myös langattoman järjestelmän soveltamismahdollisuuden selvittäminen kuului projektiryhmän tehtäviin.

Mittausdataa kerätään prosessin yhdestä virtausmittauksesta, yhdestä painemittauksesta ja kuudesta lämpötilamittauksesta. Mittauspaikat olivat esitettynä projektiryhmälle esitettyssä PI-kaaviossa virtausmittausta lukuun ottamatta, jonka sijainti on höyry- ja lauhdelaboratoriokehikon ulkopuolella höyrynsaattolinjassa.

Tarvittavista laitteista ja niiden johdotuksesta projektiryhmän tuli laatia laiteluettelo hyväksyttäväksi. Projektiryhmän tavoite oli ensin toteuttaa automatisaation ohjauskäyttöliittymän ensin visuaalisesti karkeana demomallina, jonka hyväksynnän jälkeen käyttöliittymä visualisoitiin.

Demomallissa kaikkien haluttujen toiminnallisuuksien oli toimittava. Käyttöliittymää tuli voida käyttää kosketusnäytöltä ja sen kuva oli voitava siirtää isompaan vähintään 40-tuumaiseen näyttöön.

Käyttöliittymän toteutuksen vaatimuksina oli päänäkymä, painemittarin tarkastelu- ja säätönäkymä sekä virtaus- ja lämpötilamittaukselle kohdennetut tarkastelunäkymät.

Päänäkymässä tulee näkyä prosessikaavio ja kaikki siinä olevat mittaukset siten, että mittausdata ja mittalaitteiden sijainti näkyvät selkeästi. Päänäkymässä on myös voitava osoittaa tarkennusnuolella tai -viivalla yksittäisiä mittauksia ja näyttää niiden sijainti prosessikaaviossa.

Lisäksi päänäkymässä ja muissakin mittausarvoja näyttävässä näkymässä tulee olla jokaisen mittauksen perässä muutoksen osoitinnuolet, jotka aktivoituvat mittausarvon noustessa tai laskiessa järjestelmään asetetun viitearvon verran asetetussa tarkasteluajassa. Esimerkiksi paineen laskiessa 0,2 baaria viisi sekuntia sitten mitatusta viitearvosta syttyy mittausarvon perässä oleva nuoli punaiseksi osoittaen alaspäin.

Käyttöliittymän paineensäätönäkymän kautta tulee voida asettaa toimilaitteella varustetun säätöventtiilin tavoitearvo paineelle 0,1 baarin tarkkuudella. Tavoitearvoa on voitava säätää muutamassa sekunnissa tarkasti haluttuun arvoon. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi kahdella lisää ja vähennä -painikkeilla, joista toinen painike säätää 0,1 baaria ja toinen 1 baaria, tai numpad-tyyppisellä popup-näppäimistöikkunalla, jolla haluttu tavoitearvo voidaan asettaa. Tavoitearvo ei kuitenkaan saa ylittää 16 baaria.

Järjestelmän tulee selkeän visuaalisesti hälyttää painemittauksen noustessa yli asetetun viitearvon, esimerkiksi yli suunnittelupainearvon 6 baaria. Venttiilin ohjaus tulee toteuttaa PID-säädöllä ja säätökuvaajien on oltava näkyvissä käyttäjälle.

Järjestelmän mittausten epätarkkuustoleransseiksi sallittiin olevan korkeintaan 0,2 baaria tai 0,2 celsiusastetta. Virtausmittauksen tarkkuudelle ei asetettu erityisiä vaatimuksia, kunhan heitto pysyy järkevissä rajoissa. Mittausdatan viiveen näyttöpäätteeseen tulee olla järkevissä rajoissa, maksimissaan 1 sekunti.

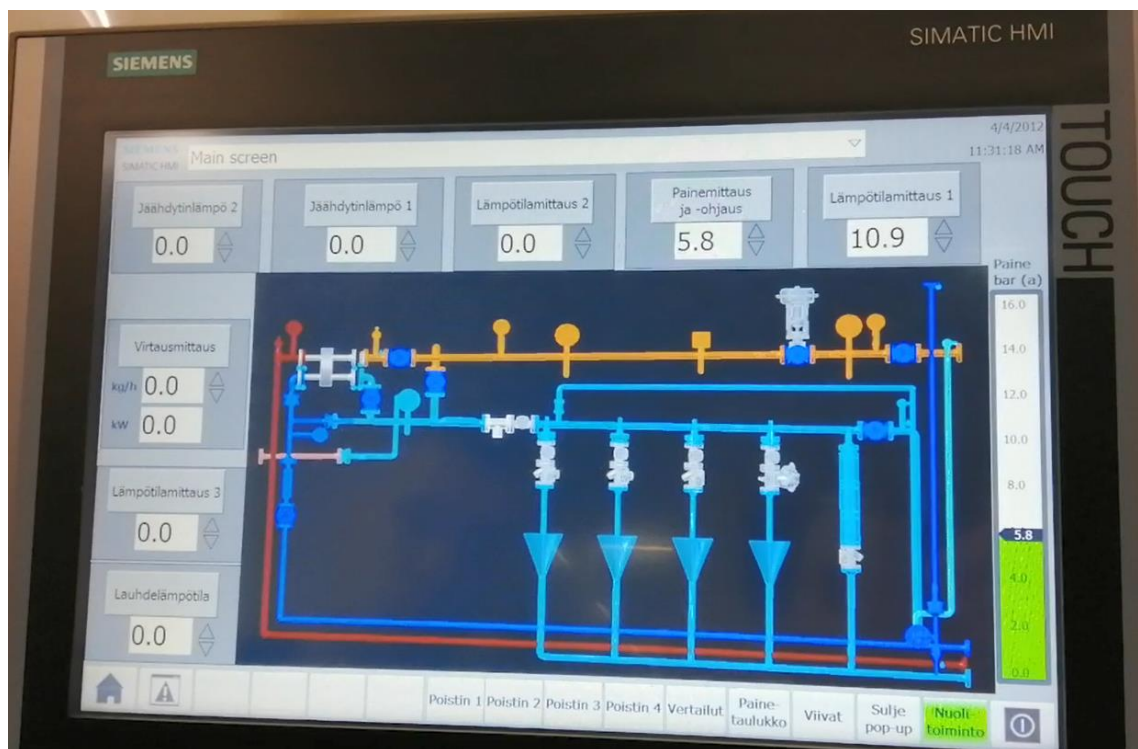
Näiden toimintojen lisäksi käyttöliittymässä tulee olla mahdollisuus ottaa näkyville höyryn energiataulukkoarvot, lauhteenpoistimien rakennekuvat ja höyry- ja lauhdelaboratorion 3D-mallinnuskuva. Nämä toiminnot on voitava sijoittaa käyttöliittymän päänäkymään.

### 9.3 Automaationjärjestelmälogiikan valinta

Automaatiologiikan valintaan vaikutti oleellisesti projektiryhmän mahdollisuudet toteuttaa toimiva käyttöliittymä aikataulussa, muokkausmahdollisuudet valmiiseen toteutukseen ja järjestelmän kustannukset. Näiden lähtökohtien perusteella päädyttiin valitsemaan Siemensin Simatic-logiikka, koska se oli projektiryhmälle kaikkein tutuin esillä olleista vaihtoehdoista. Tämä takasi paremmin projektin onnistumisen aikataulussa [20].

### 9.4 Projektiryhmän tulokset

Automatisaatioryhmän tulokset olivat asetettujen tavoitteiden mukaisia ja työ valmistui suunnitellussa aikataulussa. Kuvassa 15 on esitetty valmiin käyttöliittymän päänäkymä.



Kuva 15. Prosessiautomatisaatiokäyttöliittymän päänäkymä Siemensin kosketusnäytössä.

Siemensin Simatic-käyttöliittymän tiedostot, järjestelmän laitelista, esittelyvideo ja asennusohjeet toimitettiin Konwellille niiden valmistuttua.



## 10 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Oy Konwell AB:n toimeksiannosta yhteistyössä Metropolia AMK:n kanssa. Työn tuloksena valmistui metalli- tai putkiurakoitsijalle valmiit isometripiirustukset höyry- ja lauhdelaboratorioon ja siihen liittyviin saatto- ja poistoputkilinjoihin. Näiden lisäksi toteutettiin asennusvalmis laboratoriota varten räätälöity Siemensin Simatic -automatisaatiologiikan käyttöliittymän ja höyry- ja lauhdelaboratorion automatisaatioon tarvittavien laitteiden tilauslista.

Höyry- ja lauhdelaboratorio ja sen automaatiojärjestelmän käyttöliittymä on suunniteltu helppokäyttöiseksi ja ulkomuodoltaan mahdollisimman suoraviivaiseksi helpottamaan järjestelmän toiminnan hahmottamista. Laboratorio päätarkoituksena on havainnollistaa höyryjärjestelmän ja lauhteenpoistimien toimintaa.

Suunniteltu höyry- ja lauhdelaboratorio on tarkoitus rakennuttaa ja koota Metropolian Leiritien kampuksen prosessilaboratorioon vuoden 2020 kesän aikana. Laboratoriota tullaan hyödyntämään opetusvälineenä Metropolian kemiantekniikan tutkinto-ohjelman kursseilla. Konwell Oy tulee käyttämään laboratoriota järjestämillään höyry- ja lauhde-koulutuskursseillaan. Laboratorion on suunniteltu olevan käyttövalmis vuoden 2020 syksyllä.



## Lähteet

- 1 Heinänen, Pia. 2019. Toimitusjohtaja, Oy Konwell Ab. Helsinki. Yritysinfo 19.6.2019.
- 2 Yritystiedot. Verkkoaineisto. Fonecta Oy. Luettu 9.9.2019.
- 3 Jussi Blom, Etelä-Suomen aluepäällikkö, Oy Konwell Ab. Helsinki. Haastattelu 5.6.2019.
- 4 Water - Heat of Vaporization. 2010. Verkkoaineisto. Engineering ToolBox. Luettu 9.9.2019.
- 5 Lauhteenpoistimet. Verkkoaineisto. Oy Konwell Ab. Luettu 11.9.2019.
- 6 Lauhdelinjasto ja lauhteenpoisto. Verkkoaineisto. Spirax Sarco. Luettu 2.1.2020.
- 7 Jaatinen, Taisto. 2019. Laitossuunnittelija. Jets Consulting Oy. Vantaa. Putkisto- ja laitossuunnittelukurssin vierailijaluento.
- 8 Vesi-iskut lauhdejärjestelmässä. Verkkoaineisto. Neste Oil Oyj, Neste Jacobs Oy, Gestra AG ja Oy Konwell Ab. Luettu 11.9.2019.
- 9 Condensate manual 14<sup>th</sup> edition. E-kirja. Gestra AG. Luettu 16.9.2019.
- 10 Uimurilauhteenpoistimet. Verkkoaineisto. Oy Konwell Ab. Luettu 17.9.2019.
- 11 Webinaari. Verkkoaineisto. Oy Konwell Ab. Luettu 17.9.2019.
- 12 Dokumenttipankki, BK45/46 data sheet. Verkkoaineisto. Gestra AG. Luettu 17.9.2019.
- 13 Lauhteenpoistiminen kunnan tarkastus. Verkkoaineisto. Gestra AG. Luettu 18.9.2019.
- 14 Federly, Jaana. 2015. Energiatehokas höyry- ja lauhdejärjestelmä. Koulutusmateriaali. Motiva Oy.
- 15 Haavisto, Valtteri. 2019. Asiakaspalvelu johtaja, Vahterus Oy. Keskustelu. 22.3.2019.

- 16 Integrated steam trap monitoring equipment VK, NRG, VKE. Verkkoaineisto. Gestra AG. Luettu 18.9.2019.
- 17 Vesijohtoverkosto. Verkkoaineisto. Suomen ympäristöopisto SYKLI. Luettu 18.9.2019.
- 18 Seuranen, Timo. 2019. Lehtori, Metropolia AMK. Keskustelu. 12.6.2019.
- 19 Sähkökattiloiden tuotetiedot. Verkkoaineisto. Steamrator. Luettu 18.9.2019.
- 20 Lund, Ilari; Sotala, Henna; Ruuska, Jari. 2019. Automaatioprojektiryhmän seurantalaveri. 16.9.2019.

## Levylämmönsiirtimen mitoituslaskelmat ja määrittäminen

Mitoituksen lähtöarvot:

	Levypuolen- sisääntulo	Levypuolen ulostulo	Vaippapuolen sisääntulo	Vaippapuolen ulostulo
Virtaava aine	Vesihöyry	Lauhdevesi	Vesi	Vesi
Lämpötila	158 °C	158 °C	10 °C	32 °C
Paine	6 bara	1 bara	5,5 bara	5,5 bara
Tilavuus	0,316 m <sup>3</sup> /kg	0,001 m <sup>3</sup> /kg	0,001 m <sup>3</sup> /kg	0,001 m <sup>3</sup> /kg
Tiheys	3,175 kg/m <sup>3</sup>	997,4 kg/m <sup>3</sup>	997,4 kg/m <sup>3</sup>	997,4 kg/m <sup>3</sup>
Massavirta	45,9 kg/h	45,9 kg/h	1 000 kg/h	1 000 kg/h
Virtausnopeus	9,987 m/s	0,023 m/s	0,5 m/s	0,5 m/s
Painehäviö	-	1,8 kPa	-	3,4 kPa
Dynaaminen viskositeetti	-	~0,996 g/ms	0,996 g/ms	0,996 g/ms

Suunnittelupaine -1–16 bar(g)

Testipaine 16 \* 2 = 32 bar(g)

Suunnittelulämpötila 0–180 °C

Putkiliitosyhteet DN25 laippaliitoksilla

### Lämmönsiirtimen tehon määrittäminen:

Levypuolen lauhtumislämpö 2 085 kJ/kg

Levypuolen virtaus 45,9 kg/h -> 0,765 kg/min -> 0,01275 kg/s

Lämmönsiirtimen teho vaatimus 2 085 kJ/kg \* 0,01275 kg/s = 26,59 kJ/s -> 27 kW

Lämmönsiirtimen lämpötekninen mitoitus:

Teho 27 kW

Lämmönsiirtopinta-ala 0,3 m<sup>2</sup> (*lämmönsiirintä ei ollut mahdollista teettää pienempänä*)

Logaritminen lämpötilaero lämmönsiirtimen virtausten välillä  $\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \approx 114 \text{ K}$

$\Delta T_1$  = levy- ja vaippapuolten virtauksien lämpötilaero lämmönsiirtimen alkupäässä

$\Delta T_2$  = levy- ja vaippapuolten virtauksien lämpötilaero lämmönsiirtimen loppupäässä

Lämmönsiirtimen lämmönläpäisykertoimen määrittäminen

$$U = P / (\Delta T_{ln} * A)$$

$$27\,000 \text{ W} / (114 \text{ K} * 0,3 \text{ m}^2) = 789 \text{ W}/(\text{K} * \text{m}^2)$$

Materiaalimäärittäminen:

Levy materiaali	AISI 316L 0.7mm
Vaippamateriaali	Carbon Steel
Virtausohjainmateriaali	EPDM
Pääty-yhteet	WN-RF-Flange DN 25 PN25-40 1.4404 EN10222-5
Vaippayhteet/ Sisään	WN-RF-Flange DN 25 PN25-40 C22.8 EN10222-2
Vaippayhteet / Ulos	WN-RF-Flange DN 25 PN25-40 C22.8 EN10222-2

Suoritettava pintakäsittely (Vaippapuoli):

Ruostumaton teräs Lasikuulapuhallus

Hiiliteräsosat White RAL 9010

## Höyryn puskurisäiliön mitoituslaskelmat

Käytettävän höyryn ominaisuudet:

Paine	6 bara
Lämpötila	158 °C
Massavirtaus	45 kg/h
Tilavuus	0,315 m <sup>3</sup> /kg
Tiheys	3,170 kg/m <sup>3</sup>

### Puskurisäiliön mitoitus:

Puskurisäiliönä päätettiin käyttää 0,8 metrin pituista DN 200 kokoista putkea oheisen iteroinnin perusteella:

DN (putki koko)	Pituus (m)	Tilavuus (m <sup>3</sup> )	Tyhjenemisaika (s)
150	0,6	0,011	3
200	0,8	0,025	6
300	1,0	0,106	27
500	1,0	0,196	50
500	1,6	0,314	80
300	0,8	0,057	14

Iteroinnissa pyrittiin pituudeltaan 0,5–1,2 metriseen putkeen, koska kyseinen koko soveltuisi layout-suunnittelun kannalta optimaalisesti prosessilaboratorioon ja mahdollistaisi putki- ja instrumenttiyhteiden lisäämisen.

Puskurisäiliön tyhjentymisajan yhtälönä käytettiin seuraavia kaavoja:

$$\text{Putken tilavuuden määrittäminen: } \frac{\pi}{4} * D_{in}^2 * L = V$$

$$D_{in} * \text{putken sisähalkaisija (m)} * \text{putken pituus (m)} = \text{Putken tilavuus}$$

$$\text{Putken täyttymis- ja tyhjentymisajan määrittäminen: } \frac{V}{m * \rho^{-1}}$$

$$\text{Putken tilavuus (m}^3\text{)} / (\text{höyryn massavirtaus (kg/s)} * \text{putken ominaistilavuus (m}^3\text{/kg)})$$

## Viemäroitävien vesivirtausten lämpötilalaskelmat

Viemäroitävät virtaukset normaalin käytön aikana:

	Lämpötila (°C)	Paine (bara)
Puskurisäiliön lauhdevesi	100	1
Höyrylabran lauhdevesi	100	1
Lämmennyt jäähdytysvesi	32	1
Yhdistetty jätevesivirtaus	68	1

Molemmat lauhdevedet yhdistetään yhdeksi virtaukseksi ja johdetaan spiraaliputkilämmönsiirtimen kautta viemäriin. Lämmönsiirtimen jäähdytysvetenä käytetään höyry- ja lauhdelaboratorion lämmennyt jäähdytysvettä. Tällöin lämmönsiirtimen kuumapuoli on 100 °C ja kylmäpuoli 32 °C.

Lämmönsiirtimen molemmat ulosvirtaukset yhdistetään ennen viemärointiä. Näin viemäroitävän jäteveden lämpötila saadaan laskettua noin 70 °C:een. Tämä melkein vastaa vesijohtoverkkoveden enimmäislämpötilaa 65 °C. Näin ollen viemäriputkistolle ei pitäisi koitua suunnittelematonta ylimääräistä lämpörasitusta.

Yhdistetyn jätevedenvirtauksen lämpötilan laskenta:

$$T_1 - T_2 = 100 \text{ °C} - 32 \text{ °C} = 68 \text{ °C}$$

$T_1$  = kuuma lauhdevesi

$T_2$  = lämmennyt jäähdytysvesi

\*Huomio, että laskennan oletuksena on täydellinen lämmönsiirto. Laskennan tarkkuutta voidaan pitää riittävänä, koska viemäroitävä jätevesivirtauksen lämpötila voi hyväksyttävästi olla jopa 80 °C, sillä virtaus toteutuu vain laitteiston käytön aikana muutamia kertoja vuodessa. Arvioinnin mukaan viemäroitävän veden lämpötila ei aiheuta ongelmia viemäriputkistossa.