



Riikka Määttä

Höyryputken suunnitteluohje

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemian prosessitekniikka

Insinöörityö

27.1.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Riikka Määttä
Otsikko: Höyryputken suunnitteluohje
Sivumäärä: 34 sivua + 1 liite
Aika: 27.1.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine: Kemian prosessitekniikka
Ohjaajat: Lehtori Timo Seuranen
Osastopäällikkö Anssi Lehtinen

Insinööriyön tavoitteena oli tuottaa höyryputken suunnitteluohje Sweco Finland Oy:lle. Ohjetta tullaan hyödyntämään työntekijöiden koulutuksessa. Ohjeessa käsiteltiin laajasti eri osa-alueita, joita höyryputken suunnitteluun kuuluu.

Höyryputken reitittämisessä tulee ottaa huomioon monia asioita, kuten lauhteenpoistot, putken kaadot ja paisuntalenkit. Lauhde tulee poistaa putkistosta, koska muuten se voi vahingoittaa putkistoa. Lauhde liikkuu putken kallistuksen ansiosta lauhdetas-kuihin ja siitä lauhdeputkistoon. Putkisto tarvitsee paisuntalenkkejä lämpölaajenemisen vuoksi. Lenkkien avulla lämpölaajeneminen ohjataan niihin, jolloin putki ei pääse rikkoutumaan. Putkiston painon pitää olla hyvin tuettu kannakkeilla, mutta myös tarpeeksi joustava. Putkiston toimivuus varmistetaan lujuuslaskennalla.

Työn aikana perehdyttiin alan kirjallisuuteen, höyryputkiin erikoistuneiden yritysten nettisivuihin sekä haastateltiin Swecon työntekijöitä. Osana insinööriyötä suunniteltiin ja mallinnettiin putkisillalle sijoitettu höyryputki.

Insinööriyön tuloksena saatiin kattava ohjeistus matala- ja keskipaisen höyryputken suunnitteluun. Höyryputkea suunnitteleva henkilö saa ohjeesta apua putken onnistuneeseen suunnitteluun ja mallintamiseen.

Avainsanat: höyry, höyryputki, putkiluokat, kannakointi, lauhteenpoisto

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Riikka Määttä

Title: Design of a Steam Pipe in Detail Engineering Phase

Number of Pages: 34 pages + 1 appendix

Date: 27 January 2024

Degree: Bachelor of Engineering

Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering

Professional Major: Chemical Engineering

Supervisors: Timo Seuranen, Senior Lecturer
Anssi Lehtinen, Department Manager

The aim of this thesis was to make steam pipe designing instructions for Sweco Finland Oy. The purpose of this thesis was to collect information from employees, literature and steam pipe manufacturer's websites. The thesis focused on condensate removal, supports of main pipeline and steam distribution. As a part of this thesis, a short steam pipe was designed.

Designing a steam pipe is more challenging than a regular pipe. The challenge with the pipe is related to steam's temperature and pressure. Pipes expand when temperature rises. Thermal expansion must be noticed by expansion loops on a straight pipe. Steam loses energy when flowing to plant and condensing to water. Water must be removed from the pipe; thus, steam traps are placed on the pipe. Supporting must be sturdy but also flexible.

As a result of this thesis, steam pipe designing instructions was created. The thesis studies widely different aspects of steam piping. It can be used for instructing new steam pipe designers and as a check list for an experienced designer.

Keywords: Steam, Steam pipe, Supports, Steam trap, Distribution

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Höyryn ominaisuudet	1
2.1	Höyryn ominaislämpö ja -tilavuus	2
2.2	Höyryn muodot	2
2.2.1	Kylläinen höyry	2
2.2.2	Tulistettu höyry	3
2.2.3	Lauhde	4
2.2.4	Paisuntahöyry	4
3	Höyryn käyttö teollisuudessa	4
3.1	Höyryn ja lauhteen kierto	5
3.2	Saattohöyrylämmitykset	6
4	Putkiluokat	8
5	Höyryputken vaurioitumismekanismeja	9
5.1	Vesi-iskut	9
5.2	Korroosio ja eroosio	11
5.3	Kavitaatio	11
6	Höyryputken suunnittelu	12
6.1	Reitittäminen	12
6.1.1	Putken kaato	12
6.1.2	Lämpölaajeneminen ja paisuntalenkit	13
6.1.3	Putken supistaminen	15
6.2	Lauhteen poistaminen	15
6.2.1	Lauhteenpoiston laitteiden järjestys	17
6.2.2	Lauhdeputkiston reitittäminen	18
6.2.3	Erilaiset lauhteenpoistimet	19
6.3	Kannakointi	21
6.3.1	Runkoputken kannakointi	21
6.3.2	Erikoiskannakkeet	22
6.3.3	Flexi-A	23
6.4	Haaroittaminen	24

6.4.1	Haarojen reitittäminen	24
6.4.2	Instrumentointi	24
6.5	Lujuuslaskenta ja joustavuusanalyysi	25
7	Höyryputki-esimerkki	27
7.1	Paisuntalenkkien laskeminen	27
7.2	Lauhdetasku	29
7.3	Kannakointi	30
7.4	Putken kaato	31
7.5	Joustavuusanalyysi ja putken kestävyys	32
8	Yhteenveto	33
	Lähteet	34

Liite 1: Paisuntalenkin laskentaa ja höyryputken isometri

Lyhenteet

DN	Diameter Nominal. Nimellishalkaisija.
ED3	Everything 3D. 3D-suunnitteluohjelmisto.
PED	Pressure Equipment Directive. Euroopan parlamentin asettama painelaitedirektiivi 2014/68/EU.
PSK	PSK Standardointiyhdistys ry.

1 Johdanto

Höyryputken suunnitteluun kuuluu monia osa-alueita, joita tulee suunnittelussa osata yhdistellä yhtenäiseen kokonaisuuteen. Reitittämisessä tulee ottaa huomioon paisuntalenkit ja lauhteenpoistotaskujen sijoittaminen. Putken kannakointi tukee, ohjaa ja joustaa tarpeeksi putkiston liikkeitä. Osa höyrystä lauhtuu takaisin vedeksi ja siksi putkeen tarvitaan lauhteenpoistimia.

Insinööryö on tehty Sweco Finland Oy:lle höyryputken suunnitteluohjeeksi. Sweco on konsulttiryitys, jossa suunnitellaan muun muassa eri yrityksille tuotantolaitoksia ja voimalaitoksia. Swecolla ei ole ollut höyryputken ohjeistusta, vaan tieto on kulkenut henkilöltä toiselle.

Insinööryö koostuu teoria-, suunnitteluohje- ja mallinnusosuudesta. Teoriaosuudessa käsitellään höyryn ominaisuuksia, putkiluokkia ja putken vaurioitumismekanismeja. Suunnitteluosuudessa käydään läpi eri osa-alueet ja lopuksi ohjetta hyödyntäen suunnitellaan höyryputki putkisillalle.

2 Höyryn ominaisuudet

Kun vettä lämmitetään, se alkaa kiehua ja muuttuu höyryksi. Höyryä tuotetaan teollisuuteen voimalaitoksissa ja höyrykonteissa. Voimalaitoksen tulisi olla laitoksen lähellä, jotta energiahäviöt olisivat kohtuullisia. Höyrykontit on sijoitettu laitoksen luokse, jolloin lämpöhäviöt ovat pienempiä. Molemmissa on kuitenkin sama periaate. Syöttövesisäiliöstä syötetään vettä keittimelle, joka muuntaa veden höyryksi, joka virtaa putkistoa pitkin käyttökohteeseen. [1.]

Keitinkattilassa on suuri paine. Mitä suurempi paine on keittimessä, sitä korkeammassa lämpötilassa vesi alkaa kiehua. Paineen ja lämpötilan tulee olla tarpeeksi korkeita, jotta energiaa riittää käyttökohteeseen asti. Ennen käyttökohdetta paine lasketaan paineenalennusventtiilillä käyttöpaineeseen. Painetta ei voida nostaa enää matkan varrella korkeammaksi ilman lisäenergiaa. [2.]

2.1 Höyryn ominaislämpö ja -tilavuus

Normaalissa ilmanpaineessa veden kiehumispiste on 100 °C. Vesi sitoo paljon lämpöenergiaa, eli sen entalpia kasvaa, kun se lämpenee. Lämpöenergian lisäksi kiehumiseen ja haihtumiseen tarvitaan olomuodon muutokseen energiaa. Höyryyn sitoutuu haihtuessaan yli $2\,600 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, kun taas veden ominaislämpökapasiteetti 99 °C:ssa on vain $415 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ [3, s. 78.] Lauhtuessaan se vapauttaa entalpiain.

Kun tutkitaan veden ja höyryn ominaistilavuutta normaalissa ilmanpaineessa, ero on tuhatkertainen. Veden ominaistilavuus 99 °C:ssa on $0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ ja taas höyryn ominaistilavuus 100 °C:ssa $1,6 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ [3, s. 78.] Kun höyry lauhtuu vedeksi, se vapauttaa paljon tilaa ja paine laskee, jonka tilalle pääsee tulemaan lisää höyryä, jota tuotetaan jatkuvasti lisää keittimessä.

Kylläiseen höyryyn voidaan soveltaa ideaalikaasun laskentakaavoja. Tällöin on myös helppoa ohjata kylläistä höyryä. Tulistetulle höyrylle eivät päde ideaalikaasun lait. [4.] Kaavaa yksi hyödynnetään lähtö- ja lopputilanteen muutoksien laskemiseen kylläiselle höyrylle.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (1)$$

Kaavassa 1 p tarkoittaa höyryn painetta ja T höyryn lämpötila. Numeroinnit kuvaavat lähtö- ja lopputilannetta.

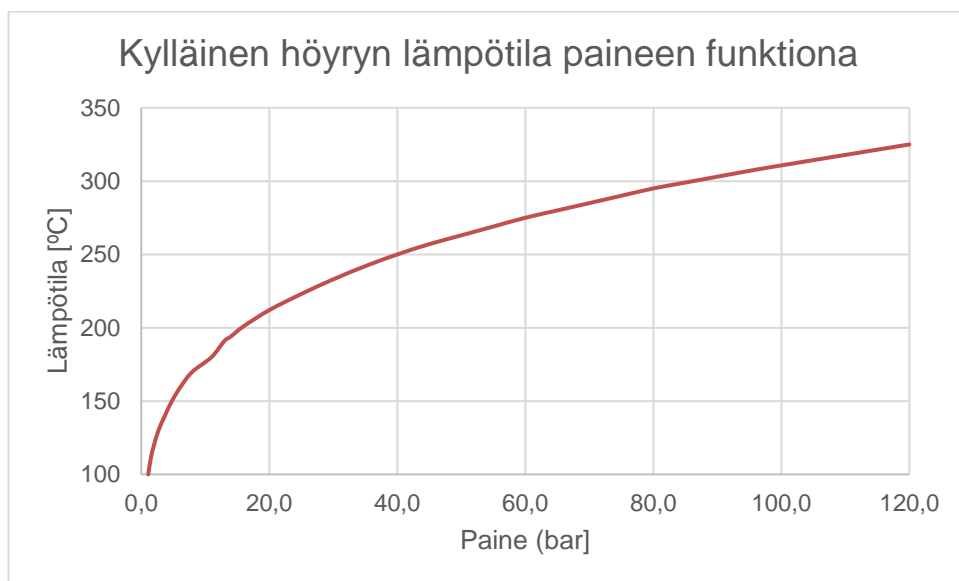
2.2 Höyryn muodot

2.2.1 Kylläinen höyry

Kylläinen höyry, jota kutsutaan myös kuivaksi höyryksi, on kokonaan kaasumaista vettä. Tästä syystä se käyttäytyy kuin ideaalikaasu, joten sitä on helppoa hallita. Kun kylläinen höyry lauhtuu, se vapauttaa heti suuren määrän energiaa,

joten se on hyvä lämmönsiirtoon. Kun lauhtuminen tapahtuu nopeasti, se antaa käyttökohteelle tasaisen lämmityksen ja kun lauhde poistetaan heti muodostuttuaan, käyttökohteen lämmönsiirtopinta-alan tarve pienenee. [5.]

Mitä korkeampi paine keittimessä on, sitä korkeapaineisempaa ja -lämpöistä höyryä saadaan [5.] Kuva 1 kertoo kylläisen höyryn paineen-lämpötilafunktiona. Käyrän alapuolella on vettä ja yläpuolella tulistettua höyryä.



Kuva 1. Kylläisen höyryn lämpötila paineen funktiona. [3, s. 78–86.]

Parhaissakin höyrykattiloissa muodostunut höyry kuitenkin sisältää 3–5 % kosteutta. Jos höyryn laatuvaatimukset ovat korkeat, höyrystä voidaan poistaa vesipisaroita pisaranerotin avulla. Höyryn sisältämät vesipisarat huonontavat lämmönsiirtokapasiteettia. [5; 6, s. 43.]

2.2.2 Tulistettu höyry

Kun kylläinen höyry siirretään keittimestä tulistimeen, savukaasujen avulla voidaan lämmittää höyryä lisää, jolloin syntyy tulistettua höyryä. Tulistetun höyryn lämpötila ei ole suhteessa paineeseen, jolloin lämpötilan hallinta on vaikeampaa kuin kylläisessä höyryssä. Tulistettu höyry voi olla jopa 600 °C:sta 100 baarissa

korkeapainehöyryä. Tällainen höyry aiheuttaa putkistoon todella suuria voimia. [7.]

Tulistettua höyryä ei käytetä lämmitykseen, koska sen lämpötila laskee vapauttamatta lauhtumisenergiaa. Sitä kuitenkin hyödynnetään kompensoimaan energiahäviöt putkistossa siirtyessä keittimestä käyttökohteeseen. Tällöin tulee tietää tarkasti, kuinka paljon energiaa häviää höyryn matkalla keittimestä käyttökohteeseen, jotta tiedetään, paljonko höyryä tulisi tulistaa. [6, s. 45.]

2.2.3 Lauhde

Kun höyry lauhtuu takaisin vedeksi, se vapauttaa energiansa. Vaikka putkessa olisi kuinka hyvä eristys, lauhdetta syntyy aina, jolloin putkessa on kaksifaasisysteemi. Lauhde johdetaan lauhdepoistimien kautta lauhdeputkistoon, jonka kautta se virtaa takaisin voimalaitokselle uudelleenkäyttöön. [6, s. 91.]

2.2.4 Paisuntahöyry

Lauhteen siirtyessä höyryputken korkeasta paineesta lauhdeputkiston matalampaan paineeseen osa lauhteesta höyrystyy takaisin höyryksi. Tätä höyryä kutsutaan paisuntahöyryksi. [8.]

Paisuntahöyryä voidaan hyödyntää matalapainehöyrynä. Lauhdelinja kulkeutuu paisuntasäiliöön, josta saadaan ylhäältä otettua paisuntahöyry uudelleenkäyttöön esimerkiksi lämmitykseen. [9, s.101.]

3 Höyryn käyttö teollisuudessa

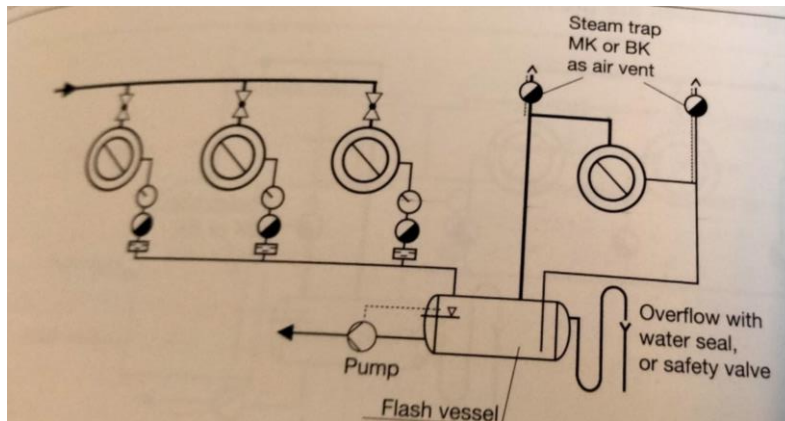
Höyryä käytetään monissa eri teollisuuden aloilla. Näitä ovat muun muassa ruoka-, lääke- ja kemianteollisuus. Höyryä käytetään teollisuudessa sen energiatehokkuuden vuoksi. Ruoka- ja lääketieteellisuudessa höyryä käytetään sen steriilisuuden vuoksi. [10.]

Prosessiteollisuudessa höyryä käytetään muun muassa lämmönsiirtimien lämmittävänä mediana, tankkien esilämmittämiseen, prosessin lämmittämiseen tai lämpimänä pitämiseen sekä höyrystöihin. Höyry voidaan hyödyntää useampaan kohteeseen. Se johdetaan ensin lämmönvaihtimeen, jossa se lauhtuu ja osa lämpö saadaan talteen. Lauhteen lämpötila voi olla kuitenkin edelleen yli 100 °C, joten se voidaan ohjata seuraavaan lämmityskohteeseen, esimerkiksi säiliön vaippaan. [11.]

3.1 Höyryn ja lauhteen kierto

Höyryn tuotanto alkaa veden alkukäsittelystä. Vesi tulee käsitellä epäpuhtauksista, koska se voi heikentää koko höyryjärjestelmän toimintaa. Liuenneet karbonaatit likaavat pintoja, mikä heikentää lämmönsiirtoa. Kloridit altistavat teräksen korroosiolle, liuenneiden hiilidioksidin ja hapen yhdistelmä lisää korroosiota. Kaasujen liukoisuus veteen pienenee lämpötilan kasvaessa. Siksi vesi esilämmitetään syöttösäiliössä ja ilmanpoistimilla kaasut saadaan poistettua höyryjärjestelmästä. Kun kyseessä on matalapainekattila, vedelle riittää veden pehmenys, kun taas korkeapainekattilaan vedelle tulee tehdä täyssuolanpoisto. [1.]

Höyryn päästyä käyttökohteeseen se vapauttaa energiansa ja lauhtuu takaisin vedeksi. Syntynyt lauhde siirretään ensin lauhdeputkistoa pitkin lauhdesäiliöön ja kuljetetaan sieltä takaisin voimalaitokselle, jossa siitä keitetään taas höyryä [6, s. 93.] Kuvassa 2 on esimerkki laitoksen höyry-lauhdejärjestelmästä, jossa myös paisuntahöyry otetaan hyötykäyttöön.



Kuva 2. Lauhteen palautusjärjestelmä ja paisuntahöyryn hyödyntäminen. [6, s. 93.]

Lauhteen uudelleenkäyttöön on monia syitä. Lauhde on edelleen lämmintä, kun se pääsee takaisin voimalaitokselle, jolloin sen uudelleen lämmittämiseen ei tarvita yhtä paljon energiaa ja yhtä paljoa käsittelyä kuin raakaveden. Jos taas lauhdevesi johdettaisiin viemäriverkostoon, se jouduttaisiin ensin jäähdyttämään, on taas energian hukkaamista. [13.]

3.2 Saattohöyrylämmitykset

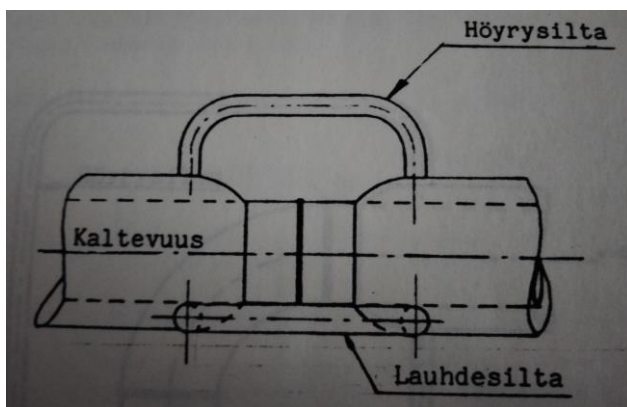
Lämpösaatto on tapa, jolla saadaan pidettyä virtaava fluidi putkistossa lämpimämpänä kuin käyttämällä pelkkää eristystä. Saattotapoja on olemassa useita, esimerkkinä höyrysaatto ja sähkösaatto. Saatossa annetaan energiaa fluidille, jotta sen lämpötila pysyy tarpeeksi korkeana estäen putken jäätymisen ja pitäen fluidin viskositeetin alhaisena, jotta se pystyy virtaamaan. [14, s.38.]

Vaippasaatossa putken sisällä on putki. Sisällä oleva putki on siirrettävää fluidia varten, joka voi olla nestettä tai kaasua, ja ulkoputki höyryä varten. Tällöin höyryputken tarvitaan lauhteenpoistoja putken alapuolelle, koska lämpöä vapautuu jatkuvasti sisällä olevalle fluidille. [1.] Kuvassa 3 on vaippasaatolla varustettu putki valmistusvaiheessa.



Kuva 3. Vaipallisella höyrysaatolla varustetun putken valmistamista. [9.]

Jos putkessa on laippoja, joudutaan käyttämään höyrysiltoja, jotta höyry pääsee jatkamaan matkaa laippojen yli [15]. Kuvassa 4 näkyy, kuinka höyrysilta toteutetaan.



Kuva 4. Vaipallisen höyry- ja lauhdesillan toteutustapa laippojen yli. [1.]

On olemassa myös pienissä putkissa tapahtuva saatto. Höyryä johdetaan yhdessä tai useammassa pienemmässä putkessa, joka on kiinni fluidia sisältävässä suuremmassa putkessa. Kuvassa 5 on näytettynä toteutusta tästä. [14, s.26.]



Kuva 5. Pieniä höyrysaattoputkia lämmitettävän putken ympärillä. [14, s.38.]

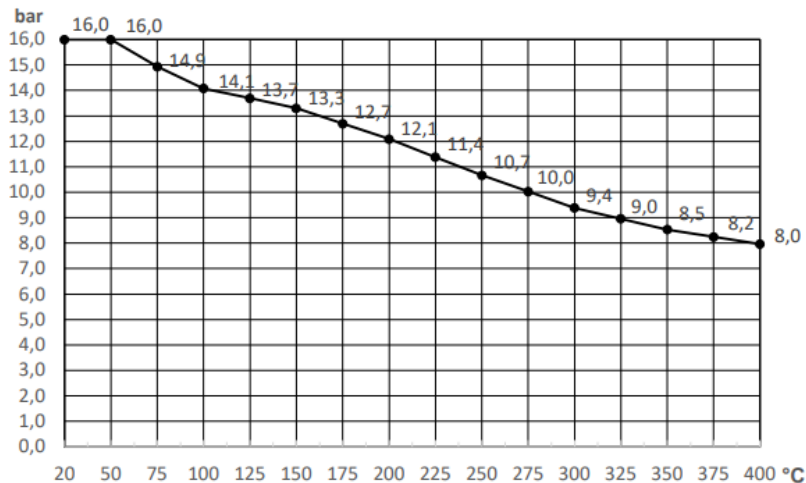
4 Putkiluokat

Putkissa käytettyjä erilaisia materiaaleja on olemassa satoja. Tämän vuoksi on kehitetty putkiluokkia yleisimmin käytetyistä putkimateriaaleista. Putkiluokat pohjautuvat kansainvälisiin standardeihin, joiden avulla käytetyt komponentit saadaan yhdenmukaistettua. Myös projektikohtaisia putkiluokkia voidaan tehdä yrityksen tarpeisiin lujuuslaskennan avulla. Tyypillisesti putkiluokassa kaikki komponentit mitoitetaan kestäämään paineluokkaa vastaavaa valittua ylipainetta huoneenlämpötilassa. [16, s. 1; 17.]

Valittaessa putkiluokkaa tulee varmistaa, että valittu luokka sopii tilanteeseen. Paine- ja lämpötila-alueiden, putken ja laitteiden nimelliskokojen tulee olla huomioitu luokassa. Standardin mukaisilla materiaaleilla varmistetaan, että putki ja laitteet ovat yhteensopivia. Putkiluokkien tärkein tehtävä suunnittelun virhemahdollisuuksien minimoiminen. [16; 18.]

Putkiluokkia käytetään myös käytännöllisistä syistä. Niiden avulla saadaan valmistajat tuottamaan standardin mukaisia tuotteita, jotka ovat yhteensopivia toistensa kanssa. Tällöin myös lisätään komponenttien saatavuutta lyhentäen toimitusaikoja. Kun yritys hyödyntää uusissa projekteissa samoja standardeja kuin aikaisemmin, putkiluokan toiminta on jo laskennallisesti varmistettu. [18; 16.]

Putkiluokissa on kuvaaja, josta nähdään materiaalin paineen kestävyys eri lämpötiloissa. Kun lämpötila kasvaa, paineen kesto pienenee. Esimerkki tämmöisestä kuvaajasta on esitettyä kuvassa 6. Kun lämpötila nousee 20 °C:sta 400 °C:seen, materiaalin painekesto puolittuu.



Kuva 6. Putken materiaalin kestävyys tulee tarkastaa putkiluokan lämpötila-paineakaaviosta [19].

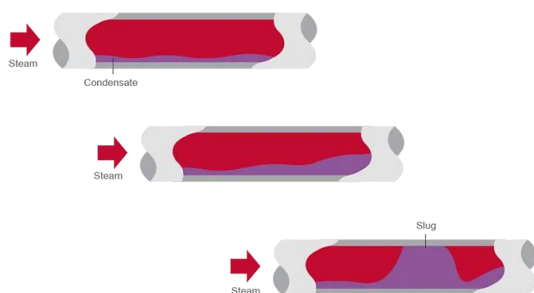
Höyryputket ovat yleensä seostamatonta hiiliterästä. Yleisin materiaali höyryputkistossa on P235GH (hiiliteräs), ja haastavimmissa olosuhteissa käytetään 16Mo3 (molybdeeniseostainen hiiliteräs) ja kuumaluja 13CrMo4-5 (kromimolybdeeniseostainen hiiliteräs) teräksiä. Verrattuna ruostumattomaan teräkseen. Hiiliteräs on halvempaa, kevyempää ja sen lämpölaajenemiskerroin on pienempi. [15.]

5 Höyryputken vaurioitumismekanismeja

5.1 Vesi-iskut

Vesi-iskuja on olemassa kahta erilaista tyyppiä, hydraulisia ja termisiä. Kun putkessa on kahta faasia, kaasua ja nestettä, ne voivat yhdessä aiheuttavat hydraulisia vesi-iskuja. Höyryn kulkiessa suurella nopeudella, 25–30 m/s, se voi napata vettä mukaansa aiheuttaen vesitulpan, josta höyry ei pääse läpi vaan

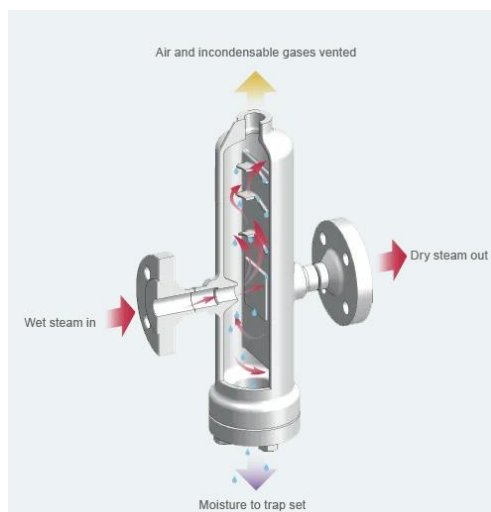
kuljettaa sitä eteenpäin. Lopulta vesi törmää esimerkiksi paisuntalenkin käyrään, aiheuttaen suuren iskun vastakkaiseen seinään. Hydrauliset vesi-iskut tapahtuvat yleensä käyttöönotossa, jolloin putki ei ole vielä lämmin. Kuuma höyry törmää kylmään putkeen, jolloin syntyy suuri määrä lauhdetta, jonka sitten höyry voi napata mukaansa. [1; 20.] Kuvassa 7 on havainnollistettu hydraulisen vesi-iskun muodostuminen.



Kuva 7. Hydraulisen vesi-iskun muodostuminen [20].

Termiset vesi-iskut taas tapahtuvat, kun höyry lauhtuu ja tilavuus laskee rajusti, synnyttäen putkeen tyhjiön [1]. Tyhjiössä vesi alkaa uudestaan kiehumään. Jouduessaan korkeampaan paineeseen, kuplat kuitenkin muuttuvat heti lauhteeksi, aiheuttaen putken luhistumisen [6, s. 34].

Vesi-iskut onnistutaan välttämään oikeanlaisella suunnittelulla. Suunnittelussa tulee välttää turhia vesitaskuja aiheuttavia käyriä ja käyttämällä oikean kokoisia lauhteenpoistimia. Iskuja voidaan myös välttää monien laitteiden avulla, esimerkiksi vakuumin muodostuminen voidaan estää vakuuminrikkojilla. Pisaranerotilla voidaan poistaa pisarat virtauksesta. Pisaramerotin on esitetty kuvassa 8. Höyry tulee sisään, vesipisarat osuvat seinään ja putoavat ja ilmaa pääsee poistumaan ylhäällä olevasta aukosta. [20.]



Kuva 8. Pisaranerotin [20].

5.2 Korroosio ja eroosio

Korroosio tarkoittaa metallin hapettumista vaurioittaen putkistoa. Korroosio on sähkökemiallinen tapahtuma, jossa happi reagoi metallin kanssa. Hapetta voi päätyä putkistoon, jos vettä ei ole puhdistettu kunnolla hapestusta tai sitä on pääsyt putkistoon esimerkiksi rikkoontuneen lauhteenpoistimien kautta. Korroosio alentaa lämmönsiirtoa. Korroosiota voidaan estää pinnoittamalla putki jo hapettuneella metallilla ja lisäämällä putkeen pisaran- ja ilmanpoistimia. [22.]

Eroosiota aiheuttavat vesi-iskut ja kavitaatio. Osuessaan putken käyriin suurella nopeudella hapettunutta metallia irtoaa, aiheuttaen seinämän ohenemista. Lopulta se poistaa seinämää suojaavan pinnoitteen ja nopeuttaa entisestään korroosiota. Lopulta eroosio voi tehdä putken seinämään reiän. [23.]

5.3 Kavitaatio

Kavitaatiossa neste alkaa kiehua paikallisen alipaineen vuoksi ja kuplat luhistuvat päästessään korkeampaan paineeseen vaurioittaen putken seinämiä. Kavitaatiota voi syntyä lauhtepumpussa ja lauhteputkiston venttiileissä. [24; 25.]

Pumppu voi kavitoida, kun lauhde on edelleen kuumaa ja imupuolella ei ole tarpeeksi nestettä. Paisuntahöyryä pääsee muodostumaan paikallisiin alipainekohtiin ja kun se pääsee pumpussa sekoittumaan nesteen kanssa, nesteen sisällä olevat kuplat luhistuvat. [25.]

Venttiileissä taas kavitaatiota syntyy, kun lauhteen virtausnopeus on suuri. Venttiilin sisällä on kohta, jossa halkaisija on pienempi kuin putkistossa, jossa virtauksen nopeus suurenee. Suurempi nopeus alentaa painetta, jolloin neste pääsee osittain kiehumaan. Kun venttiili on ylitetty, nopeus ja paine palaa normaaliksi, jolloin kuplat luhistuvat. [24.]

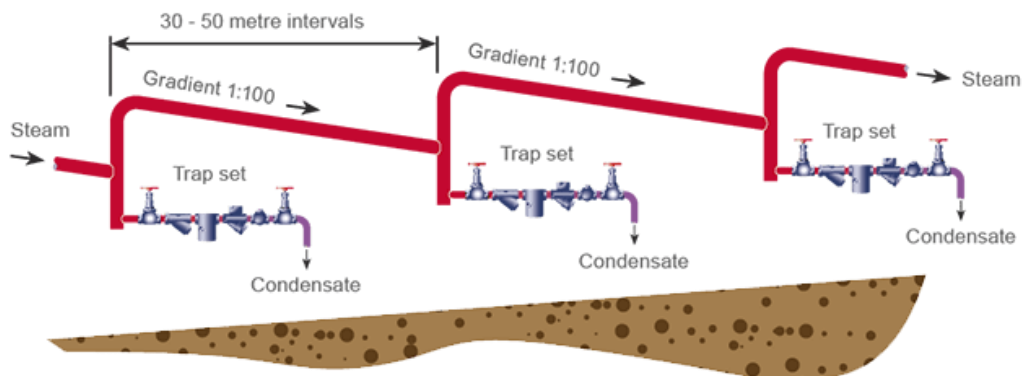
6 Höyryputken suunnittelu

6.1 Reitittäminen

Höyryputken suunnittelu lähtee runkoputken reitittämisestä. Putki lähtee voimalaitoksesta tai höyrykontista. Laitokselle päästessään rungosta haarautuu haaraputkia, jotka johtavat höyryn käyttökohteisiin. Reitittämiseen kuuluu paisuntalenkit, lauhteenpoistot ja putken lasku.

6.1.1 Putken kaato

Kuten kaikkien putkien, myös höyryputkien tulisi olla kaadolla. Yleensä putken lasku on 1:100 eli 100 metrin putken tulisi laskea vähintään yhden metrin verran. Näin lauhde virtaa höyryn kanssa samansuuntaisesti eikä jää putken pohjalle häiritsemään virtausta ja rikkomaan putkistoa. Joskus kuitenkin putki on niin pitkä, että se tulisi laskemaan kymmeniä metriä matkallaan ja siihen joudutaan tekemään intervaleja, jolloin putkea nostetaan 30–50 metrin välein ylöspäin. Tällöin putkessa tulisi olla jokaisessa alimmassa kohdassa lauhteenpoistoja. [26.] Kuvassa 9 on esitetty höyryputken reititystä.



Kuva 9. Tyypillinen höyryputken asennustapa [26].

Runkoputkelle tulee antaa tarpeeksi tilaa, koska se hallitsee ja tarvitsee sitä suurien käyrien vuoksi. Höyryputkella on isot lämpöliikkeet. Sen takia höyryputken vieressä ei kannata kulkea toista putkea samansuuntaisesti. Sisätiloissa höyryputki reititetään seinien lähetyville kauas kulkureiteistä. Tällöin myös varolinjat saadaan johdettua helposti ulkoilmaan. [11.]

6.1.2 Lämpölaajeneminen ja paisuntalenkit

Höyryputki lämpenee höyryn virratessa, jolloin se pitenee lämpölaajenemisen seurauksena. Kaavan 2 avulla voidaan laskea lämpölaajenemisesta aiheutuva pituuden muutos suorassa putkessa.

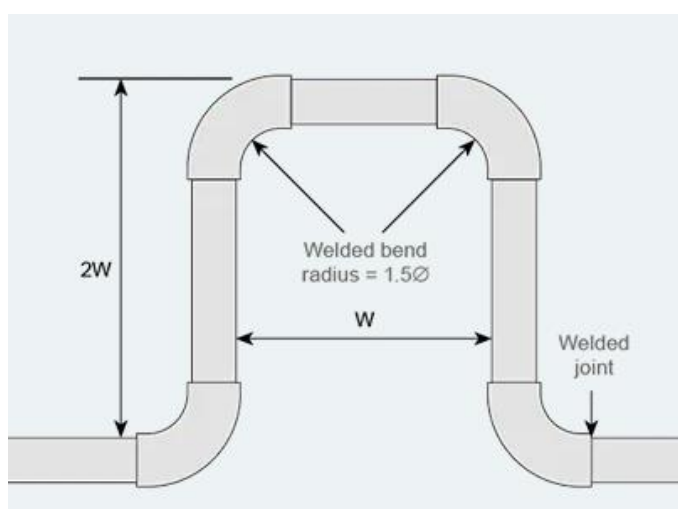
$$\Delta L = L * \alpha * \Delta T \quad (2.)$$

Kaavassa lasketaan ΔL eli pituuden muutos. L tarkoittaa putken alkuperistä pituutta, α materiaalikohtaista lämpölaajenemiskerrointa ja ΔT lämpötila eroa asennus- ja käyttölämpötilan välillä.

Sadan asteen lämpötilaerolla hiiliteräs laajenee noin 1,2 mm metriä kohden, joten pitkällä suoralla lämpölaajeneminen on huomioitava [27.] Pitkälle suoralle tulisi sijoittaa paisuntalenkkejä, jotka ottavat vastaan laajenemisen. Höyryputki tulisi sijoittaa putkisillan alatasolle ja palkkien viereen, jotta varmistetaan putken

vapaa liikkuminen [11.] Paisuntalenkkejä ei tarvita, silloin kun putki on lyhyt ja siinä on luonnollisesti käyriä, joissa putki pääsee laajenemaan [28].

Paisuntalenkki kääntyy 90 astetta sivuun, jossa jälkeen se tekee lenkin. Putki voi tarvita useita paisuntalenkkejä. Hyvä sääntö lenkin sivujen pituuksille on, että paisuntalenkin syvyys on kaksi kertaa pidempi kuin lenkin leveys. Paisuntalenkki ei saa kuitenkaan olla liian suuri, koska sitä ei ole tuettu. Paisuntalenkien välissä keskellä tulee olla kiintopiste, jolloin putki laajenee tasaisesti kumpaankin lenkkiin. Kuvassa 10 on esitettyä paisuntalenkkiä ja sen mitoitusta.



Kuva 10. Paisuntalenkki [29].

Jos paisuntalenkkejä ei olisi, voisi putki törmäillä toisten putkien kanssa ja aiheuttaa vaurioita itsessään ja muissa putkissa. Myös alaspäin suuntautuva paisuntalenkki on mahdollista toteuttaa, jos tilaa on rajoitetusti [9.] Kuvassa 11 on alaspäin suuntautuva paisuntalenkki.



Kuva 11. Alaspäin rakennettu paistuntalenkki [9].

6.1.3 Putken supistaminen

Jos höyryputken halkaisijaa joudutaan pienentämään, supistuskappaleiden tulee olla epäkeskeisiä, joissa putken pohja pysyy samalla tasolla. Jos käytettäisiin symmetristä supistusta, alaosaan voisi kertyä vettä ja lopulta vesitulppa lähtee liikkeelle aiheuttaen vesi-iskun. Kuvassa 12 nähdään oikeanlainen supistaminen.



Kuva 12. Höyryputken oikeanlainen supistaminen [9].

6.2 Lauhteen poistaminen

Lauhteenpoistin on laite, jolla poistetaan lauhdetta höyryputkesta. Tätä kutsutaan myös putken vesitykseksi. Jos lauhteenpoistimia ei käytettäisi ja tilalla olisi vain vapaa putki alaspäin, jolla poistettaisiin neste gravitaation avulla, menetettäisiin samalla suuri määrä höyryä. Kun lauhde poistetaan putkistosta,

lauhteenpoistimen venttiili avautuu todella lyhyeksi ajaksi, jolloin vesi pääsee valumaan pois. [15.]

Vaikka putkissa käytettäisiin tulistettua höyryä lämpöhäviöiden kompensoimiseksi, lauhdetta syntyy silti. Ulkoilman lämpötila voi etenkin Suomessa vaihdella 50–60 °C:lla vuoden mittaan, ja siksi lauhdetta muodostuu talvella enemmän. Lauhteenpoistoissa on huolehdittava, ettei lauhteenpoistinlaite pääse jäätymään [6, s. 45.]

Lauhteenpoistimella on kolme tärkeintä tehtävää:

- poistaa lauhde ilman tuorehöyrytappioita
- mukautua muuttuviin olosuhteisiin
- poistaa ilmaa [30].

Lauhdetta syntyy vähäisiä määriä putkistossa prosessin ollessa käynnissä. Suurin määrä syntyy käyttöönotossa, koska putkisto ei ole vielä lämmin. Tähän tulee varautua suunnittelemalla enemmän lauhteenpoistimia putkistoon kuin normaalikäytössä olisi tarve. Lauhdelinjaston halkaisijan kokoon tulee ottaa huomioon lauhteen määrän lisäksi myös paisuntahöyryn muodostuminen. [6, s. 44]. Kuvassa 13 on PI-kaavioihin merkittävä lauhteenpoistimen merkki.



Kuva 13. Lauhteenpoistimen PI-kaaviomerkintä.

Lauhteenpoistoja tulee olla jokaisessa putken matalimmassa kohdassa, ennen nousua. Suoralla osuudella yleinen väli on 30–50 metriä symmetrisesti. Väli saa suurimmillaan olla 100 metriä. [9; 21, s. 87.]

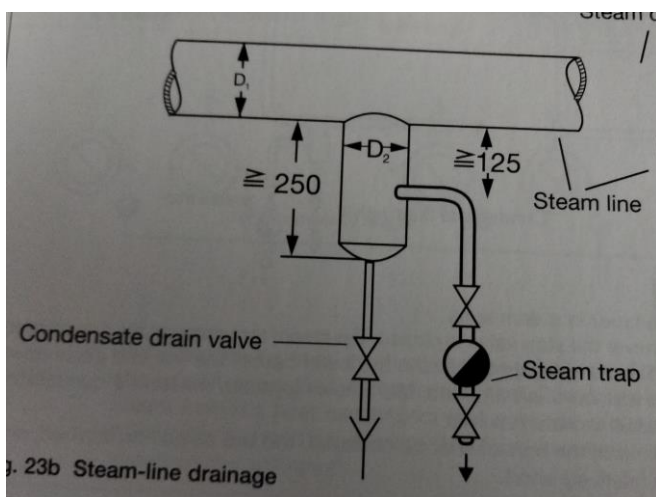
6.2.1 Lauhteenpoiston laitteiden järjestys

Vesitys alkaa lauhteenpoistotaskulla. Tasku tulee sijoittaa putken alaosaan, jolloin vesi tippuu sinne gravitaation ansiosta. Lauhdelinjasto ei ala taskun pohjalta, jolloin lauhdetta kertyy pohjalle ja se alkaa jäähtyä [11.] Taulukossa 1 on kerrottuna taskun koko eri runkoputken halkaisijoille. [21, s. 88.]

Taulukko 1. Lauhteenpoistotaskun kokotaulukko [26].

Runkoputken halkaisija D	Taskun halkaisija d_1	Taskun syvyys d_2
< 100 mm	$d_1 = D$	vähintään 100 mm
125-200 mm	100 mm	vähintään 150 mm
> 250 mm	$d_1 = D/2$	vähintään $d_2 = D$

Taskun pohjalla tulisi olla tyhjennysventtiili ja lauhteenpoistimen ympärillä venttiilit huoltotöitä varten, jolloin taskusta saadaan ajettua lauhde ulos, kun lauhteenpoistinta vaihdetaan uuteen. Kuvassa 14 on esitetty, kuinka lauhteenpoisto tulisi toteuttaa.

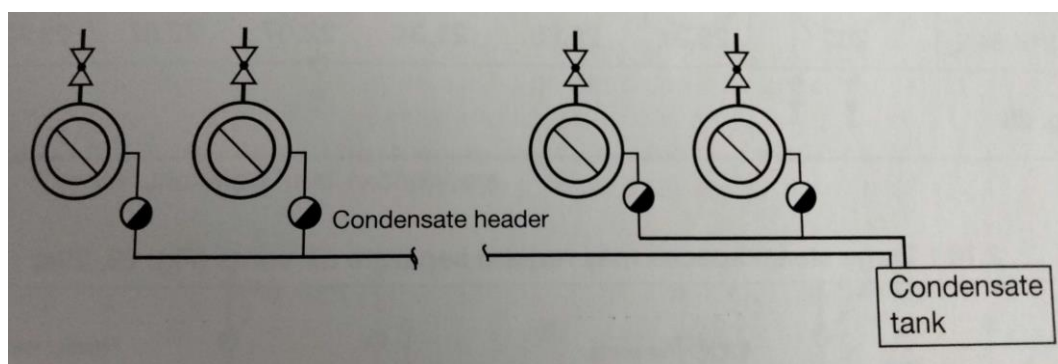


Kuva 14. Höyryputken vesitys [6, s. 35].

Ennen lauhteenpoistimia olisi hyvä olla suodatin, esimerkiksi y-sihtti, joka suodattaa ruosteen ja muun kiinteän aineen pois. Lauhteenpoiston jälkeen olisi hyvä olla takaiskuventtiili, jotta virtaus ei pääse takaisin lauhteenpoistimelle. Näillä vältetään lauhteenpoistimen ja putkiston rikkoutuminen. [21, s. 98.]

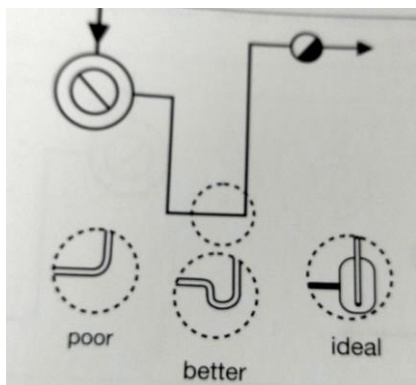
6.2.2 Lauhdeputkiston reitittäminen

Lauhdeputkisto johtaa lauhdesäiliöön. Lauhdeputkistossa kauempaa tulevat lauhteet viilentyvät matkan varrella enemmän kuin lähempää tulevat. Tämän takia lauhteet ohjataan eri putkistoihin, jotka kuitenkin ohjataan samaan säiliöön. Jos kaikki lauhteet ohjattaisiin säiliöön samassa putkessa, lämpötilaerojen takia voisi syntyä vesi-iskuja [9, s. 104.] Täten lauhteiden tulisi kulkea pienemmissä putkissa lauhdesäiliöön kuvan 15 mukaisesti.



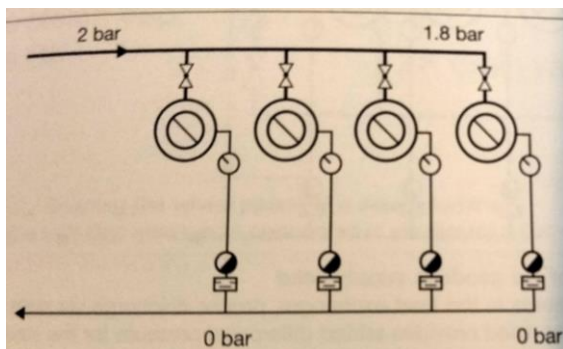
Kuva 15 Kun lauhteenpoistimet ovat kaukana toisistaan, ne tulisi ohjata erillisinä putkina lauhdesäiliöön [6, s. 37].

Kun lauhdetta joudutaan nostamaan, esimerkiksi laitteelle, tulisi se tehdä hankauksen tai lauhteen nostimen avulla. Jos lauhteen annettaisiin nousta vapaasti, se voisi aiheuttaa vesi-iskuja, kun lauhdetta ei välttämättä synny aina tasaiseen tahtiin. [6, s. 105.] Kuvassa 16 on esitetty erilaiset nostamistavat huonoimmasta parhaimpaan.



Kuva 16. Erilaisia nostoja lauhdelinjassa [6, s. 105].

Lämmönsiirtimissä syntyy suuri määrä lauhdetta. Lämmönsiirtimiä voi olla useita vierekkäin, mutta jokainen tulisi vesittää erikseen. Vesityksien jälkeen putket yhdistyvät yhteiseen lauhdelinjaan. Jos käytettäisiin yhtä isoa lauhteenpoistinta, paine-ero kasvaisi liian isoksi, jolloin syntyisi vesi-isku [6, s. 29]. Kuvassa 17 on kuvattuna, kuinka lämmönsiirtimien lauhteenpoistot tulisi toteuttaa.



Kuva 17. Lauhteenpoistot tulisi toteuttaa jokaiseen käyttökohteeseen erikseen [21, s. 93].

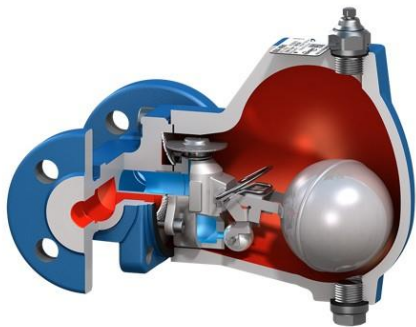
6.2.3 Erilaiset lauhteenpoistimet

Lauhteenpoistimia on kolme erilaista: uimuri, terminen ja termodynaaminen. Yleisesti lauhteenpoistinta valittaessa on yleinen periaate: jos laudemäärä on suuri, käytetään uimuria ja pienemmissä määrissä termisiä lauhteenpoistimia. Termodynaamisia lauhteenpoistimia käytetään harvoin. Se on kallis eikä täytä

hyvän lämmönpoistimen kriteerejä päästämällä tuorehöyryä läpi, joten sitä ei käsitellä tarkemmin. [6, s. 11; 30.]

6.2.3.1 Uimuritoiminen lauhteenpoistin

Uimurilauhteenpoistin toimii mekaanisesti veden kelluntaa hyödyntäen. Kun vettä pääsee poistimeen, uimurissa oleva pallo nousee aukon päältä, jolloin vesi pääsee valumaan pois. Jos lauhdetta syntyy koko ajan, lauhteenpoistin on myös kokoaikaisessa toiminnassa. Kun lauhteen määrä pienenee, pallo putoaa takaisin aukon päälle eikä päästä sen läpi tarpeeksi höyryä. Uimuria käytetään yleensä lämmönsiirtimen jälkeen, koska siellä syntyy suuria määriä lauhdetta ja uimuri pystyy poistamaan vettä monta tonnia tunnissa. Uimuri on kuitenkin herkkä kylmälle säälle, jolloin se voi jäätyä ja hajota [6, s. 12.] Kuvassa 18 on poikkileikkokuva uimurilauhteenpoistimesta.

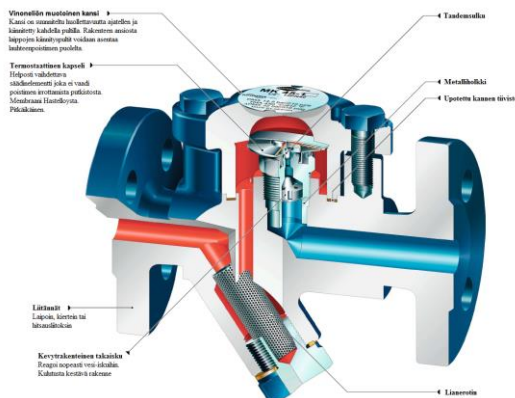


Kuva 18. Uimuri toiminen lauhteenpoistin [31].

6.2.3.2 Termiset lauhteenpoistimet

Termisiä lauhteenpoistimia on kahta erilaista, kapseli- ja bi-metallimallinen. Niiden toiminta perustuu nimensä mukaisesti lämpötilaan. Kapselimallisessa on kapselin sisällä vesialkoholiseos, jonka kiehumispiste on alempi kuin pelkän veden kiehumispiste. Bi-metallissa taas on kaksi eri metallia, joilla on eri lämpölaajenemiskertoimet. Kapselipoistimet toimivat alhaisissa paineissa, kun taas bi-metallipoistimet toimivat korkeissa paineissa. Toisin kuin uimurissa, termisen lämmönpoistin kerryttää jonkin verran lauhdetta, ennen kuin poistaa sen.

Poistimia käytetään kohteissa, joissa lauhdemäärät ovat pieniä. Kuvassa 19 on kuva kapselilauhteenpoistimesta. [30.]



Kuva 19. Kapselilauhteenpoistin [30].

6.3 Kannakointi

Putken kannakkeet tukevat putken painoa ja ohjaavat sen liikkeitä. Putkistojen kannakointi on tärkeää, ja sillä turvataan koko putkistojen toimivuus. Höyryputki liikkuu lämpöliikkeen mukana, jolloin kannakoinnin tulee olla tarpeeksi joustavaa. [27.] Joustavuutta putkistoon saadaan myös putkikäyrillä, kun putki kääntyy [28].

6.3.1 Runkoputken kannakointi

Runkoputkien tulee olla tukevasti, mutta joustavasti kannakoitu. Niin kuin normaalissa prosessiputkessa myös höyryputkessa käytetään liuku- ja kynsikanakkeita ja kiintopisteitä. Kiintopiste laitetaan suunnilleen suoran keskelle, jolloin putki paisuu tasaisesti kumpaakin suuntaan. Kiintopisteen ympärillä tulisi olla joka toinen liukukannake ja joka toinen ohjauskannake. [11.]

Jokaisen paisuntalenkin väliin tulee kiintopiste, jolloin putki pääsee lämpölaajenemaan tasaisesti. Jos paisuntalenkki on iso, liukukannake voidaan laittaa lenkin keskelle. Tällöin putkisiltaan tulisi tehdä sivusuuntainen laajennus, jotta kannake tukee hyvin lenkkiä. Höyryputki on eristetty, joten kannakkeiden tulisi olla

korkealla jalalla. Kannakevälin tulee olla lyhyempi kuin tavallisella putkella lämpöliikkeiden vuoksi. [31].

Runkoputki loppuu jakotukkiin, josta putki haarautuu käyttökohteisiinsa. Haaraputken tulee olla todella hyvin kannakoitu, eikä se saisi liikkua, joten siihen laitetaan keskelle kiintopiste. Jos jakotukki on kymmeniä metrejä pitkä, putki lämpölaajenee, joten putken vapaa liikkuminen tulisi varmistaa liukukannakkeilla. [31.].

6.3.2 Erikoiskannakkeet

Rullakannakkeita hyödynnetään isoissa ja painavissa runkoputkissa.

Kannakkeen jalan alla on rullat, jolloin se pääsee liikkumaan vapaammin kahdessa suunnassa ja lämpölaajenemaan tapahtuu helpommin.

Kannakkeeseen voidaan laittaa kiinni kynnet, jolloin se estää kannakkeen liikkeen sivusuunnassa. [31.] Rullakannakkeita tulisi laittaa enintään 6 metrin välein, jotta putki pysyy linjassa liikkumisesta huolimatta [29.] Kuvassa 20 on näytettynä, mille rullakannake näyttää.



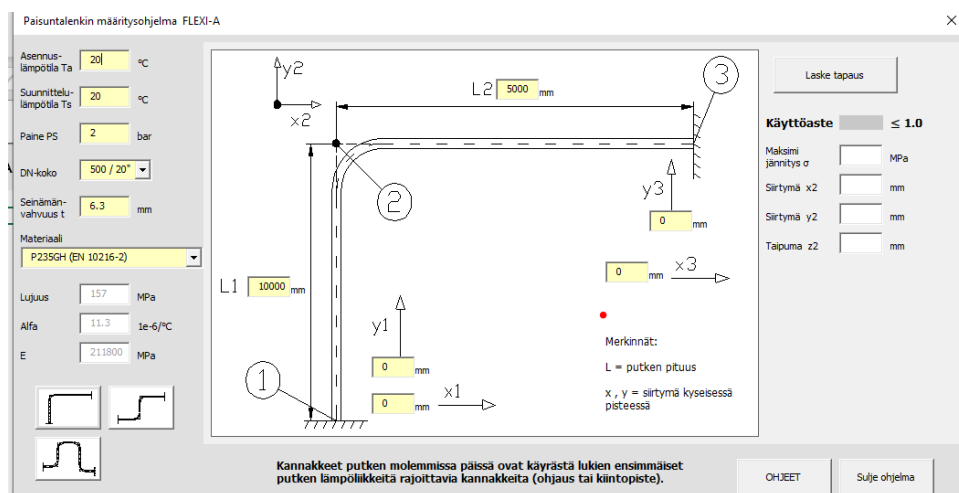
Kuva 20. Rullilla varustettuja liukukannakkeita [32].

Pitkissä korkeapainelinjojen kannakoinnissa käytetään lisäksi vakiovoima- ja jousikannakkeita. Jousikannakkeita käytetään, kun pystysuuntaiset lämpöliikkeet eivät ole suuria. Vakiovoimakannakkeita taas suurilla lämpöliikkeillä, koska sen tukivoima pysyy samana. Näiden kannakkeiden tarkoitus on imeä yllättävät liikkeet putkistosta. Näiden suunnittelu vaatii joustavuusanalyysin. [33, s. 15.]

Putkessa on korkean paineen ja lämpötilan vuoksi isot voimat, joiden takia putken kannakoinnissa tulee olla todella tarkka, ettei tapahdu onnettomuuksia. Pitkien korkeapainehöyryputkien kannakointi on todella haastavaa, eikä sitä voida antaa tehtäväksi ensikertalaiselle. [7.]

6.3.3 Flexi-A

Swecolla on käytössään laskentaohjelma nimeltä Flexi-A. Sillä saadaan laskettua suuntaa antava kiintopisteiden ja käyrien käyttöaste. Käyriä on kolme erilaista, L-, Z- ja U-käyrät. Flexi-A:n laskentaa varten tarvitaan tieto materiaalista, asennus- ja suunnittelulämpötilasta sekä kiintopisteiden etäisyydestä käyrästä. Etäisyyksiä muuttamalla saadaan eri käyttöasteita. Jos käyttöaste on alle 1, niin silloin putken pitäisi joustaa tarpeeksi. Kuvassa 21 on näytettynä, mille Flexi-A-ikkuna näyttää.



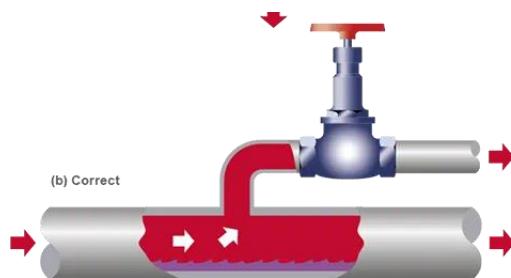
Kuva 21. Flexi-A-ohjelmistoikkunan yleisnäkymä.

6.4 Haaroittaminen

Höyry johdetaan laitokseen isona runkoputkena, ja laitokselleen päästessään runkoputkesta haaroittuu pienempiä haaraputkia. Kun putki jakautuu pienempiin putkiin, tarvitaan vain pieni haara jakamaan höyryä. Pienessä putkessa höyryn virtausnopeus on suurempaa. Kun putken halkaisija muuttuu pienempään, paine kasvaa, jolloin höyryn tilavuus pienenee. Tällöin riittää pienempi putki haaroitusta varten [1.] Ennen käyttökohdetta on paineenalennusventtiili, jotta höyryä käyttävät laitteet eivät hajoa [11].

6.4.1 Haarojen reitittäminen

Höyryputken haaroittaminen tapahtuu aina pääputken päältä. Päältä haaroitettuun putkeen ei päädy lauhdetta, joka voisi huonontaa lämmönsiirtoa kohteessa. Haaran alkuun laitetaan myös sulkuventtiili, jolla voidaan sulkea höyryn virtaaminen käyttökohteeseen. Sulkuventtiileinä suositellaan käyttämään käsiventtiiliä automaattiventtiilin sijasta, ”Kun automaattiventtiili pettää, niin se pettää. Käsiventtiili ei koskaan petä.” [11.] Kuvassa 22 on näytettynä oikeanlainen haaroitus.



Kuva 22 Oikeanlainen haaran lähtö runkoputkesta. [26.]

6.4.2 Instrumentointi

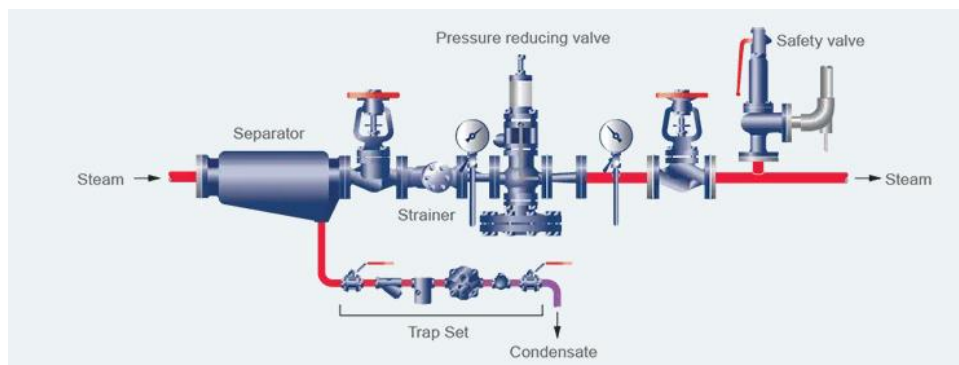
Haaraputkessa on paljon instrumentointia, joilla varmistetaan, että höyryn paine ja lämpötila pysyvät sallitulla tasolla. Jos höyryn painetta ei hallittaisi, se voisi

vaihdella, rikkoen laitteita. Paineenalennusventtiilillä paine alennetaan sopivaan paineeseen. [6, s.125.]

Höyryputkesta irtoaa helposti kiinteitä hiukkasia. Tätä varten ennen jokaista toimilaitetta käytetään suodattimia erottelemaan kiinteä aines virtauksesta esimerkiksi y-sihdillä. Y-sihtit tulisi laittaa ennen jokaista nousukohtaa, virtausmittaria, paineenalennusventtiiliä, lauhteenpoistinta ja sulkuventtiiliä. [6, s. 126].

Höyryllä on muitakin laatuvaatimuksia. Vesi ja ilma häiritsevät lämmönsiirtoa. Tätä varten putkeen asennetaan pisaranerottimia ja ilmanpoistimilla, jotka nappaavat vesipisarat virtauksesta ja kuivattavat höyryn. [11.]

Mittausten tulee olla oikeassa järjestyksessä paineenalennusta varten. Haarassa on ensin sulkuventtiili. Venttiin luokse tulisi päästä helposti, jotta se voidaan helposti sulkea. Venttiin jälkeen on paineenalennus, jonka molemmin puolin on painemittaus. Lämpötila mitataan paineenalennuksen jälkeen. Joskus ennen paineen mittausta tehdään supistuksia, jotta ei tarvittaisi niin isoa paineenalennusventtiiliä. [11.] Kuvassa 23 on esitettyä tyypillinen paineenalennusyksikkö.



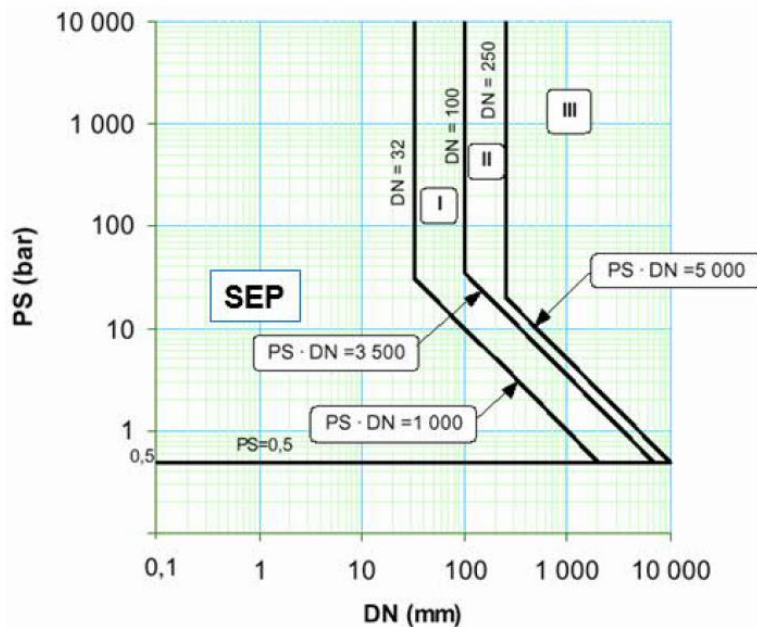
Kuva 23 Havainnekuva paineenalennuksen instrumentoinnista. [20.]

6.5 Lujuuslaskenta ja joustavuusanalyysi

Höyryputken suunnittelun lopputulos tulee tarkastuttaa lujuuslaskijalla, joka tekee putkelle joustavuusanalyysin. Analyysillä varmistetaan, että putkisto on

tarpeeksi joustava. Lujuuslaskija tarkastaa, että paisuntalenkkien koot ovat tarpeeksi isoja ottamaan lämpölaajenemisen vastaan ja että putkessa on tarpeeksi kannakkeita, jotta putki ei roiku, jolloin voisi syntyä potentiaalinen vesi-iskun alkamiskohta. Jos putkisto olisi liian jäykkä tai siinä olisi kohta, jonne suuri jännitys kasautuisi, se voisi johtaa putken hajoamiseen ja onnettomuuksiin. [17.]

Swecolla on käytössä listaus, milloin joustavuusanalyysi suoritetaan putkistolle. Listassa on luokiteltuna PED-luokan ja lämpötilan yhdistelmiä, jolloin analyysi tehdään. Höyrylle tehdään analyysi aina. Kuvassa 24 on esitettyä vaarattomille kaasuille PED-luokkakaavio. [33, s. 7.]



Kuva 24 PED-luokittelu höyrylle ja vaarattomille kaasuille. [33, s.14.]

Höyryputkessa on suuria voimia, jolloin voimat on ohjattava jonnekin. Höyryputkessa on aina suuria voimia sen korkean lämpötilan vuoksi. Rakennesuunnitteluun on annettava tieto rakennekuormista jokaisessa kannakepisteessä, jotta putkisilta osataan mitoittaa oikein. Putken viruminen otetaan huomioon, kun höyryn lämpötila on yli 450 °C. Viruminen tarkoittaa sitä, että ajan saatossa putki alkaa antaa periksi ja alkaa syntyä pysyviä muodonmuutoksia. [17.]

Analyysi toteutetaan Swecolla Caepipe-ohjelmistolla. Analyysin laskennassa hyödynnetään EN-13480-3:n eurooppalaisen yhdenmukaistetun standardin kappaletta 12. Putken suunnittelija vie analysoitavan putken isometriiirrookset laskijalle. Suunnittelija mallintaa putken ohjelmaan, joka analysoi putken. Ohjelmisto tarvitsee laskentaansa tiedon putken materiaalista, seinämänpaksuudesta, eristyspaksuudesta ja lisäksi fluidin lämpötilan, paineen ja tiheyden. Ohjelmisto osaa ottaa huomioon myös tuulesta ja lumesta aiheutuvat kuormat. Tulokset katsotaan yhdessä putkistosuunnittelijan kanssa ja korjataan ongelmakohdat. [17.]

7 Höyryputki-esimerkki

Opinnäytetyössä suunniteltiin höyryputki. Putki kulkee putkisillalla, joka on 580 metriä pitkä suora. Mallintaminen tehtiin E3D-ohjelmistolla. Suunnittelun laskennassa hyödynnetään Flexi-A:aa ja Exceliä. Lujuusanalyysin suoritti lujuuslaskija Caepipe-ohjelmistolla.

Höyryä tulee voimalaitokselta 17 tonnia tunnissa, 140–160 asteista ja 4–5 baarin paineisena. Höyryputki on kooltaan DN400, ja putken materiaali on P235GH-hiiliterästä.

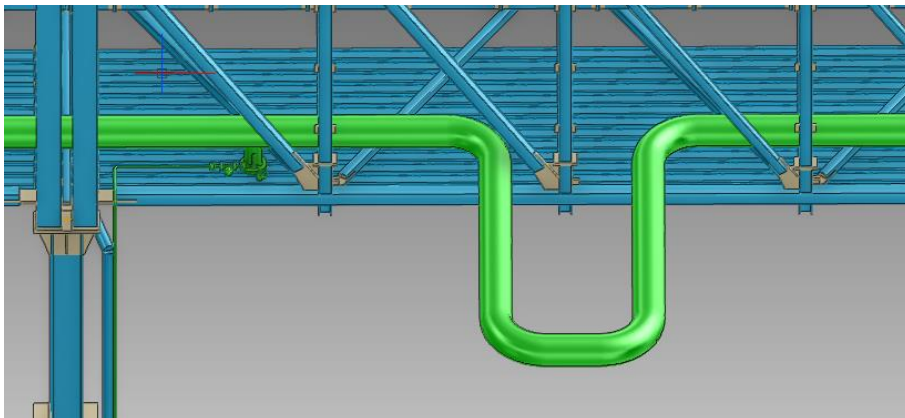
7.1 Paisuntalenkkien laskeminen

Höyryputki laajenee asennuslämpötilasta käyttölämpötilaan. Putken lämpölaajeneminen 580 metrin matkalle laskettiin Flexi-A:lla. Tulokseksi saatiin 990 mm. Flexi-A:lla etsittiin sopivaa joustavaa lenkkiä, johon kuuluu x-suuntaiset pituudet kiintopisteiden väliltä. Kiintopisteiden keskelle sijoittuu paisuntalenkki. Excelillä laskettiin, kuinka monta lenkkiä matkalle mahtuu. Exceliin syötettiin lenkin sekä Flexi-A:n laskemat putken siirtymätiedot. Putki ei siirry vain x-suunnassa vaan myös y-suunnassa kiintopisteen takia. Tämän vuoksi putken siirtymä laskettiin Excelissä Pythagoraan lauseen avulla.

Tuloksena saatiin luku, joka kertoo, kuinka monta lenkkiä mahtuu suoralle. Luku pyöristettiin alaspäin. Jäljelle jäänyt osuus jaetaan kahdella ja käytetään suoran päissä oleviin käyriin, joihin suora päättyy. Tämän jälkeen voidaan laskea erotus alussa määritettyjen putken pituuden ja tarvitseman siirtymän saatujen tulosten välillä. Erotukset lasketaan, jolloin saadaan tietää, kuinka paljon pituutta on viimeisimmästä keskipisteestä lopussa olevien käyrään ja kuinka paljon käyrän tulisi joustaa. Erotuksen tulos jaetaan kahdella ja tulos laitetaan Flexi-A:n L-käyrän laskentasivulle. Jos tulos on suurempi kuin laskettu siirtymän erotus, käyrä pystyy ottamaan loput lämpölaajenemista vastaan ja lenkit ovat sopivia.

Liitteen 1 kuvassa 1 on kuvankaappaus Excel-välilehdestä, jossa laskenta suoritettiin. Lenkkejä saatiin mahtumaan suoralle 13 kappaletta, jotta siirtymät kompensoidaan kokonaan. Liitteen kuvissa 2 ja 3 on esitetty kuvankaappauksia Flexi-A:sta, joissa on näkyvissä lasketun lenkin pituudet ja muut tiedot.

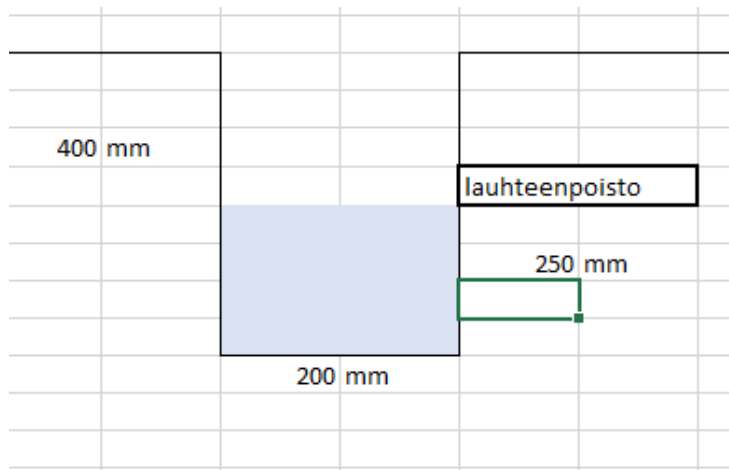
Mallinnuksessa lenkki laitettiin suunniteltuihin mittoihin. Täydelliset mitat eivät onnistu putkisillalla, koska väliorsia on 2,9 metrin välein, joten mallintamisen jälkeen katsottiin, mistä väleistä lenkki pääsee kulkemaan törmäämättä palkkeihin. Lenkin mitat pysyivät lasketun kokoisina, mutta matka kiintopisteeseen vaihtelee. Liitteen 1 kuvassa 4 on esitettyä yksi isometrin sivu, jossa putki alkaa paisuntalenkistä ja loppuu toiseen paisuntalenkkiin. Kuvassa 25 on esitettyä mallinnettu paisuntalenkki.



Kuva 25. Lenkki mallinnettuna E3D:llä.

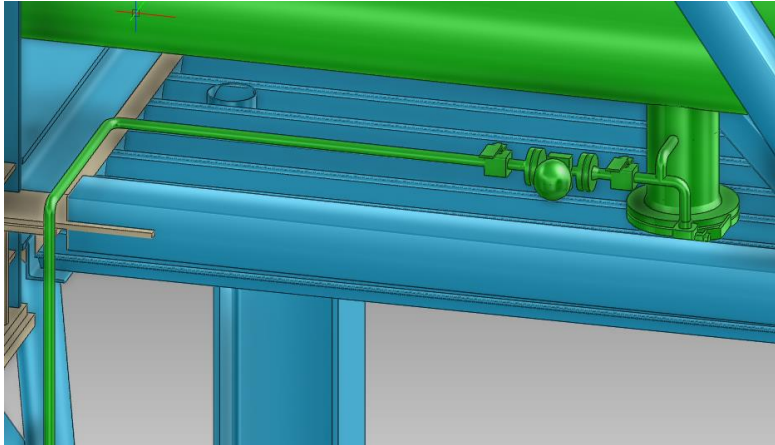
7.2 Lauhdetasku

Lauhteenpoistot tulisi sijoittaa 30–50 metrin välein. Paisuntalenkkien välinen pituus on 41,9 metriä, joten riittää, että yksi lauhteenpoisto sijoitetaan niiden väliin. Tasku sijoitettiin malliin noin kolme metriä ennen paisuntalenkkiä virtaus-suuntaan. Kuvassa 26 on esitettyä toteutettavan lauhdetaskun mitat.



Kuva 26. Höyryputkeen sijoitettavien taskujen mitat.

Lauhdeputkiston koko on DN25. Lauhdeputki lähtee taskusta 200 m:n korkeudelta ja kääntyy alas. Tämän jälkeen on T-haara, josta toiseen laitetaan lauhdeputkisto pilarin luokse, jonka viertä se ajetaan alas. Toiseen puoleen haarasta tehdään putken tyhjennys. Lauhdeputkistoon laitettiin uimurilauhteenpoistin ja venttiilit ennen ja jälkeen poistimen, jotta lauhteenpoistin voidaan huoltaa. Kuvassa 27 on esitettyä mallinnettu lauhdeputkiston alku.

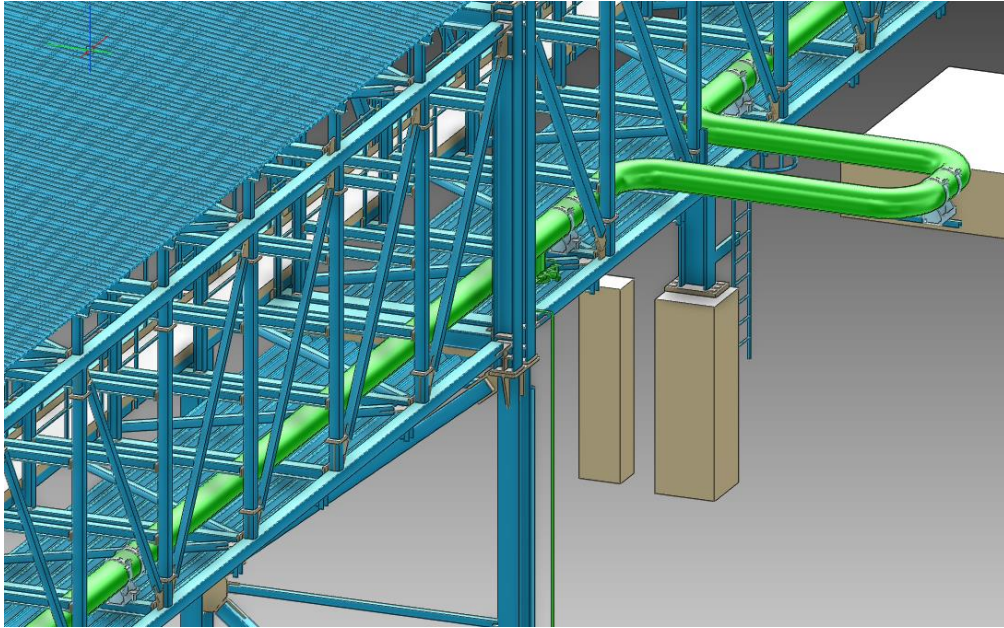


Kuva 27. Lauhdeputkisto mallinnettuna.

7.3 Kannakointi

Swecon kannakointiohjeen mukaan DN400-kokoisen hiiliteräspankan kannakkeväli olisi kiinteälle kannakkeelle 17,3 metriä ja vapaalle kannakkeelle 12,6 metriä. Kuten suunniteltiin paisuntalenkin laskennassa, kiintopiste laitettiin keskelle 10 metrin päähän lenkistä. Kynsikannake laitettiin 12 metrin päähän kiintopisteestä. Kuten paisuntalenkkien kanssa, kannakkeet laitettiin ensin paikoilleen suunniteltuihin väleihin ja sitten laitettiin kannakkeet niitä lähimmällä olevalle orrelle.

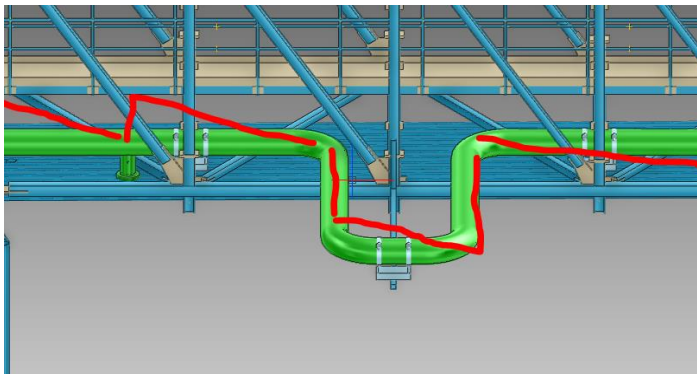
Paisuntalenkin keskelle laitettiin liukukannake. Rakennesuunnittelulle tulisi ilmoittaa, että putkisillalle lenkkien kohdalle halutaan laajennus, jolla tuetaan putkea ja kannaketta. Kuvassa 28 on esitetty toteutettu kannakointi.



Kuva 28. Putken kannakointia.

7.4 Putken kaato

Putken kaatoa ei mallinnettu putkelle. Kallistuskulman tulisi olla 1:100, jolloin putki laskisi suoralla 5,8 metriä. Putkisillalla tällöinen lasku ei ole mahdollinen vaan lasku tulisi toteuttaa nousujen avulla. Tässä tapauksessa, kun paisuntalenkkien väli on 41,9 metriä, nousu tulisi toteuttaa kerran jokaisen paisuntalenkin välissä. Nousun tulisi olla 420 mm lauhdetaskun kohdalta, josta se laskee seuraavalle lauhteenpoistotaskulle asti. Kuvassa 29 on piirretty, miltä putken lasku ja nousu näyttäisivät.

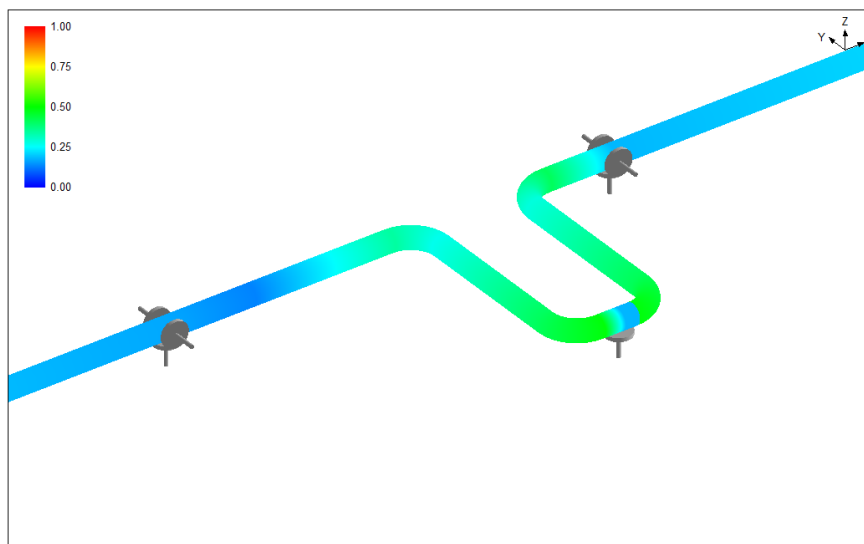


Kuva 29. Havainnepiirros, kuinka putki toteutettaisiin, jos siinä olisi kaato.

Suoralla osuudella putki laskee taskulle asti, josta se nousee pystysuoraan ylös. Paisuntalenkissä ulospäin siirtyvät osat ovat tasaisia, mutta päässä putki jatkaasi laskuaan. Koska paisuntalenkkien väli ei sillan orsien takia ole tasainen, jokainen nousu tulisi laskea erikseen suoran osuudelle sopivaksi.

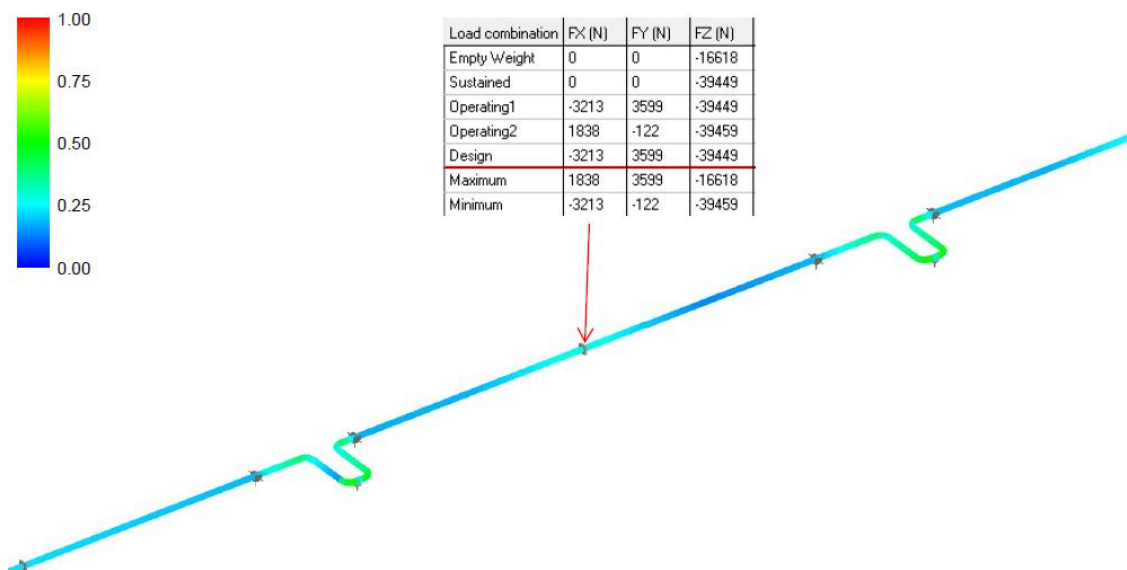
7.5 Joustavuusanalyysi ja putken kestävyys

Joustavuusanalyysi toteutettiin Caepipe-ohjelmalla. Lenkin voimat voi nähdä kuvasta 31, ja kaikki 13 lenkkiä saivat samanlaisen tuloksen. Sinisen ja vihreän sävyt kuvaavat välin 0–0,5 rasisustetta, jossa punainen tarkoittaisi suurinta numerolla 1. Lenkin kannakointi onnistui hyvin, eikä missään ole suuria voimakeskittymiä.



Kuva 30 Lenkkiin kohdistuvat voimat värikoodattuina.

Kiintopisteeseen kohdistuvat voimat on nähtävissä kuvassa 31. Voimat tulisi ilmoittaa rakennesuunnitteluun, jotta voidaan tehdä vahvennuksia kiintopisteiden kohdalle. Täten varmistetaan, että kiintopiste pysyy paikallaan.



Kuva 31 Kiintopisteeseen kohdistuvat värikoodattuna ja taulukoituina.

8 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli tuottaa höyryputken suunnitteluohje. Työssä käsiteltiin laajasti eri alueita, jotka kaikki liittyvät höyryputkeen. Lopulta aiheet yhdistettiin ja suunniteltiin onnistunut suora höyryputki putkisillalle. Työtä varten tietoa kerättiin kirjallisuudesta, työntekijöitä haastatteleamalla ja höyryputkiin erikoistuneiden yritysten nettisivuilta.

Höyryputken suunnitteluun kuuluu paljon eri osa-alueita, jotka tulee kaikki ottaa suunnittelussa huomioon. Putken reitin miettimisen jälkeen lasketaan ja mallinnetaan paisuntalenkkejä, lauhteenpoistoja ja laitetaan putkelle kannakkeita. Valmiin höyryputken toimivuus tarkastetaan lujuuslaskijalla, joka voi antaa suunnittelijalle parannusehdotuksia.

Lopullisena tuloksena saatiin laaja kokonaisuus, jonka avulla suunnittelijat saavat käsityksen siitä, kuinka höyryputki tulisi suunnitella. Työtä tullaan hyödyntämään Sweco Oy:llä höyryputkien suunnittelussa.

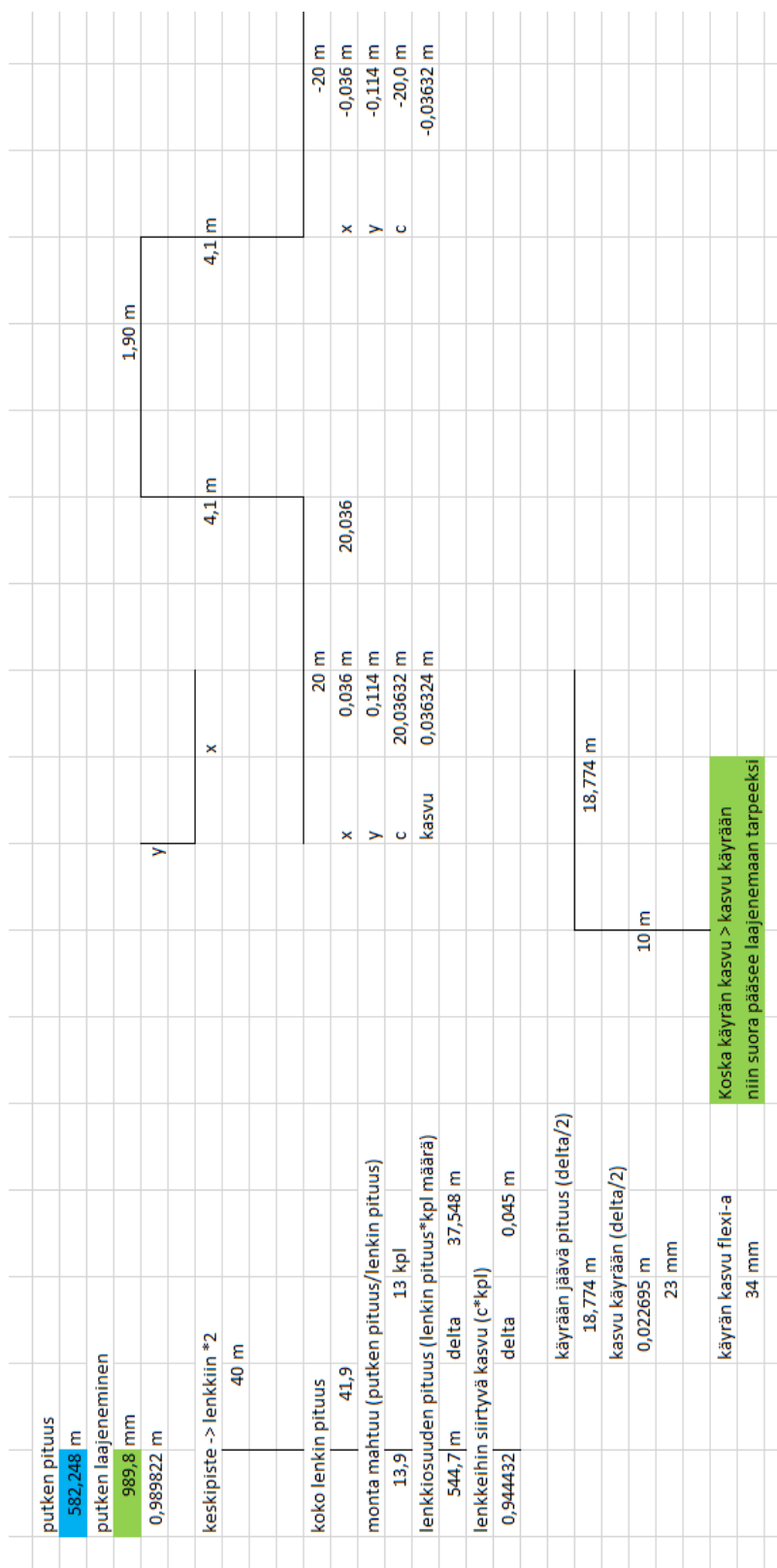
Lähteet

- 1 Konwell. 2013. Höyry- ja lauhdekoulutus. Koulutusmateriaali.
- 2 The steam and condensate loop. Verkkoaineisto. Spirax Sarco. <<https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/introduction/the-steam-and-condensate-loop#article-top>>. Luettu 31.10.2023.
- 3 Keskinen, Kari I. 2015. Taulukoita ja piirroksia kemian laitetekniikkaan 2. painos. Turenki. Otatieto.
- 4 Ideal gas and ideal gas equation of state. Verkkoaineisto. BC Campus. <<https://pressbooks.bccampus.ca/thermo1/chapter/3-1-ideal-gas-and-ideal-gas-equation-of-state/>>. Luettu 8.11.2023.
- 5 Saturated vs unsaturated steam types. Verkkoaineisto. Atlas Copco. <<https://www.atlascopco.com/fi-fi/rental/resources/industrial-steam-guide-temperature-control/basics/saturated-vs-unsaturated-steam-types>>. Luettu 3.11.2023.
- 6 Flowserve. 2010. Gestra Condensate Manual 11. painos. Bremen.
- 7 Koulu, Pertti. 2023. Layout and piping, energy and mining, Sweco Finland Oy, Helsinki. Keskustelu 30.10.2023.
- 8 What is steam. Verkkoaineisto. Spirax Sarco. <<https://www.spirax-sarco.com/learn-about-steam/steam-engineering-principles-and-heat-transfer/what-is-steam>>. Luettu 31.10.2023
- 9 Teollisuuden höyry- ja lauhdelinjoiden suunnittelu. 2008. Yrityksen sisäinen dokumentti. Sweco Finland Oy.
- 10 What is steam and why it is important for industries. Verkkoaineisto. Energy Purse. <<https://www.energypurse.com/what-is-steam-and-why-it-is-important-for-industries/>>. Luettu 11.10.2023.
- 11 Kemppinen Kimmo. 2023. Plant and analysis Management, Sweco Finland Oy, Helsinki. Keskustelu. 20.9.2023.
- 12 Lund. Ilari. 2020. Höyry- ja lauhdelaboratorion suunnittelu ja jatkokehitys. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

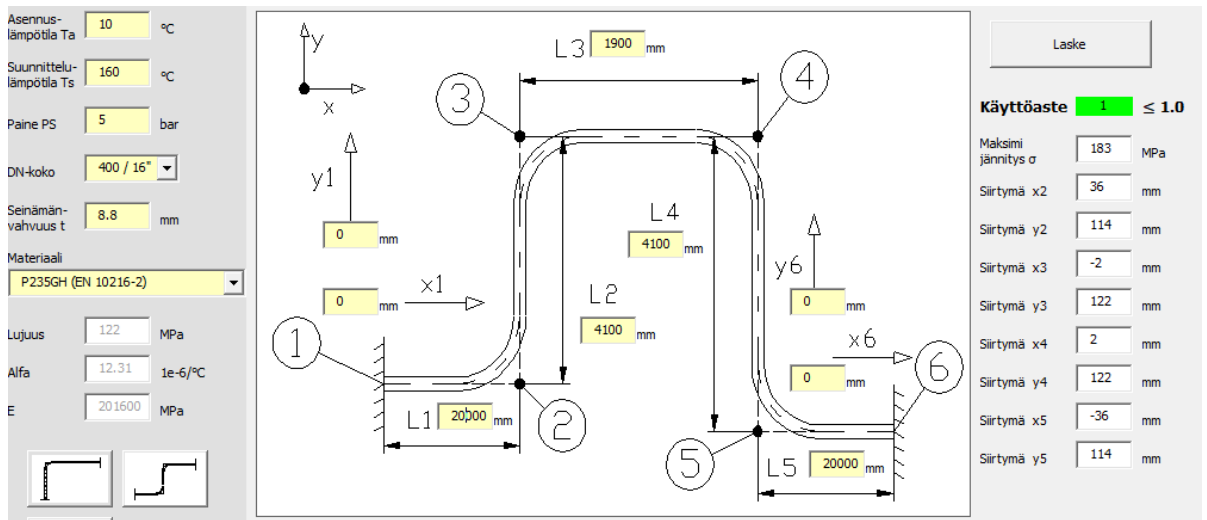
- 13 Introduction to condensate recovery. Verkkoaineisto. Spirax Sarco. <<https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/condensate-recovery/introduction-to-condensate-recovery>>. Luettu 25.10.2023.
- 14 Vuorio, Santeri. 2022. Teollisuuden sähkösaattolämmitysjärjestelmän kehittäminen elinkaarikustannusten näkökulmasta. Diplomityö. Lappeenranta- Lahden teknillinen yliopisto LUT. LUTPub-tietokanta.
- 15 Lehtinen, Anssi. 2023. Plant and Mechanical Management, Sweco Finland Oy, Helsinki. Keskustelu 7.9.2023.
- 16 Joroinen, Olli-Pekka. 2022. PSK putkiluokat(-teksti). Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 17 Metso, Niklas. 2023. Strength Analysis, Sweco Finland Oy, Helsinki. Haastattelu 3.11.2023.
- 18 Joroinen, Olli-Pekka. 2022. PSK-putkiluokat. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 19 PSK 4205. Putkiluokka E16C1A painelaitekäyttöön. Kuumaluja seostamaton teräs. Hitsattu teräs. 2022. Helsinki: PSK Standardointiyhdistys ry.
- 20 Steam quality. Verkkoaineisto. Spirax Sarco. <<https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/steam-engineering-principles-and-heat-transfer/steam-quality#article-top>>. Luettu 31.10.2023.
- 21 Flowserve. 2010. Gestra guide. 2. painos. Bremen.
- 22 Corrosion and Corrosion Prevention. Verkkoaineisto. The Electrochemical Society. <<https://www.electrochem.org/corrosion-science/>>. Luettu 9.10.2023.
- 23 Erosion in Steam and Condensate Piping. Verkkoaineisto. TLV. <<https://www.tlv.com/steam-info/steam-theory/problems/piping-erosion>>. Luettu 9.10.2023
- 24 Kavitaatio syö venttiilejä. Verkkoaineisto. Konwell. < <https://www.konwell.fi/fi/viestinta-ja-julkaisut/blogit/kavitaatio-syoe-venttiileitae/>>. Luettu 17.1.2024
- 25 Cavitation in Condensate Pumps. Verkkoaineisto. TLV. <<https://www.tlv.com/steam-info/steam-theory/problems/cavitation-in-condensate-pumps>>. Luettu 9.10.2023

- 26 Steam mains and drainage. Verkkoaineisto. Spirax Sarco. <<https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/steam-distribution/steam-mains-and-drainage>>. Luettu 31.10.2023.
- 27 Putkiston kannakointiohje. 2011. Yrityksen sisäinen dokumentti. Sweco Finland Oy.
- 28 Järvi, Petri. 2023. Plant and piping, Sweco Finland Oy, Helsinki. Keskustelu 31.10.2023.
- 29 Pipe expansion and support. Verkkoaineisto. Spirax Sarco. <<https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/steam-distribution/pipe-expansion-and-support>>. Luettu 1.11.2023.
- 30 Lauhteenpoistimen valinta. Verkkoaineisto. Konwell. <<https://www.konwell.fi/fi/viestinta-ja-julkaisut/blogit/lauhteenpoistimen-valinta>>. Luettu 25.10.2023.
- 31 Kemppinen, Kimmo. 2023. Plant and Analysis Management, Sweco Finland Oy, Helsinki. Haastattelu 26.10.2023.
- 32 Lisega. 2010. Standard supports 2010. Edition October 2001. US.
- 33 Putkistojen joustavuusanalyysi. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Sweco Finland Oy.

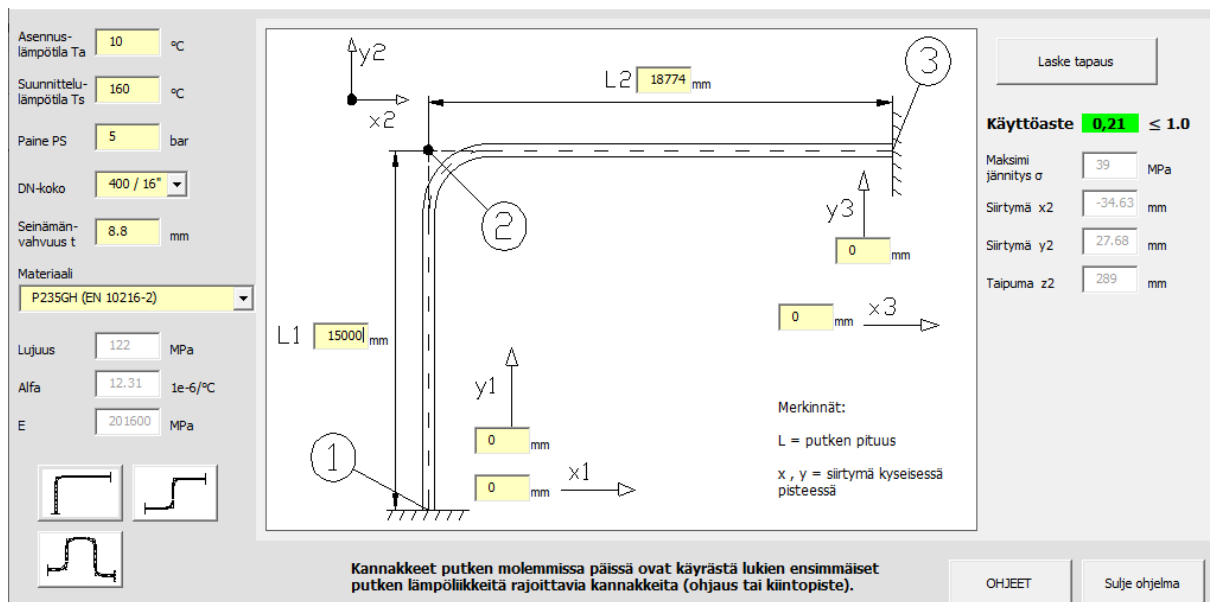
Paisuntalenkin laskentaa ja höyryputken isometri



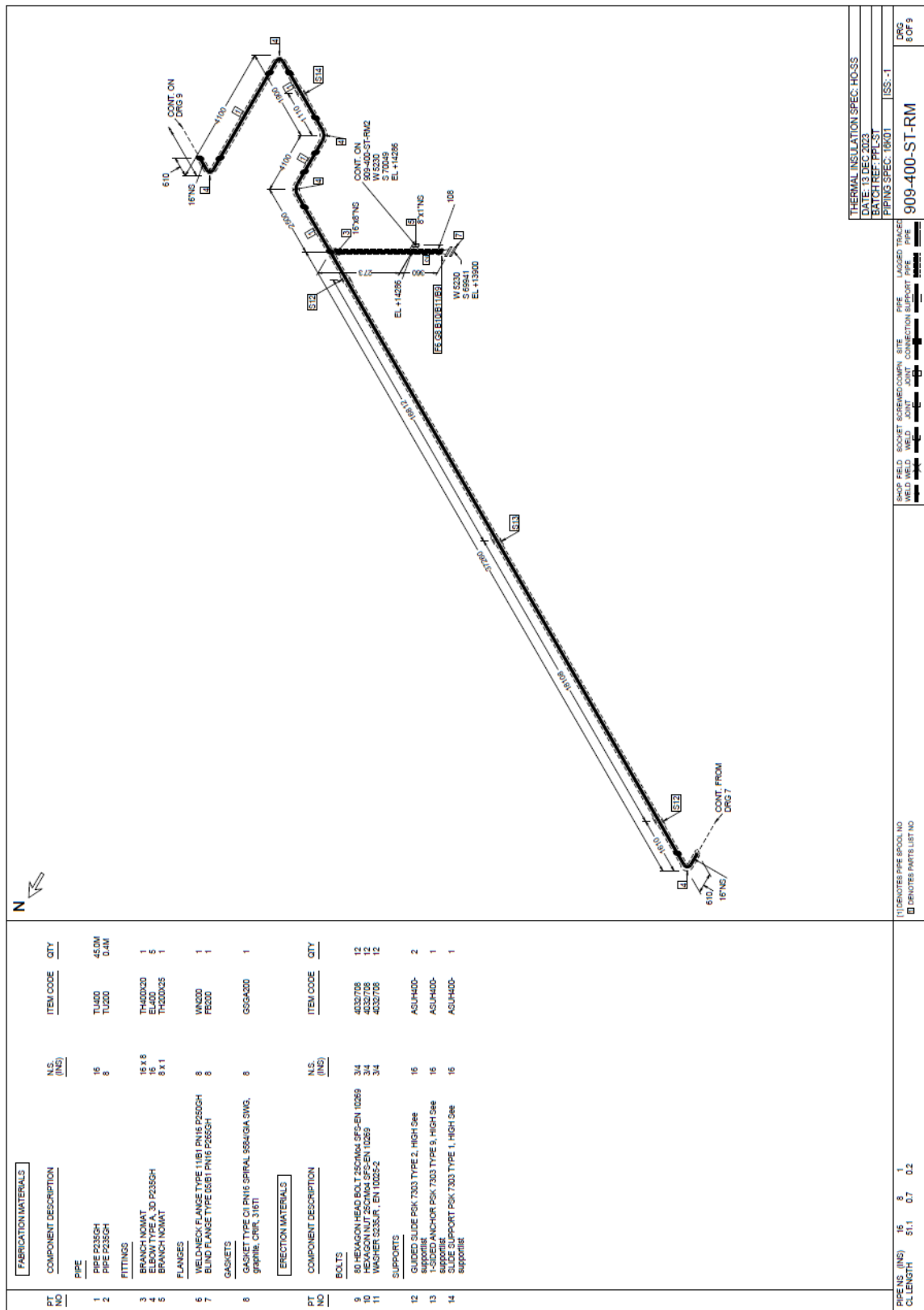
Kuva 1 Paisuntalenkin laskenta.



Kuva 2 Putkeen mallinnettava sopiva paisuntalenkki.



Kuva 3 Jäljelle jäänyt pituus ja sen paisunta viimeistelevät suoran joustavan laajenemisen.



Kuva 4 Isometri, jossa näkyy kiintopiste, lauhteenpoistotasku ja paisuntalenkki.