

Miika Hirvi

MAITOKOLMION HÖYRYVERKOSTON KARTOITUS

MAITOKOLMION HÖYRYVERKOSTON KARTOITUS

Miika Hirvi
Opinnäytetyö
Kevät 2020
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Talotekniikan tutkinto-ohjelma, LVI-tekniikan suuntautumisvaihtoehto.

Tekijä: Miika Hirvi

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Maitokolmion höyryverkoston kartoitus.

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Study of Steam Distribution System in Maitokolmio Dairy

Työn ohjaaja: Jukka Ylikunnari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020 Sivumäärä: 46+5 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa Osuuskunta Maitokolmion Toholammin tuotantolaitoksen höyryverkoston ja lauhdeverkoston nykytilannetta. Työn tavoitteena oli päivittää olemassa olevat PI-kaaviokuvat vastaamaan nykytilannetta ja tarkastella höyry- ja lauhdeverkoston toimivuutta nykytilanteessa ja tulevaisuudessa. Työssä tarkasteltiin tulevaisuuden laajentamis- ja soveltumismahdollisuuksia höyryverkoston ja lauhdeverkoston osalta. Työn tilaajana toimi Osuuskunta Maitokolmion laitoshuolto, heiltä yhteyshenkilönä projektipäällikkö Marko Hotakainen.

Höyry- ja lauhdeverkoston kartoitus tehtiin laitoksella putkistoja seuraamalla ja aistien varaisilla keinoilla. Kartoituksen tuloksena höyry- ja lauhdeverkostoista löydettiin kehitys- ja korjauskohteita. Korjauskohteita olivat viallisten venttiilien uusiminen, vaurioittuneiden putkien korjaus ja vuotavien lauhteenpoistimien uusiminen. Kehityskohteita oli vesityksien lisääminen, höyrylinjan haaraputkien muuttaminen yläpuolelta lähteviksi ja hönkähöyrysäiliön lisääminen järjestelmään.

Työn tuloksena PI-kaaviokuvat piirrettiin vastaamaan nykytilannetta ja putkistoista piirrettiin uudet kuvat pohjakuviin. Laitoksella olevista höyry- ja lauhdejärjestelmien laitteistoista tehtiin laiteluettelot. Työssä laskettiin laitoksen laajentamismahdollisuuksia höyryverkoston osalta. Laskelmien perusteella laajentaminen on mahdollista joen puoleisesta linjasta, jos suurentaa kattilalta lähtevää putkea.

Asiasanat: höyry, lauhde, tuotantolaitokset, talotekniikka

ALKULAUSE

Opinnäytetyö tehtiin Osuuskunta Maitokolmiolle. Toivon, että työstä on hyötyä laitokselle nyt ja tulevaisuudessa. Esitän kiitokseni laitoshuolto-osastolle ja muulle organisaatiolle mielenkiintoisesta lopputyöaiheesta, jonka seurauksena sain tutustua höyryjärjestelmien ja lauhdejärjestelmien toimivuuteen ja suunnitteluun.

Haluan kiittää laitoshuolto-osastoa saamastani avuista, neuvoista, tiedoista ja tarvittavista materiaaleista. Erityiskiitoksen haluan osoittaa projektipäällikkö Marko Hotakaiselle, kunnossapitopäällikkö Anselmi Kinnuselle ja lehtori Jukka Ylikunnarille opinnäytetyön ohjauksesta.

Oulussa 12.5.2020

Miika Hirvi

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 HÖYRYN KÄYTTÖ	8
2.1 Höyryn käyttö teollisuudessa.....	8
2.2 Putkiston eristäminen	9
2.3 Putkiston mitoitus	10
2.4 Höyryturvallisuus.....	12
2.4.1 Höyryn turvallinen käyttö	13
2.4.2 Höyryn turvallinen käyttö tuotteessa	14
3 HÖYRY- JA LAUHDEVERKOSTON NYKYTILANNE	15
3.1 Kattila	15
3.2 Runko.....	16
3.3 Tuotteiden valmistuslaitteet.....	18
3.3.1 Kermapastööri	19
3.3.2 Maitopastööri	21
3.3.3 Säiliöiden lämmitys.....	22
3.3.4 Voivaunu.....	23
3.3.5 Voitykki	24
3.3.6 Piimäpastööri.....	25
3.3.7 Pesukeskus	27
4 KORJAUS JA KEHITYSIDEAT	29
4.1 Vuotokohdat.....	30

4.2	Vesitykset ja haaroitukset.....	31
4.3	Lauhteenpoisto ja hönkähöyry	33
5	LAAJENNUSMAHDOLLISUUDET	35
6	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET	45
	Liite 1 Höyryputken mitoitus	
	Liite 2 Painetekijät	
	Liite 3 Painehäviötekijät	
	Liite 4 PI-kaavio (salainen)	
	Liite 5 Laiteluettelo (salainen)	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana on Maitokolmio, joka on yli 110 vuotta toiminut osuuskunta, joka tuottaa maitoa ja muita maitotuotteita. Maitokolmion meijerin omistavat alueen lähimaitotuottajat. (1.)

Maitokolmio ottaa tuottajiltaan vastaan lähimaitoa noin 46 miljoonaa litraa vuodessa. Maitokolmiolla on noin 110 lähimaidontuottajaa. Lähimaitoa kerätään tiloilta seitsemänä päivänä viikossa. Maitokolmiolla on kaksi tuotantolaitosta: toinen Toholammilla ja toinen Sievissä. Toholammin tuotantolaitoksessa valmistetaan maidot, kermat, piimät, viilit ja rasvat, Sievin yksikössä valmistetaan rahkat ja vanukkaat. Maitokolmion markkina-alueena on koko Suomi, ja asiakkaina lähes kaikki elintarvikkeiden vähittäis- tai tukkukauppaa harjoittavat yritykset. Maitokolmio valmistaa tuotteita myös kaupan omalla merkillä eli Privat label -tuotantona. (1.)

Opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa Toholammin tuotantolaitoksen höyryputkisto ja höyrylaitteet. Kartoitus tehtiin myös lauhdeputkistolle ja lauhdelaitteille. Lisäksi laitokselle suunnitellaan parannusehdotuksia. Kuvat päivitetään vastaamaan nykypäivän tilannetta ja lisäksi tarkastellaan, minkälaiset mahdollisuudet on tehdä tulevaisuudessa muutoksia, jos tarvetta ilmenee muutostöihin. Höyryä käytetään laitoksella prosesseissa lämmittämiseen ja pesuun.

2 HÖYRYN KÄYTTÖ

2.1 Höyryn käyttö teollisuudessa

Höyryn käyttö teollisuudessa monissa tapauksissa on suosittua ja olennainen osa nykyaikaista tekniikkaa. Höyryn käyttöä teollisuudessa ovat esimerkiksi mekaaninen energiantuotanto, tilan lämmitys ja prosessisovellukset. Höyryn käytön suosio johtuu siitä, kun höyry lauhtuessaan luovuttaa suuren määrän lämpöä. Tästä johtuen isoja lämpötehoja voidaan siirtää pienillä putkiko'illa. (2, s. 80.)

Vettä on helposti saatavilla sen runsauden vuoksi. Vesi on nesteenä edullista hankkia, ja sen käsittely on edullista. Kaasumaisessa muodossaan se on turvallinen ja tehokas tapa siirtää energiaa. Höyryyn mahtuu viisi tai kuusi kertaa niin paljon potentiaalista energiaa kuin vastaavaan massaansa vettä. (3, linkit opi höyrystä → esittely → höyry energianesteenä.) Höyry sisältää suuren määrän varastoitunutta energiaa, joka siirretään lämmönsiirtimeen. Lämmönsiirtimessä energia siirretään fluidista toiseen ja siirretty energia johdetaan prosessiin.

Kustannustehokas höyryn jakaminen on tärkeää höyryn tuottokohteen ja käyttökohteen välillä. Höyryn jakeluputkistoon tulee ohjata laadukasta höyryä oikea määrä ja oikean paineisena kulutuskohteisiin. Höyryn siirto tulee tapahtua mahdollisimman pienellä lämpöhäviöllä. (4, s. 3.)

Höyry tuotetaan kattilassa. Kattilassa poltettava polttoaine voidaan valita useasta eri vaihtoehdosta. Tämän vuoksi kattilasta saadaan helposti ympäristöstä vällinen valitsemalla polttoaineeksi, jokin uusiutuva polttoaine. Kattilaan syötettävä vesi on käsiteltävä kemikaaleilla, koska tavallinen juomavesi ei sovellu sellaisenaan syöttövedeksi. Kattilan vesitasoa on tarkkailtava, että se ei mene liian matalaksi eikä liian korkeaksi.

Kattilassa tuotettu höyry johdetaan käyttökohteeseen putkistoa pitkin. Höyry on johdettava hyvälaatuisena käyttökohteisiin. Tämän saavuttamiseksi putkistot varustetaan siivilöin, suodattimin, erottimin ja lauhteenpoistimin. Siivilät ja suodattimet poistavat roskia höyryvirtauksesta. Roskien poisto on tärkeää, että ne eivät vahingoita lopputuotetta.

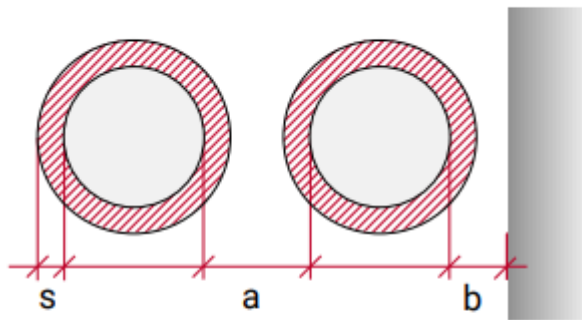
2.2 Putkiston eristäminen

Putkistot eristetään, jotta saadaan lämpöhäviöt mahdollisimman pieneksi ja eristämällä saadaan kuumat putket suojattua, ettei niissä pystyisi kukaan ihminen polttamaan ja loukkaamaan itseään. Höyryputkistot eristetään sarjan 26 mukaisesti ja lauhdeputkistot eristetään sarjan 24 mukaisesti (5, työkalut ja dokumentit → esitteet → talotekniikka → asennusopas). Taulukossa 1 on esitetty eristepaksuudet eri sarjoissa. Eistemateriaaleja markkinoilla on tarjolla monenlaisia: mineraalivilla, lasivilla, kivivilla, polystyreeni, solukumi ja polyuretaani (6).

TAULUKKO 1. Eristepaksuudet ja asennusvälit (5, s. 6)

Eristepaksuus ja asennusvälit									
Putken ulkohalkaisija	Eristepaksuus mm								
	Sarja 21			Sarja 22			Sarja 23		
d_u mm	s mm	a mm	b mm	s mm	a mm	b mm	s mm	a mm	b mm
10...49	20	90	60	30	110	70	40	130	80
50...89	30	110	70	40	130	80	50	150	90
90...168	40	130	80	50	150	90	60	170	100
170...324	50	150	90	60	170	100	80	210	120
325...714	60	170	100	80	210	120	100	260	140
	Sarja 24			Sarja 25			Sarja 26		
10...49	50	150	90	60	170	100	80	210	120
50...89	60	170	100	80	210	120	100	260	140
90...168	80	210	120	100	260	140	120	300	170
170...324	100	260	140	120	300	170	140	340	190
325...714	120	300	170	140	340	190	160	380	210

Tehokas putkieristys vaatii putkien välissä tarpeeksi tilaa, koska eristys perustuu useimmiten liikkumattomaan ilmakerrokseen. Kuvassa 1 on esitetty taulukossa käytettyjen kirjaimien selitykset ja kuvattu mitä mittaa ne esittävät.



s = Eristepaksuus

a = Kahden eristettävän putken väli. Eristettyjen putkien väli on 50 - 60 mm.

b = Eristettävän putken ja kiinteän rakenteen väli. Eristetyn putken ja kiinteän rakenteen väli on putkikoosta riippuen 30 - 50 mm.

KUVA 1 eristetyt putket (5, s. 6)

2.3 Putkiston mitoitus

Höyryputken mitoitus aloitetaan päättämällä, millä, paineella höyryä siirretään. Mikäli höyryputkisto on jo olemassa ja tarvitsee asentaa lisää putkistoa, niin höyryn paine pitäisi pitää mahdollisimman pienenä. Valitettavan useasti, kun höyryn tarvetta ilmenee, höyryputkistoon asennetaan tarvittavat haarat vain lähimmästä kohdasta, ilman minkäänlaista tarkastelua riittääkö vanhassa putkistossa kapasiteetti ja onko höyrynpaine sopiva tulevalle käyttökohteelle.

Paineen päättämisen jälkeen mitoitetaan höyryputket. Kattilalta lähtevän putken koko on viisasta valita kattilaventtiilin kokoiseksi, jos venttiilin koko on tarpeeksi suuri. Laitteiden haarat mitoitetaan sille koolle mikä on riittävä. (4, s. 3.) Ylimitoitus ei ole viisasta energiatehokkuuden kannalta eikä taloudellisestikkaan. Näin ollen putkia ei kannata mitoittaa ylikokoiseksi vain siltä varalta, että joskus tulevaisuudessa voi ilmetä lisää tarvetta höyrylle.

Esimerkiksi asennuskustannukset ovat DN 80 -putkilinjalla noin 40 prosenttia enemmän kuin DN 50 -putkilinjalla. DN:llä tarkoitetaan putken nimelliskokoa. Ylimitoitettujen putkien käyttökustannukset ovat myös suuremmat. Esimerkiksi

lämpöhäviöt ovat DN 80 putkessa 50 prosenttia enemmän kuin DN 50:ssä, joten lauhdettakin muodostuu 50 prosenttia enemmän, mikä pitää saada poistettua.

Alimitoitettut höyryputket eivät myöskään toimi halutulla tapaa ja aiheuttavat paljon ongelmia. Putket eivät pysty siirtämään tarvittavaa määrää höyryä. Putket aiheuttavat suuria painehäviöitä. Suuret painehäviöt aiheuttavat ylimääräisiä pumppauskustannuksia. Alimitoitetuilla putkilla laitoksen teho laskee. Liian pienet putket aiheuttavat suurta virtausnopeutta, joka aiheuttaa putkien kulumista ja mahdollisesti aiheuttavat vesi-iskuja. (4, s. 3.)

Tämän takia höyryputkistot on mitoitettava joka kerta tapauskohtaisesti. Oikeilla mitoitustiedoilla ja ammattitaidolla putket saadaan mitoitettua oikean kokoisiksi. Tällä saadaan asennus- ja käyttökustannukset mahdollisimman vähäisiksi. Oikealla putkimitoituksella saadaan laitokset toimimaan oikein ja halutulla tapaa.

Mitoitus tehdään nopeuden mukaan tai painehäviön mukaan. Nopeuden mukaan mitoitettaessa valitaan virtausnopeus. Virtausnopeudet valitaan kokemusperäisten suositeltavien virtausnopeuksien avulla. Virtausnopeuden maksimina voidaan pitää 35 m/s kuivalle kylläiselle höyrylle, jotta melu ja kuluminen pysyvät pienenä. Höyrymääriä eri virtausnopeuksille ja eri putkikoille on esitetty liitteessä 1. Taulukkomitoitus nopeuden mukaan on helppo ja nopea tapa ja soveltuu lyhyehköjen putkien mitoitamiseen, jos painehäviötä ei tarvitse käyttää mitoituksen perusteena. Kun paine ja lämpötila on tiedettävä putken loppupäässä tai kun putki on pitkä, käytetään painehäviön mukaan tehtävää mitoitusta. Painehäviömitoitukseen voidaan käyttää kaavaa, joka on esitetty kaavassa 1. P1 ja P2 määritellään taulukosta, joka on esitetty liitteessä 2.

Painehäviötekijä saadaan laskettua kaavalla 1 (4, s. 3)

$$\frac{P_1 - P_2}{L} = F$$

KAAVA 1

P1 = putken alkupään paineen mukainen painetekijä

P2 = putken loppupään paineen mukainen painetekijä

L = putken pituus kertavastuksineen

F = painehäviötekijä

Laskentaesimerkkinä voidaan käyttää alkupaineena 3,5 bar:a, jonka painetekijä on silloin 18,54. Putken loppupään paine on 3 bar:a, jonka painetekijä on silloin 14,76. Putken pituus on 48 metriä kertavastuksineen. Nämä arvot sijoitettuna kaavaan 1 saadaan tulokseksi 0,078. Edellä olevalla luvulla saadaan luettua liitteestä 3, että putkikoko pitäisi olla DN 40 ja kaavalla 2 saadaan laskettua höyryn nopeus.

Taulukossa, joka on liitteessä 3 höyryn nopeus (Y) on ilmoitettu arvona, kun höyryn tilavuus on 1 m³/kg. Todellinen höyryn virtausnopeus saadaan laskettua kaavalla 2. Y on DN 40 putkessa 0,06:n kohdalla 84,06 m/s ja ominaistilavuus on 0,413 m³/kg.

Todellinen höyryn nopeus saadaan laskettua kaavalla 2 (4, s. 27)

$$Y = \frac{\text{Todellinen nopeus} \cdot 1 \text{ m}^3/\text{kg}}{\text{ko.höyryn om.tilavuus}}$$

KAAVA 2

Y = höyryn nopeus, kun höyryn tilavuus 1 m³/kg

ko. höyryn ominaistilavuus saadaan luettua liitteestä 2 olevasta taulukosta.

Nopeudeksi tulee edellä olevalla kaavalla ja edellisillä luvuilla 34,7 m/s, joka on aika suuri, joten kannattaa valita DN 50 putki.

2.4 Höyryturvallisuus

Höyry voidaan todeta olevan turvallinen prosessiväliaine. Raaka-aineena toimii vesi, joka höyrystetty. Turvallisuus vaatii, kuitenkin oikein suunniteltua putkistoa, oikein valittuja venttiileitä ja prosessista saatavan informaation keräämistä ja hyödyntämistä. (7, Tuotteet → höyry ja lauhde.) Oikeinvalitulla tarkoitetaan höyrylle soveltuvia venttiileitä paine ja lämpötila huomioiden. Informaation keräämisellä tarkoitetaan esimerkiksi putkiston kulumisen seuraamista.

2.4.1 Höyryn turvallinen käyttö

Höyryputkistossa on muutama huomioon otettava seikka, jotka ovat turvallisuusriskejä. Turvallisuusriskejä ovat vesi-iskut, murtumat, polttava höyry ja vakavimpana räjähdykset. Vesi-iskuja aiheutuu kahdesta eri syystä ja ne syyt ovat putkistoon kertyvä liiallinen lauhde ja höyryn hallitsematon lauhtuminen. (8.) Vesi-iskut voivat särkeä venttiilit, jos ne ovat voimakkaita. Vesi-iskuissa on valtava voima, jos se ei pääse purkautumaan mihinkään. Esimerkiksi vesi-iskun syntyessä linjassa on vastassa suljettu venttiili ja vesi-iskun aiheutuma voima purkautuu linjan heikoimmasta kohdasta ulos. Murtumat aiheutuvat vuodoista hiljalleen. Särö laajenee suuremmaksi ja suuremmaksi joka lopulta tekee murtuman. Murtumat voidaan estää säännöllisellä putkiston tarkistuksella ja korjaamisella, jos putkistossa on nähtävillä säröjä. Putkistoja voidaan tarkistaa pintatarkastuksilla.

Polttavaa höyryä voi esiintyä, jos putkistossa on vuotoja ja niistä tulee ulos höyryä. Tämä aiheuttaa palovammoja, jos höyry osuu ihmisiin. Palovammoja voi aiheuttaa myös eristämättömät putket. Höyrypalovamma aiheutuu pinnalliseksi muutamassa sekunnissa, jos lämpötila on 60–70 °C. Vamma pahenee syväksi palovammaksi 15–20 sekunnissa, jos lämmönlähdettä ei saada estettyä. Kuumen höyryn hengittäminen voi aiheuttaa hengitystiepalovamman. Siihen on suurempi vaara kuolla mitä palaneeseen ihoon.

Pienessä suljetussa tilassa vuotava höyry muuttuu nopeasti kuumaksi lauhdeksi ja se on tehokas lämmönjohdin ja siksi vaarallista. Kuuma lauhde kypsentää ihmislihan, jos tilasta ei pääse pois. Räjähdykset ovat suurin turvallisuusriski, mutta onneksi nykypäivänä harvinaisia tiukentuneen painelaitelain takia. Painelaitteille on tehtävä säännölliset tarkastukset. (7, Koulutukset→webinaarit→höyryturvallisuus.)

2.4.2 Höyryn turvallinen käyttö tuotteessa

Lopputuotteen laatuun ja turvallisuuteen voidaan vaikuttaa valitsemalla oikea höyrytyyppi. Höyrytyypit voidaan lajitella neljään ryhmään teollisuudessa: laitoshöyry, suodatettu höyry, puhdas höyry ja ultrapuhdas höyry. Elintarvikkeiden valmistusprosessissa käytettävälle höyrylle ei ole tällä hetkellä lainsäädäntöä, vaan laki on lopputuotteen laadulle ja turvallisuudelle. Valmistaja on vastuussa tuotteensa mahdollisista riskeistä ja pitää estää riskit tuotannon aikana.

Laitoshöyry sopii käytettäväksi silloin, kun höyry ei ole suorassa kontaktissa tuotteen kanssa. Laitoshöyryä käytetään lämmönsiirtoon. Laitoshöyry soveltuu suurimmalle osalle käyttäjistä. Laitoshöyrystä aiheutuvat epäpuhtaudet ovat yleensä fysikaalisia, kuten ruostepartikkelit, kemiallisia, kuten veteen liuenneet kemikaalit. Oikein toteutettuna vedenkäsittely vähentää epäpuhtauksien määrää höyryssä, mutta niitä voi irrota siitä huolimatta kattilasta ja putkistosta. Jos höyryä syötetään suoraa tuotteeseen, on käyttäjän mietittävä onko laitoshöyryn puhtaus riittävä. Useat elintarvike valmistajat käyttävät suodatettua laitoshöyryä ja osa on jo siirtynyt käyttämään puhdashöyryä varmistaakseen tuotteen korkean laadun.

Suodatetulla höyryllä tarkoitetaan laitoshöyryä, mikä on suodatettu viiden mikrometrin suodattimella. Tällä toimenpiteellä saadaan poistettua 95 prosenttia yli kahden mikrometrin partikkeleista. Puhdashöyry eroaa laitoshöyrystä ja suodatetusta laitoshöyrystä oleellisesti. Suurin ero on tuotannossa. Puhdashöyry tuotetaan sekundäärisillä höyrynkehittimillä ja syöttöveden laatu on tarkasti valvottua. Syöttövedestä poistetaan lähes kaikki kiintoaine jo esikäsittelyvaiheessa. Lääketeollisuus ja terveydenhuolto ovat suurimpia kuluttajia puhtaalle höyrylle ja ultrapuhtaalle höyrylle, mutta nykyistä puhtaammalla höyryllä saadaan hyötyä kaikkiin sellaisiin prosesseihin, joissa höyry on tekemisissä tuotteen kanssa. Höyry on oleellinen osa tuotantoprosessia, joten sen puhtausluokka kannattaa valita tarpeen mukaan.

3 HÖYRY- JA LAUHDEVERKOSTON NYKYTILANNE

Nykytilanteen kartoitus aloitettiin tutkimalla olemassa olevaa höyryn jakeluputkiston PI-kaaviota, jotta saatiin luotua tuotantolaitoksesta kokonaiskuva. PI-kaavio on prosessi- ja instrumentointikaavio, ja sitä käytetään teollisuuden esittämisessä. Tutustumisen jälkeen PI-kaavio päivitettiin vastaamaan nykypäivän tilannetta. Piirretty PI-kaavio on liitteenä 4. Putkiston kartoitus tehtiin ensiksi käsin piirtämällä pohjakuviin, minkä jälkeen kuvat piirrettiin puhtaaksi CADS Hepac Pro -piirto-ohjelmalla. Putkiston kartoittamisen jälkeen kartoitettiin putkivarusteet ja tehtiin niistä taulukko. Taulukko on esitetty liitteessä 5.

3.1 Kattila

Höyry tuotetaan laitoksella olevalla höyrykattilalla, joka on Höyrytys Oy:n Vapor Works HA-50 1,4 MW:n kattila. Kuvassa 2 on esitetty kattilan tyyppikilpi.



KUVA 2. Kattilan tyyppikilpi

Kattilan polttoaineena toimii nestekaasu. Kattila on varustettu Weishauptin nestekaasupolttimella (kuva 3). Kattilasta lähtevän höyryverkoston paine on 3,5 bar. Kattila toimii tällä hetkellä tilanteesta riippuen 10–30 prosentin teholla.



KUVA 3. Höyrykattila ja nestekaasupoltin

3.2 Runko

Höyryputkiston runko on toteutettu siten, että kattilalta lähtevä runko menee höyryn jakotukille, josta höyry jaetaan käyttökohteisiin. Putkisto on esitetty piirretyssä PI-kaaviossa, joka on liitteessä 4. Höyryn jakotukilta höyry lähtee neljään eri rungon osaan. Jakotukilta lähtee kaksi linjaa, jotka menevät laitteille ja ovat käytössä prosesseissa, joko lämmityksessä tai pesussa. Linjoista on käytetty nimityksiä joen puoli ja pihan puoli. Yksi linja lähtee kattilahuödykkeille ja yksi lähtevä linja on poistettu käytöstä. Höyryputkien runkolinjat ovat putkikokoja DN 40 – DN 100, jotka ovat normaaleja teräsputkikokoja. Teräsputkikoot on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Putkikoot (9.)

Keskiraskaat teräsputkikoot		
Ulkohalkaisija [mm]	Tuumamitat ["]	DN- koko
17,2	3/8	10
21,3	1/2	15
26,9	3/4	20
33,7	1	25
42,4	1 1/4	32
48,3	1 1/2	40
60,3	2	50
76,1	2 1/2	65
88,9	3	80
114,3	4	100
139,7	5	125
165,1	6	150

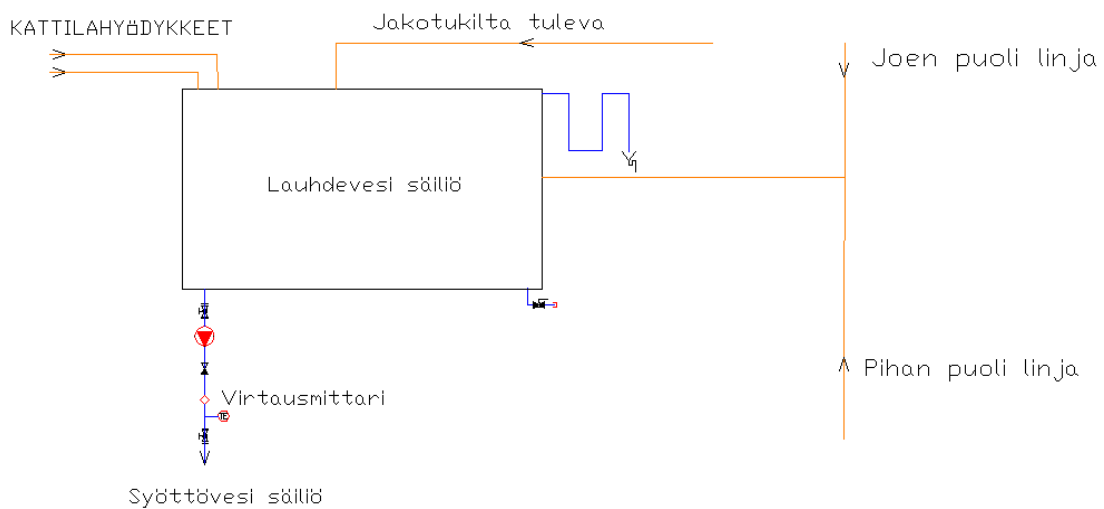
Runkolinjat on tehty joko normaalista teräsputkesta tai ruostumattomasta teräsputkesta. Runkolinjat on eristetty 30–100 mm:n villaeristeellä. Eristeen paksuus riippuu runkolinjan putkikoosta. Eristämisellä saadaan vähennettyä putkien lämpöhäviöitä. Lisäksi runkolinjat ovat pellitetty hygieniasyistä, jotta villa ei pölise tuotantotiloissa.

Lauhdeputkiston runko on asennettu laitoksen molempiin laitoihin kuten myös höyrylinjat. Lauhdeputket menevät höyrylinjojen vieressä, ja näin ollen lauhteenpoisto on ollut helppo toteuttaa. Lauhdeputkistot yhdistyvät kellarissa yhdeksi putkeksi, joka menee lauhdeveisisäiliöön. Lauhdeveisisäiliö on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Lauhdeveisisäiliö

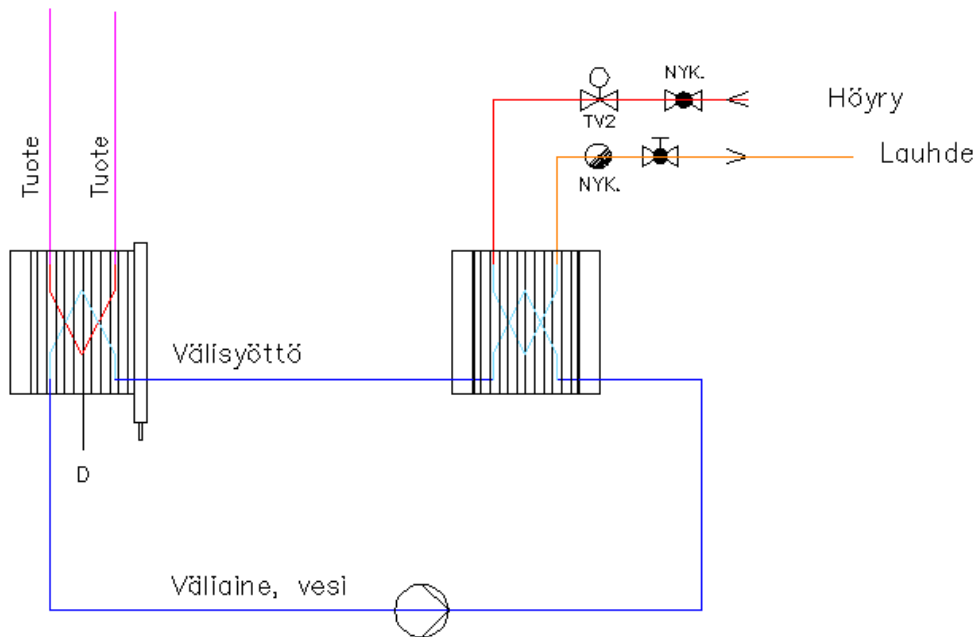
Lauhdevesisäiliöön tulee kolme muutakin putkea. Yksi lauhdevesisäiliöön kytketty putki on höyrynjakotukilta tuleva lauhdeputki. Kaksi lauhdevesisäiliöön asennettua putkea tulee kattilahiödykkeiltä. Lauhdelinjoista on esitetty havainnollistava kytkentäkaavio (kuva 5). Lauhdevesisäiliöstä on yksi lähtevä putki, josta lauhde pumpataan syöttövesisäiliöön, josta vesi syötetään takaisin kattilaan ja uudelleen höyrytetään. Lauhdevesisäiliössä on ylivuotoputki, joka on johdettu viemäriin. Lauhdeputket ovat kooltaan DN 15 – DN 50, jotka ovat normaaleja teräsputkikokoja. Lauhdeputket on eristetty 50–90 mm:n eristeellä ja pellitetty päälle.



KUVA 5 Lauhdevesisäiliön putkisto

3.3 Tuotteiden valmistuslaitteet

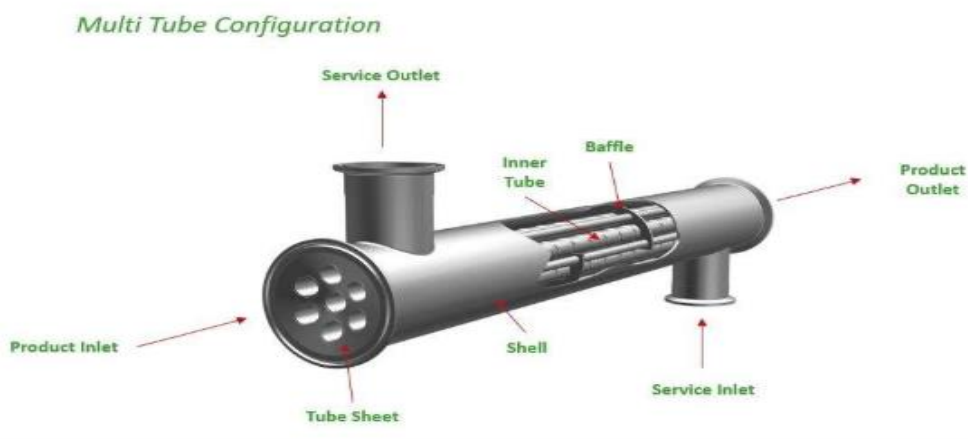
Laitteissa, joissa lämmitetään elintarviketuotteita, on käytössä epäsuora lämmönsiirrin. Lämmitetty vesi siirretään väliputkella toiseen siirtimeen, jossa siirtimen toisella puolella kiertää lämmitettävä tuote. Kuvassa 6 on esitetty välisyötöllä toimivien siirtimien periaatekytkentä.



KUVA 6. Välisyöttö

3.3.1 Kermapastööri

Kermapastöörissa höyryä käytetään tuotteen lämmitykseen. Kermapastöörissa lämmönsiirtimenä on putkilämmönsiirrin. Putkilämmönsiirtimenä on APV:n valmistama moniputkilämmönsiirrin. Moniputkilämmönsiirrin on esitetty kuvassa 7.



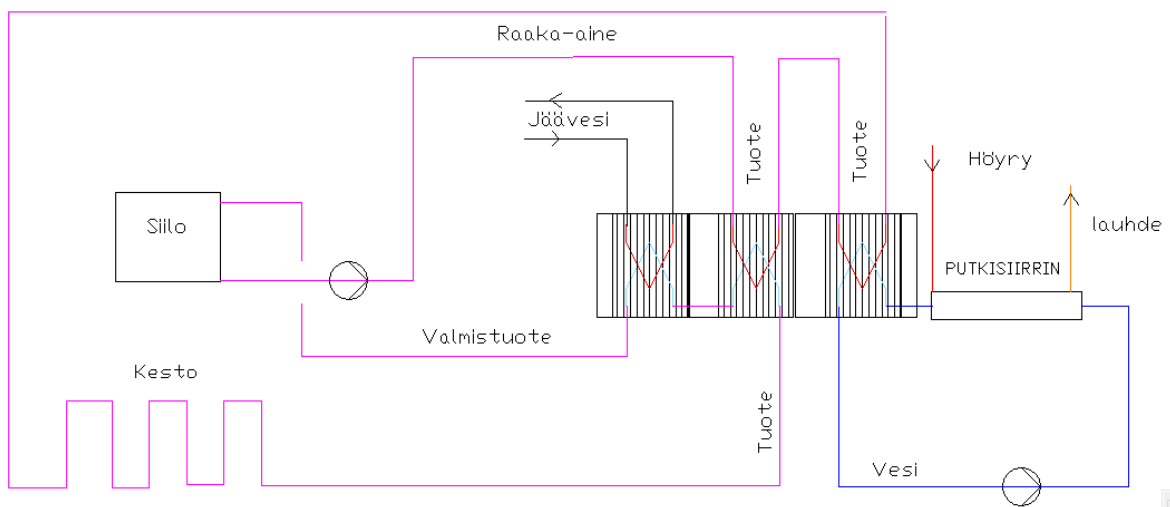
KUVA 7. Moniputkilämmönsiirrin (10)

Kerma tulee kermapastööriin noin 8 °C:n lämpöisenä. Kermalle tehdään regenerointi. Regeneroinnilla tarkoitetaan tuotteen lämmitystä tai jäähdystä, joka

tapahtuu tuotteen tuottamalla lämmöllä. Tällä säästetään energiaa, kun ei tarvitse lämmittää kylmää tuotetta höyryllä suoraan pastörintilämpötilaan vaan voidaan hyödyntää tuotteen tuottamaa lämpöä. Vastaavasti sama hyöty saadaan, kun tuotetta ei tarvitse jäähdyttää korkeasta lämpötilasta loppulämpötilaan jäävedellä. (Kuva 8.) Tässä vaiheessa tuote lämmittää regeneroinnin seurauksena itse tuotetta. Regeneroinnin seurauksena tuotteen lämpötila nousee 8 °C:sta noin 60 °C:seen. Tämän jälkeen tuotteelle tehdään pastörinti. Kuvassa 8 vasemmanpuoleinen pakka on jäähdytystä varten. Keskimmaisessä pakassa tapahtuu regenerointi. Oikeanpuoleisessa pakassa tapahtuu pastörinti ja korkeapastörinti.

Pastörinti on lämpökäsittely, jossa maidon säilyvyyttä parannetaan tuhoamalla tautia aiheuttavat mikrobit sekä maidon pilaantumista edistävät ja muuten haitalliset mikrobit (11 s. 25). Pastörintinnissa tuotteen lämpötila nostetaan noin 60 °C:sta noin 80 °C:seen. Tämä lämpötilan nosto tehdään höyryllä. Höyry tuodaan putkilämmönsiirtimeen, josta se syötetään välisyötöllä levylämmönsiirtimeen. Levylämmönsiirtimen toisella puolen kiertää tuote.

Tämän jälkeen tuotteelle tehdään korkeapastörinti. Korkeapastörintiä käytetään kermojen ja hapanmaitovalmisteiden valmistuksessa. Korkeapastörintin seurauksena tuotteen lämpötila nostetaankin 80 °C:sta noin 90 °C:seen. Tämä lämpötilan nosto tuotetaan höyryllä, kuten edellinen lämpötilan nosto.



KUVA 8. Kermapastöörin prosessikaavio

Kermapastööriin tuleva höyryputki on kokoa DN 40. Höyryputki on varustettu sulkuventtiileillä ja paineilmatoimisella säätöventtiilillä. Putkilämmönsiirtimeltä lähtevä lauhdeputki on kokoa DN 40. Lauhdeputki on varustettu lauhteenpoistimella, takaiskuventtiilillä ja sulkuventtiilillä.

3.3.2 Maitopastööri

Maitopastöörissa höyryä käytetään tuotteen lämmitykseen. Maitopastöörin levylämmönsiirtimenä on käytössä APV:n valmistama levylämmönsiirrin. Maidon kulku on seuraavanlainen. Maito tulee maitopastööriin noin 5 °C:n lämpöisenä. Maidolle tehdään ensimmäisenä regenerointi. Tässä vaiheessa tuote lämmittää regeneroinnin suorauksena itse tuotetta. Regeneroinnin seurauksena tuotteen lämpötila nousee 5 °C:sta noin 60 °C:seen.

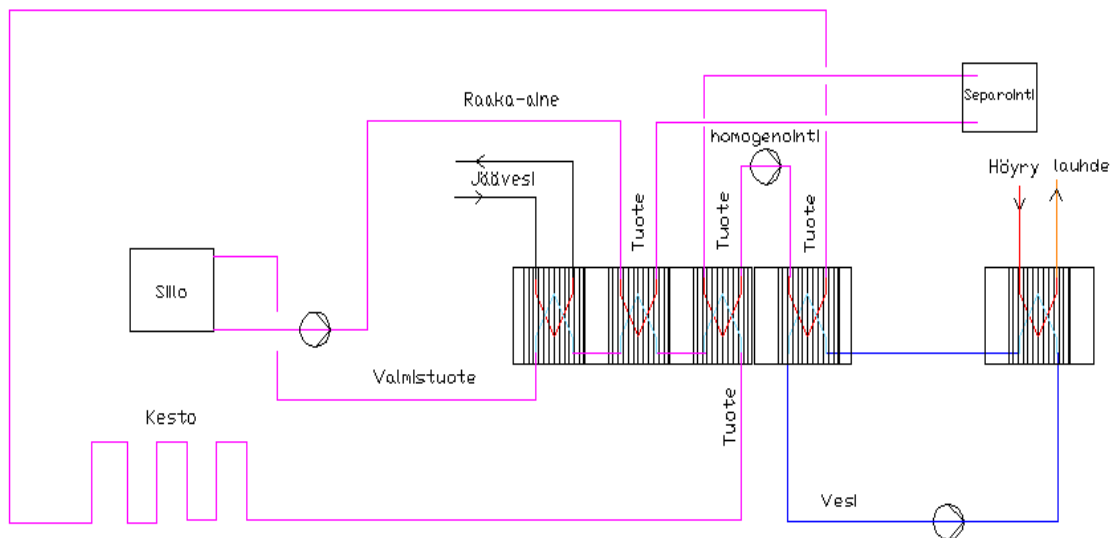
Tämän jälkeen tuote menee separaattoriin, jossa tapahtuu separointi. Separoinnissa maidosta erotetaan rasva, jolloin syntyy rasvatonta maitoa ja kermaa. Separattorin toiminta perustuu keskipakovoimaan ja maidon rasvaisen osan ja rasvattoman osan erilaiseen tiheyteen. Separointi ei muuta maidon kemiallisia ominaisuuksia (11, s. 24).

Separoinnin jälkeen tuotteen lämpötilaa nostetaan vielä regeneroinnissa 60 °C:sta noin 70 °C:seen. Höyry tuodaan levylämmönsiirtimeen, joka lämmittää väliaineena toimivan veden, joka menee välisyötöllä toiselle levylämmönsiirtimelle (kuva 9). Separattorin jälkeen tuote menee homogenointiin.



KUVA 9. Maitopastöörin levylämmönsiirtimet

Täys-, kevyt- ja ykkösmaito homogenoidaan. Homogenoinnilla tarkoitetaan maidon ja kerman rasvan pilkkomista hienojakoiseksi, jolloin rasva liukenee maitoon eikä pääse nousemaan pinnalle. (12.) Tämän jälkeen nostetaan tuotteen lämpötila 70 °C:sta noin 80 °C:seen höyryllä, kuten edellinenkin. Tämän jälkeen tuote menee kestoputkitukseen, jossa tuote jäähdytetään noin 8 °C:seen. Tuotteen kulku on esitetty kuvassa 10. Vasemmalta lähtien ensimmäisessä pakassa tapahtuu valmiin tuotteen jäähdytys. Toisessa pakassa vasemmalta tapahtuu regenerointi, josta tuote menee separointiin. Kolmannessa pakassa vasemmalta tapahtuu taas regenerointi ja neljännessä pakassa vasemmalta tehdään lämpötilan nosto tuotteelle. Viidennessä pakassa vasemmalta tapahtuu veden lämmitys. Vesi lämmitetään höyryllä.



KUVA 10. Maitopastöörin prosessikaavio

Maitopastöörille menevä höyryputki on kokoa DN 40. Höyryputki on varustettu sulkuventtiileillä ja säätöventtiilillä. Maitopastöörilta lähtevä lauhdeputki on kokoa DN 20. Lauhdeputki on varustettu uimurilauhteenpoistimella, tyhjennysventtiilillä, takaiskuventtiilillä ja sulkuventtiilillä.

3.3.3 Säiliöiden lämmitys

Säiliöiden lämmityksessä höyryllä lämmitetään siirtimiä, jotka lämmittävät nestettä, jolla sitten lämmitetään säiliöitä (kuva 11). Lämmitettäviä säiliöitä on neljä kappaletta. Niiden lisäksi on yksi lämmönsiirrin, jonka lämpö otetaan siirtimestä.



KUVA 11. Säiliöiden lämmityksen levylämmönsiirrin

Säiliöiden lämmitykseen menevä höyrylinja on kokoa DN 80, joka pienenee lopussa kokoon DN 50. Säiliöiden lämmityksen höyrylinja on varustettu sulkuventtiileillä, säätöventtiileillä ja paineilmalla toimivilla sulkuventtiileillä. Säiliöiden lämmityksestä lähtevä lauhdelinja on kokoa DN 40. Säiliöiden lämmittimien lauhdelinja on varustettu sulkuventtiileillä ja lauhteenpoistimilla.

3.3.4 Voivaunu

Voivaunussa höyryä käytetään voin sulattamiseen pesuvaiheessa. Voivaunuun tuleva höyry syötetään kahta kautta. Voivaunun höyryn pääsyöttö tapahtuu kokoa DN 40 olevasta putkesta ja toinen syöttö on kokoa DN 20 (kuva 12). Höyryn syöttö tapahtuu manuaalisesti sulkuventtiiliä avaamalla. Voivaunussa ei ole lauhdelinjaa, koska syötetty höyry menee voisulan mukana.



KUVA 12. Voivaunu

3.3.5 Voitykki

Voitykki on Pasilacin valmistama kone (kuva 13). Voitykissä höyryä käytetään voin sulatuksessa lauhdeveden valutukseen, sulatukseen ja jälkihuuhtelun veden lämmitykseen. Höyryä käytetään kuumavesihuuhtelussa veden lämpötilan nostoon kirnuamisosaston huuhtelussa, seularummun huuhtelussa ja vaivausosaston huuhtelussa. Laitteen pesussa höyryä käytetään veden lämpötilan nostoon. Höyryä syötetään seuraavissa tilanteissa: vaivausosastojen ja tasaussäiliön täyttöön, pesuvien kuumennukseen ja vaivausosastojen pesuun, seularummun pesuun, kirnuamisosaston pesuun.



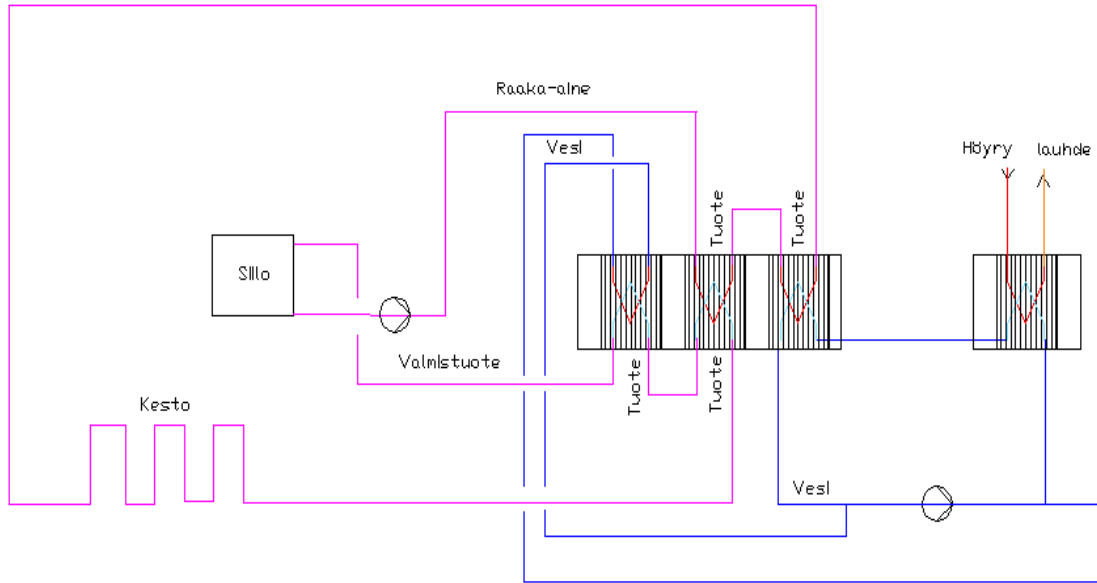
KUVA 13. Voitykki

Voitykille tuleva höyrylinja on kokoa DN 32. Voitykin höyrylinja on varustettu sulkuventtiileillä ja säätöventtiilillä. Voitykille tulevasta höyrylinjasta on otettu haara, joka menee paineilmasuodatuksen pesuun. Voitykiltä lähtevä lauhdelinja on kokoa DN 15. Voitykin lauhdelinja on varustettu takaiskuventtiilillä ja uimurilauhteenpoistimella.

3.3.6 Piimäpastööri

Piimäpastöörissa höyryä käytetään tuotteen lämmitykseen. Tuotetta lämmitetään kolmessa osassa. Piimämaito tulee piimäpastööriin noin 5 °C:n lämpöisenä. Piimämaidolle tehdään ensimmäisenä regenerointi. Tässä vaiheessa tuote lämmitää regeneroinnin seurauksena itse tuotetta. Regeneroinnin seurauksena tuotteen lämpötila nousee 5 °C:sta noin 80 °C:seen. Tämän työvaiheen jälkeen tehdään pastörinti. Pastörinti on kuumennuskäsittely, jolla maito ja kerma saadaan säilyvämmiksi ja hygieenisemmiksi (12). Pastöroinnissa nostetaan tuotteen lämpötilaa noin 90 °C:seen. Tämä lämpötilan nosto toteutetaan pastöörissa höyryllä.

Tuote menee kestoputkitukseen, jonka jälkeen regenerointi jäädyttää tuotteen. Tuote jäähdytetään noin 10 °C:seen, minkä jälkeen tuotteelle tehdään jälkilämmitys, joka tuotetaan pastöörissa höyryllä. Jälkilämmityksessä tuotteen lämpötila nostetaan 10 °C:sta noin 30 °C:seen. Piimäpastöörissa höyry syötetään ensimmäiseen levylämmönsiirtimeen, josta välisyötöllä siirretään tuotettu lämpö toiseen levylämmönsiirtimeen. Levylämmönsiirtimet esitetään kuvassa 14. Ensimmäisessä vasemmalta olevassa pakassa tapahtuu jälkilämmitys. Toisessa vasemmalta olevassa pakassa tapahtuu regenerointi. Kolmannessa vasemmalta tapahtuu separointi. Oikeanpuoleiseen pakkaan tuodaan höyry ja lämmitetään sillä vesi, jolla toteutetaan lämpötilan nosto.



KUVA 14. Piimäpastöörin prosessikaavio

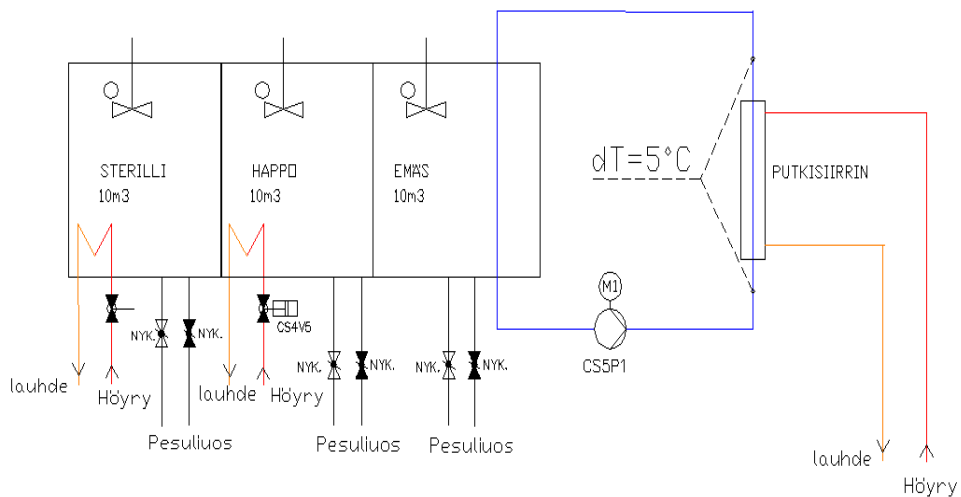
Toisessa levylämmönsiirtimessä vastapuolella kiertää lämmitettävä piimämaito. Jälkilämmitys tapahtuu omalla lämmönvaihtimella. Levylämmönsiirtimet ovat Alfa Laval tetra pakin valmistamia. Piimäpastööriin menevä höyryputken koko on DN 40. Höyryputki on varustettu sulkuventtiileillä ja säätöventtiilillä. Piimäpastööristä lähtevä lauhdeputki on kokoa DN 20. Lauhdeputki on varustettu uimurilauhteenpoistimella, tyhjennysventtiilillä, takaiskuventtiilillä ja sulkuventtiilillä. Kuvassa 15 on esitetty höyryputket. Oikeassa laidassa näkyvä pellitetty putki on höyryputki ja vasemmassa laidassa oleva pellitetty putki on lauhdeputki.



KUVA 15. Piimäpastöörin levylämmönsiirtimet

3.3.7 Pesukeskus

Pesukeskuksessa höyryä käytetään valmiin pesuliuosseoksen lämmittämiseen. Pesukeskuksessa pesuliuosta lämmitetään putkilämmönsiirtimellä yhdessä säiliössä ja putkikierukka on kahdessa säiliössä, joista toinen on poistettu käytöstä (kuva 16).



KUVA 16. Pesukeskuksen putkitukset

Pesukeskuksen säiliössä, höyry syötetään putkilämmönsiirtimeen, jossa kiertää vastapuolella pesuliuos. Putkilämmönsiirrin pesukeskuksessa on moniputkisiirrin. Putkilämmönsiirrin lämmittää ja pitää pesuliuoksen lämpötilaa halutussa lämpötilassa ja laitoksella haluttu pesuliuoksen lämpötila on 70–80 °C. Sterilli- ja happosäiliöissä höyry kiertää kierukassa ja lämmin kierukka lämmittää säiliössä olevan pesuliuoksen. Kierukka pitää pesuliuoksen halutussa lämpötilassa. Haluttu lämpötila on 70–80 °C.

Pesukeskukseen tuleva höyrylinjan runko on kokoa DN 60. Rungosta on otettu haarat kierukoille, jotka ovat kokoa DN 50. Kierukoiden haarat pienenevät sulkuventtiilin jälkeen kokoon DN 32. Putkilämmönsiirtimelle menee putki, joka on kokoa DN 40. Höyrylinja on varustettu sulkuventtiilillä ja jokainen haara on varustettu sulkuventtiilillä, joka on varustettu paineilmatoimisella toimilaitteella. Pesukeskukselta lähtevä lauhdelinjan runko on kokoa DN 40. Säiliöistä tulevat lauhdeputket ovat kokoa DN 25 ja ohitukset ovat kokoa DN 15. Lauhdelinjat on varustettu sulkuventtiileillä ja lauhteenpoistimella. Kuvassa 17 on RIFOXin valmistama lauhteenpoistin.



KUVA 17. Lauhteenpoistin

4 KORJAUS JA KEHITYSIDEAT

Kehitysehdotuksena kyseisessä laitoksessa kehottaisin korjaamaan vuotavat linjat, vialliset venttiilit ja tarkistamaan lauhteenpoistimien toimivuus. Jotta höyryjärjestelmästä saataisiin mahdollisimman energiatehokas, pitäisi sen olla suljettu järjestelmä. Näin suurin osa tuotetusta höyrystä saataisiin takaisin kiertoon lauhteena. Laitoksella kaikkea tuotettua höyryä ei voida saada takaisin kiertoon, koska pari laitetta käyttää pesuun höyryä. Lauhde voidaan pumpata takaisin kattilaan lauhdeveesisäiliöstä, mikä vähentää raakaveden tarvetta, säästää polttoainekuluissa ja vedenkäsittelykemikaaleja.

Höyry on kallis käyttöhyödyke, ja sen vuodot aiheuttavat turhia kustannuksia. Vuodoista aiheutuvat kustannukset voivat olla sadoista euroista aina useisiin kymmeniintuhansiin euroihin riippuen vuotoaukon halkaisijasta ja vallitsevasta paineesta. Taulukossa 3 on esitetty vuotojen aiheuttamia kuluja vuositasolla.

TAULUKKO 3. Höyryvuotojen vaikutus euroissa (13, s. 12)

Vuotoaukon halkaisija [mm]	Höyryvuoto					
	paine [bar(g)]	3,5		7		eu- roa/a
	kg/h	tonnia/a	euroa/a	kg/h	tonnia/a	
1,5	3	28	630	6	49	1100
3	13	110	2500	22	194	4500
4,5	28	248	5700	50	438	10000
6	50	441	10000	89	778	18000

Höyryjärjestelmässä olevat vuodot aiheuttavat verkoston paineen ja tehon alen-
tumista. Vuotojen kautta poistuvaa lauhdetta voitaisiin hyödyntää, jos se saatai-
siin talteen lauhdeveesisäiliöön asti. Vuodot voivat aiheuttaa kosteusvauriota, jos
vuotavat kohdat ovat lähellä rakenteita tai muita kosteutta kestävämpiä raken-
nelmia. Vuodot kastelevat putkien eristeet ja aiheuttavat lämpöhäviöitä. Höyry-

putken lämpöhäviöt vetiseen eristeeseen voivat olla 50 kertaa suuremmat kuin eristeeseen verrattuna. Märät eristeet aiheuttavat korroosiota, koska rautaputket ovat sen takia kosteana ulkoapäin. Vuodot ovat turvallisuusriski tilassa työskenteleville, koska vuodosta tulevan höyryn lämpötila on aina palovammaa aiheuttava. Vuodoilla on suora vaikutus tilan työmuokavuuteen, koska vuotava höyry lämmittää tilaa ja tekee tilan ilmasta kosteaa. (13, s. 12.)

Tyypillisiä vuotokohtia ovat lauhteenerottimet, vaurioituneet putket, laippaliitokset, varo- ja sulkuventtiilit. Vaurioituneet putket ja varusteet ovat yleensä seurausta huonosta tehdassuunnittelusta, korroosiosta tai ulkoisista olosuhteista.

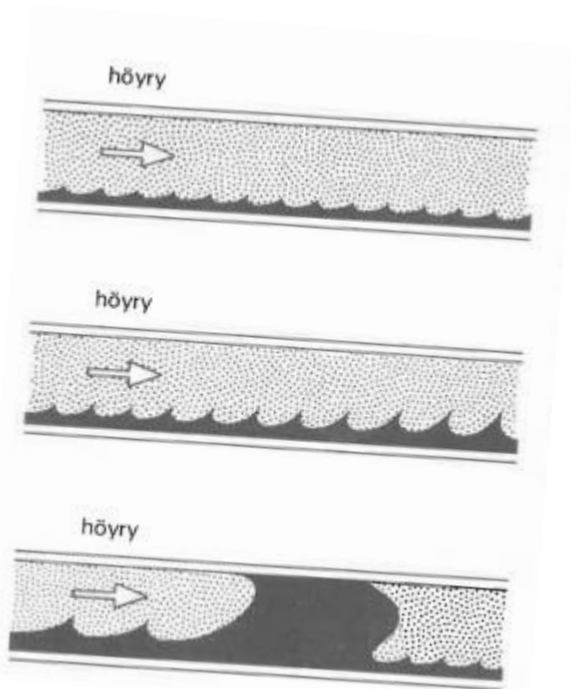
4.1 Vuotokohdat

Laitoksen höyry- ja lauhdeputkistoa kartoitettaessa putkilinjoista löytyi selviä vuotokohtia. Muutama vuoto oli putkiosuudella. Nämä vuodot kannattaa korjata, ennen kuin pieni vuoto laajenee tai murtuu suureksi hallitsemattomaksi vuodoksi. Yksi putkivuotokohta oli pesukeskuksessa happosäiliön päällä putkessa, joka menee putkilämmönsiirtimelle. Tämä vuoto on aiheutunut virheellisestä kannakoinnista. Kannake oli hitsattu suoraan putken kyljestä, ja tämä on murtunut hitsaussauman vierestä putken liikkumisen takia. Kyseinen putki pääsee elämään, koska putkea ei ole ankkuroitu mitenkään ja putkessa aiheutuu vesi-iskuja. Putken lämpölaajenemista ei ole huomioitu, minkä seurauksena putkessa on havaittavissa kulmassa roikkumista. Roikkuva kohta kerää lauhdetta ja tästä aiheutuvat vesi-iskut. Toinen vuotokohta oli kellarissa putkitunnelin päässä kulmassa, kun putket nousevat ylöspäin. Tässä vuotokohdassa oli hiusmurtumia kulmassa. Nämä murtumat on aiheutunut todennäköisesti höyryn liian suuresta virtausnopeudesta. Kulmat ovat kuluneet sisältä ja sitten on tullut hiusmurtumia. Toinen mahdollinen tekijä on, kun kulmia ei ole eristetty ja putki on hikoillut ja ruostunut. Ruoste on aiheuttanut kulumista ja tullut hiusmurtumia.

Tarkastelussa löytyi viallisia venttiileitä useampi. Nämä venttiilit on syytä uusida, jotta järjestelmää saataisiin paremmin suljetuksi. Venttiilien uusimisella saadaan höyryjärjestelmä toimimaan paremmin. Viallisia venttiileitä oli seuraavissa paikoissa. Kellarissa höyryn jakotukilta joen puoleiseen linjaan lähtevässä putkessa vuotaa sulkuventtiili. Molempien varoventtiilien tyhjennysputket tiputtavat vettä koko ajan läpi, eli se kertoo, että varoventtiilit päästävät läpi koko ajan.

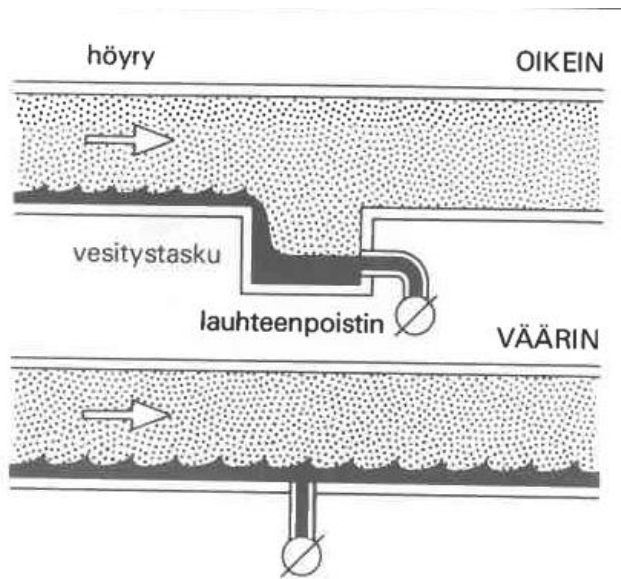
4.2 Vesitykset ja haaroitukset

Laitokselle pitäisi höyrylinjoihin lisätä vesityksiä, jotta saataisiin mahdollisimman hyvälaatuista ja kuivaa höyryä. Vesityksiä olisi hyvä olla säännöllisin välein. Hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää 30–50 metrin väliä. Linjan vesityksiä pitäisi olla aina matalimmalla kohdalla, jonne lauhdetta voi kerääntyä ja aina linjan päässä. Huonosti vesitetyissä höyrylinjoissa on lauhdetta, mikä aiheuttaa ongelmia, kuten vesi-iskuja. Vesi-iskuja syntyy, kun lauhde virtaa putken pohjalla hitaammin kuin höyry. Kulutuksen vaihdellessa höyryn virtausnopeus vaihtelee. Vesi-iskun syntyminen on esitetty kuvassa 18. Toinen tapaus, missä vesi-iskuja syntyy, on, kun kuuma höyry tai kuuma lauhde kohtaa viileän lauhteen.



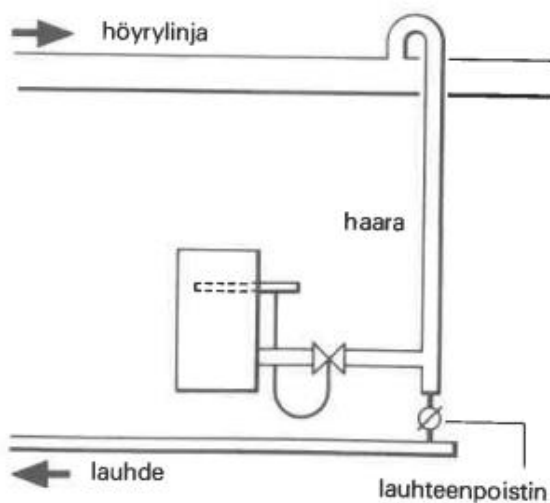
KUVA 18 Vesi-iskun syntyminen (4, s. 4)

Vesityksissä käytettävien vesitaskujen tulisi olla putken nimelliskoon kokoisia taskuja pienissä putkissa. Pieniksi putkiksi voidaan luokitella alle DN 100 putket. Suurissa putkissa riittää, että vesitasku on 2–3 nimelliskokoa pienempi putki. (kuva 19).



KUVA 19. Vesitasku (4, s. 5)

Alas otetut höyryhaarat olisi hyvä muuttaa yläpuolelta lähteväksi, koska putken alalaidasta asennettuihin haaroihin valuu kaikki höyrylinjassa oleva lauhde. Täten kulutuskohteeseen menee kosteinta mahdollista höyryä. Höyrylinjan rungon kulkiessa korkeammalla, kuin höyryä kuluttava laite on haaraputki vesitettävä alhaalla. Laitoksella jokainen höyryä kuluttava laite on runkolinjaa alempana eli jokainen haaraputki olisi vesitettävä. Kuvassa 20 esitetään oikea tapa tehdä haara höyrylinjaan.



KUVA 20. Höyrylinjan haara (4, s. 5)

Laitoksella tällaisia haaroja ovat säiliöiden lämmitykselle menevä haara, voivaunulle menevä haara, voitykin haara ja piimäpastöörin haara. Säiliöiden lämmityksessä tämä aiheuttaa sen, että lämmitysaika on pitempi, kuin mitä se olisi kuivalla höyryllä. Voivaunulle menevä haara on otettu putken alalaidasta, mutta tämä ei ole niin suuri ongelma, koska voivaunussa höyryä käytetään pesuun. Tämä aiheuttaa sen, että pesuun alussa menee pelkkää lauhdetta niin kauan, kuin putkessa on lauhdetta ja vasta sitten höyryä. Tämä aiheuttaa sen, että pesu ei ole niin tehokas, kuin puhtaalla höyryllä. Voitykin haara on myös otettu putken alalaidasta. Tämä aiheuttaa samanlaisia ongelmia, kuin edellä mainituissa. Piimäpastöörin haara on otettu putken kyljestä, ja se aiheuttaa samoja ongelmia, kuin putken alalaidasta otettu haara.

4.3 Lauhteenpoisto ja hönkähöyry

Tehokas ja oikein toimiva lauhteenpoisto on tärkeä piirre höyryjärjestelmän energiatehokkuudessa. Lauhteenpoisto vähentää energiankulutusta ja lisää tuottavuutta. Lauhdevesi tulee poistaa höyryputkista. Höyryputkessa oleva lauhde pienentää tilavuutta putkessa, jossa höyry kulkee. Pienempi tilavuus nostaa höyryn virtausnopeutta, joka aiheuttaa muita ongelmia. Lauhde myös vahingoittaa putkea sekä siihen liitettyjä laitteita, koska laitteet on suunniteltu ja valittu höyrylle. Lauhdetta sisältävällä höyryllä on huonompi lämmönsiirtokyky lämmönsiirtopinnoilla, kuin puhtaalla höyryllä. (13, s. 6.)

Tyypillisimmät vuotokohdat höyry- ja lauhdeverkostoissa ovat lauhteenpoistimet. Lauhteenpoistimet vuotavat niin sanotusti sisäisesti, eli höyry menee lauhteenpoistimen läpi eikä vain pelkästään lauhdevettä, kuten pitäisi. Lauhteenpoistimien vuodot aiheuttavat vastapaineen kasvua, kun lauhdepuolen lämpötila kasvaa vuotohöyryn takia, sekä höyrynkulutuksen ja pumppaustarpeen kasvua. Suurempi lauhdepuolen lämpötila aiheuttaa, suurempaa määrää muodostuvaa hönkähöyryn määrää. Höyryverkostossa, missä lauhteenerottimien toimivuutta ei ole tarkastettu muutamaan vuoteen, vuotaa 30 % lauhteenerottimista, kun taas säännöllisesti tarkastetussa verkostossa vain 5 % lauhteenerottimista vuotaa. Säännöllisenä tarkastuksena voidaan pitää kerran vuodessa tehtäviä tarkastuksia. (13, s. 13.)

Laitoksella ei ollut tarkistettu lauhteenerottimien toimivuutta ja epäkunnossa olevia erottimia löytyi. Laitoksella oli lauhteenerottimia 16 kappaletta, joista vuoti 7 kappaletta. Laitoksella siis vuotavien lauhteenerottimien määrä on noin 44 prosenttia. Vuotavia lauhteenerottimia on pesukeskuksella neljä kappaletta.

Kerma- ja maitopastöörin lauhteenerottimet olivat vuotavia. Putkitunnelissa oleva termodynaaminen lauhteenerotin ja pihan puolen rungossa oleva lauhteen erotin olivat vuotavia. Suositteisin asennettavaksi vuodonilmaisimet, niin jatkossa olisi helpompi tarkastaa lauhteenpoistimien toiminta. Laitoksella lauhdevesisäiliöön tulee höyryä. Laitoksella kannattaisi asentaa hönkähöyrysäiliö, niin ei menisi höyryä lauhdevesisäiliöön asti. Hönkähöyryä voitaisiin hyödyntää esimerkiksi lämmityksissä.

Varoventtiilin ulospuhallusputket katolla olisi hyvä suojata asentamalla aidat ympärille, jotta kukaan ei pääse vahingossa polttamaan itseään. Nyt ulospuhallusputket ovat katolla täysin ilman mitään varoituksia. Koodaamalla kaikki käytössä olevat putkistovarusteet saataisiin huolto- ja korjaustehokkuutta lisättyä.

5 LAAJENNUSMAHDOLLISUUDET

Laitoksella on suunnitteilla tällä hetkellä yhden laitteen lisäys, joka tulisi käyttämään höyryä. Laitteen käyttämä höyry määrä olisi noin 300 kg/h. Nykyinen höyry määrä laitoksella on noin 3100 kg/h.

Putkiston koko saadaan laskettua kaavalla 3 (2, s. 86)

$$d = \left[\frac{4 \cdot m}{\rho \cdot \pi \cdot w} \right]^{1/2} \quad \text{KAAVA 3}$$

d = putkikoko (m)

m = massavirta (kg/s)

ρ = tiheys (kg/m³)

w = nopeus (m/s)

$$v'' = 1/\rho \quad \text{KAAVA 4}$$

v'' = ominaistilavuus höyry (m³/kg)

ρ = tiheys (kg/m³)

Höyryn ominaistilavuus saadaan luettua höyrytaulukosta, joka on esitetty liitteessä 2. Taulukon lukemiseen tarvitaan tieto joko höyryn paineesta tai höyryn lämpötilasta.

Näiden tietojen perusteella laskettiin nykyisen putkiston riittävyys. Laskelmien perusteella voidaan todeta, että nykyisellä 3,5 bar:n paineella nykyisen putkiston alkuosan koko on liian pieni. Laitoksen putkisto toimii tällä hetkellä jollain tavalla, koska kaikki laitteet eivät kuluta samaan aikaan höyryä. Tulokset on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Nykyisen verkoston putkikoot pihan puolella

Pihan puoli nykytilanne				
Putkiosuus	Nykyinen koko [DN]	Paine (bar)	Putkikoko tarvittava (m)	Putkikoko DN
1.kattilalta→tukille	80	3,5	0,122	125

2.tukilta→paineenalen- nus	100	3,5	0,112	125
3.paineenalen- nus→lämmittimelle	100	3,5	0,112	125
4.lämmitin→voivaunu 1	80	3,5	0,097	100
5.voivaunu 1→voi- vaunu 2	80	3,5	0,096	100
6.voivaunu 2→voitykki	80	3,5	0,095	100
7.voitykki→piimäpas- tööri	65	3,5	0,068	80
8.voitykki→piimäpas- tööri	50	3,5	0,068	80
9.piimäpastööri→ste- rilli	50	3,5	0,054	65
10.sterilli→happo	65	3,5	0,054	65
11.happo→emäs	65	3,5	0,031	32
12.happo→emäs	40	3,5	0,031	32

Taulukossa 4 putkiosuuksien yhdeksän ja kymmenen putkikooksi olisi mahdollista valita pienempi putkikoko DN50, mutta silloin nopeus olisi yli suositusten, mutta alle maksiminopeuden. Nopeudeksi tuli 32 m/s ja painehäviötä 6,3 kPa yhdeksännessä putkiosuudessa ja kymmenennessä putkiosuudessa 1,4 kPa. Valitsemalla DN65 vastaavat luvut olisivat, nopeus 22 m/s ja painehäviöt 1,5 kPa ja 0,3 kPa. Taulukkoon 4 lisätään se määrä höyryä, minkä uusi laite tarvitsisi, voidaan todeta, että pihan puolen linjaan ei ole tällä hetkellä mahdollisuutta tehdä lisäyksiä ilman alkupään putkien suurentamista. Tästä tilanteesta on taulukko 5 alapuolella.

TAULUKKO 5. Laajennuksen jälkeiset putkikoot pihan puolella

Pihan puoli lisäyksen jälkeen				
Putkiosuus	Nykyinen koko [DN]	Paine (bar)	Putkikoko tarvittava (m)	Putkikoko DN
1.kattilalta→tukille	80	3,5	0,129	150
2.tukilta→paineenalanus	100	3,5	0,119	125
3.paineenalanus→lämmittimelle	100	3,5	0,119	125
4.lämmitin→voivaunu 1	80	3,5	0,105	125
5.voivaunu 1→voivaunu 2	80	3,5	0,104	125
6.voivaunu 2→voitykki	80	3,5	0,103	125
7.voitykki→piimäpastööri	65	3,5	0,079	80
8.voitykki→piimäpastööri	50	3,5	0,079	80
9.piimäpastööri→sterilli	50	3,5	0,067	80
10.sterilli→happo	65	3,5	0,067	80
11.happo→emäs	65	3,5	0,051	50
12.happo→emäs	40	3,5	0,051	50
12.emäs→uusi linja		3,5	0,040	40

Taulukossa 5 putkiosuuksien yksitoista ja kaksitoista putkikooksi on valittu pienempi putkikoko DN50, koska nopeuden ja painehäviötarkastelun jälkeen se riittää. Nopeudeksi tuli 28 m/s ja painehäviötä 1,1 kPa yhdennessätoista putkiosuudessa ja kahdennessätoista putkiosuudessa 3,7 kPa. Joen puolen putkis-
tossa tilanne on parempi kuin pihan puolen linjassa. Joen puoleisen linjan nykyiset putkikoot on esitetty taulukossa 6. Tästä voidaan todeta, että joen puolen

putkisto on riittävä lukuun ottamatta kattilalta tukille menevää putkea. Toinen, kolmas ja neljäs putkiosuus on jopa ylimitoitettu tämän hetken tarpeeseen.

TAULUKKO 6. Joen puoleisen putkiston koot

Joen puoli nykytilanne				
Putkiosuus	Nykyinen koko [DN]	Paine (bar)	Putkikoko tarvittava (m)	Putkikoko DN
1.kattilalta→tukille	80	3,5	0,122	125
2.tukilta→paineenalanus	100	3,5	0,049	50
3.paineenalanus→kermapastööri	80	3,5	0,049	50
4.paineenalanus→kermapastööri	65	3,5	0,049	50
5.kermapastööri→maitopastööri	50	3,5	0,041	40

Kun taulukkoon 6 lisätään uuden laitteen vaatima höyrymäärä, saadaan lasketua joen puoleiseen linjaan tarvittavat putkikoot. Tulokset on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Joen puoleisen putkiston koot laajennuksen jälkeen

Joen puoli lisäyksen jälkeen				
Putkiosuus	Nykyinen koko [DN]	Paine (bar)	Putkikoko tarvittava (m)	Putkikoko DN
1.kattilalta→tukille	80	3,5	0,129	150

2.tukilta→paineenalen- nus	100	3,5	0,063	65
paineenalennus→uusi linja		3,5	0,040	40
3.paineenalen- nus→kermapastööri	80	3,5	0,063	65
4.paineenalen- nus→kermapastööri	65	3,5	0,049	50
5.kermapastööri→mai- topastööri	50	3,5	0,041	40

Taulukon 7 perusteella nähdään, että kattilan ja jakotukin välinen putki on selvästi liian pieni. Tätä ongelmaa saadaan pienennettyä, jos nostetaan höyryn painetta kattilalta vähintään 6 bar:iin. Näin höyryn ominaistilavuus laskee ja näin ollen tiheys nousee. Silloin nykyinen putki olisi kooltaan todennäköisesti riittävä, koska höyryn kulutus ei ole joka paikassa yhtäaikaista.

Paine voidaan laskea paineenalennimilla takaisin alle 4 bar:iin, jolloin varolaitteita ei tarvitse ruveta uusimaan isommiksi. Tällä hetkellä käytössä on 4 bar:n varolaitteet. Paineennostolla saavutetut putkikoot on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Nykyiset putkikoot pihan puolella paineennoston jälkeen

Pihan puoli paineennoston jälkeen nykytilanne				
Putkiosuus	Nykyinen koko [DN]	Paine (bar)	Putkikoko tarvittava (m)	Putkikoko DN
1.kattilalta→tukille	80	6	0,099	100
2.tukilta→paineenalen- nus	100	6	0,091	100
3.paineenalen- nus→lämmittimelle	100	3,5	0,112	125
4.lämmitin→voivaunu 1	80	3,5	0,097	100

5.voivaunu 1→voivaunu 2	80	3,5	0,096	100
6.voivaunu 2→voitykki	80	3,5	0,095	100
7.voitykki→piimäpastööri	65	3,5	0,068	80
8.voitykki→piimäpastööri	50	3,5	0,068	80
9.piimäpastööri→sterilli	50	3,5	0,054	65
10.sterilli→happo	65	3,5	0,054	65
11.happo→emäs	65	3,5	0,031	32
12.happo→emäs	40	3,5	0,031	32

Taulukosta 8 nähdään, että paineennostolla saadaan alkuosan putket lähemmäksi riittävyttä. Edelleen pihan puoleisessa linjassa paineenalennuksen jälkeen suurin osa putkiosuuksista ovat liian pieniä. Edellä olevassa taulukossa putkiosuuksien yhdeksän ja kymmenen putkikooksi olisi mahdollista valita pienempi putkikoko DN50, mutta nopeus olisi silloin lähellä maksiminopeutta ja jopa suosituksen yli. Nopeudeksi tuli 32 m/s ja painehäviötä 6,3 kPa yhdeksännessä putkiosuudessa ja kymmenennessä putki osuudessa 1,4 kPa. Valitsemalla DN65 vastaavat luvut olisivat, nopeus 22 m/s ja painehäviöt 1,5 kPa ja 0,3 kPa. Putkisto pelaa jollain tapaa, koska kaikki laitteet eivät käytä höyryä samaa aikaan. Taulukossa 9 on esitetty, mitä kokoja putkien pitäisi olla, jos uuden laitteen lisäys tehtäisiin pihan puolen linjaan.

TAULUKKO 9. Laajennuksen jälkeiset putkikoot paineennoston jälkeen

Pihan puoli paineennoston jälkeen tulevaisuus				
Putkiosuus	Nykyinen koko [DN]	Paine (bar)	Putkikoko tarvittava (m)	Putkikoko DN
1.kattilalta→tukille	80	6	0,105	125
2.tukilta→paineenalennus	100	6	0,097	100

3.paineenalen- nus→lämmittimelle	100	3,5	0,119	125
4.lämmitin→voivaunu 1	80	3,5	0,105	125
5.voivaunu 1→voi- vaunu 2	80	3,5	0,104	125
6.voivaunu 2→voitykki	80	3,5	0,103	125
7.voitykki→piimäpas- tööri	65	3,5	0,079	80
8.voitykki→piimäpas- tööri	50	3,5	0,079	80
9.piimäpastööri→ste- rilli	50	3,5	0,067	80
10.sterilli→happo	65	3,5	0,067	80
11.happo→emäs	65	3,5	0,051	50
12.happo→emäs	40	3,5	0,051	50
12.emäs→uusi linja		3,5	0,040	40

Taulukossa 9 putkiosuuksien yksitoista ja kaksitoista putkikooksi on valittu pienempi putkikoko DN50, koska nopeuden ja painehäviötarkastelun jälkeen se riittää. Nopeudeksi tuli 28 m/s ja painehäviötä 1,1 kPa yhdennessätoista putkiosuudessa ja kahdennessätoista putkiosuudessa 3,7 kPa. Edellä olevista taulukoista nähdään sama mikä on jo aiemmin todettu, että pihan puoleiseen linjaan ei ole viisasta lisätä uutta laitetta. Uuden laitteen lisäyksen jälkeen suurin osa nykyisistä putkista käy liian pieneksi. Taulukossa 10 on esitetty painennoston vaikutus joen puoleiseen linjaan.

TAULUKKO 10. Nykyiset putkikoot joen puolella paineennoston jälkeen

Joen puoli paineennoston jälkeen nykytilanne				
Putkiosuus	Nykyinen koko [DN]	Paine (bar)	Putkikoko tarvittava (m)	Putkikoko DN
1.kattilalta→tukille	80	6	0,099	100
2.tukilta→paineenalen- nus	100	6	0,040	40
3.paineenalen- nus→kermapastööri	80	3,5	0,049	50
4.paineenalen- nus→kermapastööri	65	3,5	0,049	50
5.kermapastööri→mai- topastööri	50	3,5	0,041	40

Taulukossa 11 on esitetty tarvittavat putkikoot joen puolen linjassa, jos siihen lisätään uusi laite. Laskelmista huomataan, että uuden laitteen vaatima höyrylinja voidaan tehdä joen puolen linjasta, kun uusitaan kattilan ja jakotukin välinen putkiosuus.

TAULUKKO 11. Tulevaisuuden putkikoot joen puolella paineennoston jälkeen

Joen puoli paineennoston jälkeen tulevaisuus				
Putkiosuus	Nykyinen koko [DN]	Paine (bar)	Putkikoko tarvittava (m)	Putkikoko DN
1.kattilalta→tukille	80	6	0,105	125
2.tukilta→paineenalen- nus	100	6	0,051	50
paineenalennus→uusi linja		3,5	0,040	40
3.paineenalen- nus→kermapastööri	80	3,5	0,049	50

4.paineenalenus→kermapastööri	65	3,5	0,049	50
5.kermapastööri→maiotopastööri	50	3,5	0,041	40

Taulukoista 11 nähdään, että joen puoleiset putkistot riittävät muuten hyvin, paitsi kattilan ja jakotukin välinen putki. Joen puoleisessa linjassa suurin osa putkiosuuksista on ylimitoitettuja.

Uusi höyryputki tulevalle laitteelle pitäisi olla laskelmien mukaan kokoa DN 40, ja uusi linja olisi tehtävä joen puolen linjasta. Tällöin olemassa oleva alkuosan putki riittäisi. Uuden linjan aiheuttama painehäviö on laskettu kaavalla 5. Painehäviö nousee, jonkun verran suureksi DN 40 putkella, joten olisi viisasta valita DN 50 putki. Silloin painehäviö ja nopeus pysyisi maltillisena.

Painehäviön laskenta onnistuu kaavalla 5 (14)

$$\Delta p = \frac{0,6753 \cdot 10^6 \cdot m^2 \cdot l \cdot \left(1 + \frac{91,4}{d}\right)}{\rho \cdot d^5}$$

KAAVA 5

Δp = painehäviö [Pa]

\dot{m} = tilavuusvirtaus [kg/h]

l = putken pituus [m]

d = putken halkaisija [mm]

ρ = höyryn tiheys [kg/m³]

Uusi linja olisi 40 metriä pitkä. Uuden linjan tilavuusvirtaus olisi 330. Putken halkaisija olisi 41,8 millimetriä. Tiheys olisi 2,42 kg/m³. Sijoittamalla nämä arvot kaavaan 5 saadaan putken aiheuttama painehäviö selville. Uusi putki aiheuttaisi painehäviötä 18,2 kPa, jos putkikoko on DN 40. Putken ollessa DN 50 putken halkaisija olisi 53 millimetriä ja näin ollen painehäviötä muodostuisi 4,7 kPa.

Uusi linja pitäisi asentaa laskevaksi virtaussuuntaa kohti. Uuden linjan päästä pitäisi tehdä lauhteenpoisto tarvittavalla tasolla.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa Toholammin tuotantolaitoksen höyry- ja lauhdelinjan nykytilanne ja tehdä parannusehdotuksia puutteellisista asioista. Kartoittaminen tehtiin laitoksella linjoja seuraamalla ja piirtämällä putkistot pohjakuviin. Työssä päivitettiin PI-kaavio vastaamaan nykytilannetta. Työn tavoitteissa onnistuttiin hyvin. PI-kaavio saatiin päivitettyä nykytilanteeseen. Lisäksi laitteista tehtiin laiteluettelo, josta on toivottavasti laitokselle tulevaisuudessa hyötyä, kun suunnittelevat laitehuoltoja. Työssä löydettiin laitokselle kehityskohteita, joilla voidaan saada höyryn kulutusta vähennettyä ja sitä myöten säästettyä energiakulutuksessa ja käyttökustannuksissa.

Työn tuloksena höyry- ja lauhdeverkostoista löydettiin viallisia venttiileitä, viallisia putkia ja viallisia lauhteenerottimia. Korjaamalla vialliset kohdat höyryn kulutus vähenee ja siitä kehittyy säästöjä. Kartoituksen tuloksena laitokselle voitiin esittää kehitysideoita, jotka parantavat laitoksen höyrynlaatu. Höyrynlaadun parantaminen antaa laitokselle uusia mahdollisuuksia tuotekehityksessä.

Aiheena höyry oli todella mielenkiintoinen. Materiaalia höyrystä oli saatavilla kohtalaisen hyvin. Höyryn laajan käytön takia on ihmeellistä, että alan ammattilaisia on niin vähän. Toivottavasti työstä saaduista opeista on tulevaisuudessa hyötyä niin tilaajalle, kuin tekijälle. Johtopäätöksenä työstä voidaan todeta, että höyry- ja lauhdejärjestelmät vaativat huoltoa ja kunnossapitoa toimiakseen ideaalisti. Höyry- ja lauhdepuolella on selvästi kysyntä osaaville tekijöille.

LÄHTEET

1. Maitokolmio. 2020. Maitokolmio. Saatavissa: <https://www.maitokolmio.fi/maitokolmio/> Hakupäivä 22.01.2020.
2. Huhtinen, Markku – Korhonen, Risto – Pimiä, Tuomo – Urpalainen, Samu 2011. Voimalaitostekniikka. Tampere: Opetushallitus.
3. Spirax Sarco Limited. 2020. Spirax Sarco Saatavissa: <https://www.spiraxsarco.com/> Hakupäivä 30.01.2020.
4. Spirax Sarco. Höyry- ja lauhdejärjestelmien suunnitteluopas. Helsinki: Spirax oy
5. Paroc Group. 2020. Paroc Saatavissa: <https://www.paroc.fi/> Hakupäivä 11.03.2020.
6. LVI 50-10344. 2003. Talotekniikassa yleisesti käytettävät eristysmateriaalit ja niiden asennus. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortit/LVI%2050-10344> (vaatii käyttäjälisenssin) Hakupäivä 11.03.2020.
7. Oy Konwell ab. 2020. Konwell. Saatavissa: <https://www.konwell.fi/fi/> Hakupäivä 19.03.2020.
8. Netello Systems OY. 2019. Energiablogi. Saatavissa: <http://energytechblogi.blogspot.com/2019/03/water-hammer-mika-se-on.html> Hakupäivä 26.04.2020.
9. Pentti Harju. 2002. Talotekniikan opetussivusto. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/lvi/aiho3/yhteinen_putkitaulukko.htm Hakupäivä 04.02.2020.
10. Spxflow. Saatavissa: <https://www.spxflow.com/> Hakupäivä 24.02.2020.
11. Hyvönen, Paula – Määttä, Sinikka – Saarela, Anna-Maria – Wright, Atte von 2010. Elintarvikeprosessit. 3. Uudistettu painos. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.
12. Ruokatieto yhdistys ry. 2020. Ruokatieto Saatavissa: <https://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/elintarvike-teollisuus/elintarvikkeiden-valmistus/maitotuotteet> Hakupäivä 20.02.2020.
13. Jaana Federley. Motiva Oy. 2015. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/10350/Energiatehokas_hoyry- ja_lauhdejarjestelma_VERKKOKOULUTUSAINEISTO_2015.pdf Hakupäivä 19.03.2020.

14. Engineering Toolbox. 2008. Engineering Toolbox Saatavissa:

https://www.engineeringtoolbox.com/steam-pressure-drop-calculator-d_1093.html Hakupäivä 21.03.2020

Taulukko 1: Höyryputken mitoitustaulukko kylläiselle höyrylle nopeuden mukaan kg/h

paine bar	nopeus m/s	15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm
0.4	15	7	14	24	37	52	99	145	213	394	648	917
	25	10	25	40	62	92	162	265	384	675	972	1457
	40	17	35	64	102	142	265	403	576	1037	1670	2303
0.7	15	7	16	25	40	59	109	166	250	431	680	1006
	25	12	25	45	72	100	182	287	430	716	1145	1575
	40	18	37	68	106	167	298	428	630	1108	1712	2417
1.0	15	8	17	29	43	65	112	182	260	470	694	1020
	25	12	26	48	72	100	193	300	445	730	1160	1660
	40	19	39	71	112	172	311	465	640	1150	1800	2500
2.0	15	12	25	45	70	100	182	280	410	715	1125	1580
	25	19	43	70	112	162	295	428	656	1215	1755	2520
	40	30	64	115	178	275	475	745	1010	1895	2925	4175
3.0	15	16	37	60	93	127	245	385	535	925	1505	2040
	25	26	56	100	152	225	425	632	910	1580	2480	3440
	40	41	87	157	250	375	595	1025	1460	2540	4050	5940
4.0	15	19	42	70	108	156	281	432	635	1166	1685	2460
	25	30	63	115	180	270	450	742	1080	1980	2925	4225
	40	49	116	197	295	456	796	1247	1825	3120	4940	7050
5.0	15	22	49	87	128	187	352	526	770	1295	2105	2835
	25	36	81	135	211	308	548	885	1265	2110	3540	5150
	40	59	131	225	338	495	855	1350	1890	3510	5400	7870
6.0	15	26	59	105	153	225	425	632	925	1555	2525	3400
	25	43	97	162	253	370	658	1065	1520	2530	4250	6175
	40	71	157	270	405	595	1025	1620	2270	4210	6475	9445
7.0	15	29	63	110	165	260	445	705	952	1815	2765	3990
	25	49	114	190	288	450	785	1205	1750	3025	4815	6900
	40	76	177	303	455	690	1210	1865	2520	4585	7560	10880
8.0	15	32	70	126	190	285	475	800	1125	1990	3025	4540
	25	54	122	205	320	465	810	1260	1870	3240	5220	7120
	40	84	192	327	510	730	1370	2065	3120	5135	8395	12470
10.0	15	41	95	155	250	372	626	1012	1465	2495	3995	5860
	25	66	145	257	405	562	990	1530	2205	3825	6295	8995
	40	104	216	408	615	910	1635	2545	3600	6230	9880	14390
14.0	15	50	121	205	310	465	810	1270	1870	3220	5215	7390
	25	85	195	331	520	740	1375	2080	3120	5200	8500	12560
	40	126	305	555	825	1210	2195	3425	4735	8510	13050	18630

Taulukko 2. Painetekijä taulukko höyryputken mitoittamiseksi painehäviön mukaan (P₁ ja P₂ arvot)

paine bar abs	tilavuus m ³ /kg	P ₁ ja P ₂	paine bar mittari	tilavuus m ³ /kg	P ₁ ja P ₂	paine bar mittari	tilavuus m ³ /kg	P ₁ ja P ₂
0,05	28,192	0,0301	2,15	0,576	9,309	7,70	0,222	66,31
0,10	14,674	0,0115	2,20	0,568	9,597	7,80	0,219	67,79
0,15	10,022	0,0253	2,25	0,660	9,888	7,90	0,217	69,29
0,20	7,649	0,0442	2,30	0,552	10,18	8,00	0,215	70,80
0,25	6,204	0,0681	2,35	0,544	10,48	8,10	0,212	72,33
0,30	5,229	0,0970	2,40	0,536	10,79	8,20	0,210	73,88
0,35	4,530	0,1308	2,45	0,529	11,40	8,30	0,208	75,44
0,40	3,993	0,1694	2,50	0,522	11,41	8,40	0,206	77,02
0,45	3,580	0,2128	2,55	0,515	11,72	8,50	0,204	78,61
0,50	3,240	0,2610	2,60	0,509	12,05	8,60	0,202	80,22
0,55	2,964	0,3140	2,65	0,502	12,37	8,70	0,200	81,84
0,60	2,732	0,3716	2,70	0,496	12,70	8,80	0,198	83,49
0,65	2,535	0,4340	2,75	0,489	13,03	8,90	0,196	85,14
0,70	2,365	0,5010	2,80	0,483	13,37	9,00	0,194	86,81
0,75	2,217	0,5727	2,85	0,477	13,71	9,10	0,192	88,50
0,80	2,087	0,6489	2,90	0,471	14,06	9,20	0,191	90,20
0,85	1,972	0,7298	2,95	0,466	14,41	9,30	0,189	91,92
0,90	1,869	0,8153	3,00	0,461	14,76	9,40	0,187	93,66
0,95	1,777	0,9053	3,10	0,451	15,48	9,50	0,185	95,41
1,013	1,673	1,025	3,20	0,440	16,22	9,60	0,184	97,18
bar mittari			3,30	0,431	16,98	9,70	0,182	98,96
0	1,673	1,025	3,40	0,422	17,75	9,80	0,181	100,75
0,05	1,601	1,126	3,50	0,413	18,54	9,90	0,179	102,57
0,10	1,533	1,230	3,60	0,405	19,34	10,00	0,177	104,40
0,15	1,471	1,339	3,70	0,396	20,16	10,20	0,174	108,10
0,20	1,414	1,453	3,80	0,389	21,00	10,40	0,172	111,87
0,25	1,361	1,572	3,90	0,381	21,85	10,60	0,169	115,70
0,30	1,312	1,694	4,00	0,374	22,72	10,80	0,166	119,59
0,35	1,268	1,822	4,10	0,367	23,61	11,00	0,163	123,54
0,40	1,225	1,953	4,20	0,361	24,51	11,20	0,161	127,56
0,45	1,186	2,090	4,30	0,355	25,43	11,40	0,158	131,64
0,50	1,149	2,230	4,40	0,348	26,36	11,60	0,156	135,78
0,55	1,115	2,375	4,50	0,342	27,32	11,80	0,153	139,98
0,60	1,083	2,525	4,60	0,336	28,28	12,00	0,151	144,25
0,65	1,051	2,679	4,70	0,330	29,27	12,20	0,149	148,57
0,70	1,024	2,837	4,80	0,325	30,27	12,40	0,147	152,96
0,75	0,997	2,999	4,90	0,320	31,29	12,60	0,145	157,41
0,80	0,971	3,166	5,00	0,315	32,32	12,80	0,143	161,92
0,85	0,946	3,338	5,10	0,310	33,37	13,00	0,141	166,50
0,90	0,923	3,514	5,20	0,305	34,44	13,20	0,139	171,13
0,95	0,901	3,694	5,30	0,301	35,52	13,40	0,135	175,83
1,00	0,881	3,878	5,40	0,296	36,62	13,60	0,133	180,58
1,05	0,860	4,067	5,50	0,292	37,73	13,80	0,132	185,40
1,10	0,841	4,260	5,60	0,288	38,86	14,00	0,130	190,29
1,15	0,823	4,458	5,70	0,284	40,01	14,20	0,128	195,23
1,20	0,806	4,660	5,80	0,280	41,17	14,40	0,127	200,23
1,25	0,788	4,866	5,90	0,276	42,35	14,60	0,125	205,30
1,30	0,773	5,076	6,00	0,272	43,54	14,80	0,124	210,42
1,35	0,757	5,291	6,10	0,269	44,76	15,00	0,122	215,61
1,40	0,743	5,510	6,20	0,265	45,98	15,20	0,121	220,86
1,45	0,728	5,734	6,30	0,261	47,23	15,40	0,119	226,17
1,50	0,714	5,961	6,40	0,258	48,48	15,60	0,118	231,54
1,55	0,701	6,193	6,50	0,255	49,76	15,80	0,117	236,97
1,60	0,689	6,429	6,60	0,252	51,05	16,00	0,115	242,46
1,65	0,677	6,670	6,70	0,249	52,36	16,20	0,114	248,01
1,70	0,665	6,915	6,80	0,246	53,68	16,40	0,113	253,62
1,75	0,654	7,164	6,90	0,243	55,02	16,60	0,111	259,30
1,80	0,643	7,417	7,00	0,240	56,38	16,80	0,110	265,03
1,85	0,632	7,675	7,10	0,237	57,75	17,00	0,109	270,83
1,90	0,622	7,937	7,20	0,235	59,13	17,20	0,108	276,69
1,95	0,612	8,203	7,30	0,232	60,54	17,40	0,107	282,60
2,00	0,603	8,473	7,40	0,229	61,96	17,60	0,106	288,58
2,05	0,594	8,748	7,50	0,227	63,39	17,80	0,105	294,52
2,10	0,585	9,026	7,60	0,224	64,84	18,00	0,104	300,72

Liite 4. Laitoksen PI-kaavio (salainen)

Liite 5. Laiteluettelo (salainen)