



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

SULZER-HÖYRYKONEEN NÄYTÖS- LUONTOISEN KÄYTTÄMISEN TEKNISET EDELLYTYKSET

Roope Viita

Opinnäytetyö
Marraskuu 2017
Konetekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka

VIITA, ROOPE:

Sulzer-höyrykoneen näytösluontoisen käyttämisen tekniset edellytykset

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Marraskuu 2017

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten vuosikymmeniä seissyt, museoitu Sulzer-höyrykone voitaisiin käynnistää ja käyttää sitä aika ajoin näytösluontoisesti. Finlayson & Co:n Tampereen-tehtaan entinen Sulzer-höyryvoimakone sijaitsee alkuperäisellä paikallaan. Vuonna 1900 käyttöönotettu suuri mäntähöyrykone on seissyt käyttämättä 1950-luvulta. Höyryä koneelle tuottaneet höyrykattilat on purettu, kuten myös suurin osa muusta höyryjärjestelmästä. Sen sijaan itse kone on miltei täysin säilytetty ja periaatteessa käyntikunnossa. Tällä hetkellä se on osa museota, ja siten yleisön nähtävillä. Tällaista konetta voitaisiin näytösluontoisesti käyttää, jos höyryntuotto ja lauhdutusjärjestelmä rakennettaisiin koneen ympärille uudelleen. Järjestelmään käytettävissä olevat tilat ovat hyvin rajalliset.

Koneen toiminnan tarkka selvittäminen oli ensimmäinen edellytys höyryjärjestelmän mitoitusta varten. Koneen omia teknisiä dokumentteja ei ole enää tallessa. Vanhaa mäntähöyrykoneisiin liittyvää teknistä kirjallisuutta oli kuitenkin saatavilla pienen etsimisen jälkeen, ja loppujen lopuksi kyseisestä koneyksilöstäkin löytyi joitain hajanaisia, yksittäisiä tietoja. Höyryä käyttämisestä energiatekniikassa on saatavilla paljon tietoa, koska sitä käytetään nykyäänkin sekä voimaloissa että teollisuudessa. Koneeseen liittyvät laskut ovat normaalia energiatekniikkaa ja termodynamiikkaa, joskin osassa vanhemmista laskuista on käytössä vanhentuneet yksiköt. Lisäksi yksiköitä käytettiin välillä SI-järjestelmästä poiketen.

Lähes yhtä tärkeää kuin laskelmat oli itse koneen tutkiminen. Mekanismeista ja periaatteista päästiin hyvin selville teoreettisen tiedon tukemana. Huomattiin, että kone on erittäin huolellisesti, tarkasti ja kestävästi rakennettu. Se edustaa aikalaisekseen hämmästyttävää insinööri- sekä valmistusteknistä osaamista ja kestää vertailun nykyaikaisiinkin konepajatuotteisiin, nousten varsinkin viimeistelyn tasossa ylikin.

Todettiin myös, että kyseisen koneen tekniset vaatimukset täyttäviä nykyaikaisia höyrykattiloita on markkinoilla moneltakin eri valmistajalta. Koska Sulzer-kone on suuri, sen käyttäminen tyhjäkäynnilläkin vaatii melko suurta höyryntuottoa kattilalta. Kuitenkin suuritehoinenkin nykyaikainen höyrykattila mahtuu verrattain pieneen tilaan, kun verrataan 1900-luvun alun höyrykattiloihin. Lauhdutinjärjestelmää ei löydy valmiina, vaan se pitäisi rakentaa koneen vaatimusten perusteella. Sen sijoittelu on kuitenkin myös vapaampaa, koska se voidaan rakentaa myös käytettävissä olevien tilojen mukaisesti. Koneen käyttäminen vaatii erikoisosaamista, joka on suurimmaksi osaksi kadonnut. Ennen käynnistämistä se olisi myös huollettava ja säädettävä. Suurimmaksi ongelmaksi jäänee kuitenkin rahoituksen löytäminen tällaiseen projektiin.

Asiasanat: höyrykone, mäntähöyrykone, kolmipaisuntakone, trippelikone, sulzer

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical Engineering

VIITA, ROOPE:

Technical Requirements of using Sulzer Steam Engine as Demonstration Purpose

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 1 pages
December 2017

The aim of this thesis was to investigate how an old steam engine which has been unused by decades could be possible to start and use for demonstration purpose. In Finlayson & Co's former factory building, there is still a huge Sulzer reciprocating steam engine in its original place. The engine was introduced in 1900, but has remained unused since the 1950's. By now, steam boilers and almost everything but the engine itself has been disassembled. In theory, the machine is in working condition, but there is a long way to go. At the moment, the engine is part of a museum and open to public viewing. If the steam system could be re-built using the newest technology, the engine could be running occasionally for demonstrational purposes.

The first thing to do was make exact sense of the operating principle of the engine. There is no technical documentation left for this engine. However, old technical literature regarding steam engines can still be found. Also, a small amount of information was found about the specific engine from various sources. There is a lot of information about energy technology and thermodynamics, because steam is used widely in powerplants and for industrial purposes. The calculations in respect of the piston steam engine were old and some units used were out of use nowadays. Besides, units that were used are in conflict with SI-system.

The calculations were almost as important as investigating engine itself. Fortunately, that was possible. The engine was found to be of precise build, engineered clearly and meticulously to make a robust, reliable and effective engine. The art of work is comparable with machines made today. In fact, there is no such precisely done machines any more in industry.

When calculations were complete, it was evident that there are many steam boilers on the market today, which can produce the needed amount of steam per hour to make it possible for the engine to run. Although idling, huge piston engine requires a lot of steam. Boilers with the required specifications are quite compact compared to the size of boilers in 1900. The steam condenser must be built as custom work anyway, so the system could be fitted where ever there is room for it, no matter what the shape of the room is. To actually run the engine there is need for special skills, which have mostly forgotten. Many services and inspections must also be done. Still, the biggest puzzle could be financing.

Key words: steam engine, piston engine, reciprocating, compound, sulzer

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	Historiaa	8
2.1	Käyttötarkoitus.....	8
2.2	Koneen alkuperäiset tekniset järjestelyt.....	8
3	Nykytilanne	10
3.1	Konesali	10
3.2	Konesalin alakerta.....	10
3.3	Höyrykattilat	11
3.4	Apulaitteet.....	11
4	Koneen toiminta	12
4.1	Höyryn kulku	12
4.2	Koneen toiminnan yksityiskohtia	15
4.2.1	Höyryn ohjaus	15
4.2.2	Lauhdutin	16
4.2.3	Käynnistyslaite.....	17
4.2.4	Indikaattori	18
4.2.5	Koneen säädettävyys	18
5	Laskelmat	20
5.1	Höyryn tarve	20
5.2	Saatava teho	22
5.3	Lauhduttimen mitoitus	25
5.4	Toissijaista laskentaa	28
6	Markkinoilla olevat laitteet.....	30
6.1	Höyrykattilat	30
6.1.1	Sähkökattilat.....	30
6.1.2	Poltinkattilat	31
6.2	Lauhduttimet	33
6.3	Muut varusteet	34
7	Yhteenveto.....	35
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	37
	Liite 1. Esimerkki polttimella toimivan höyrykattilan ulkomitoista. (Hansapower).....	37

ERITYISSANASTO

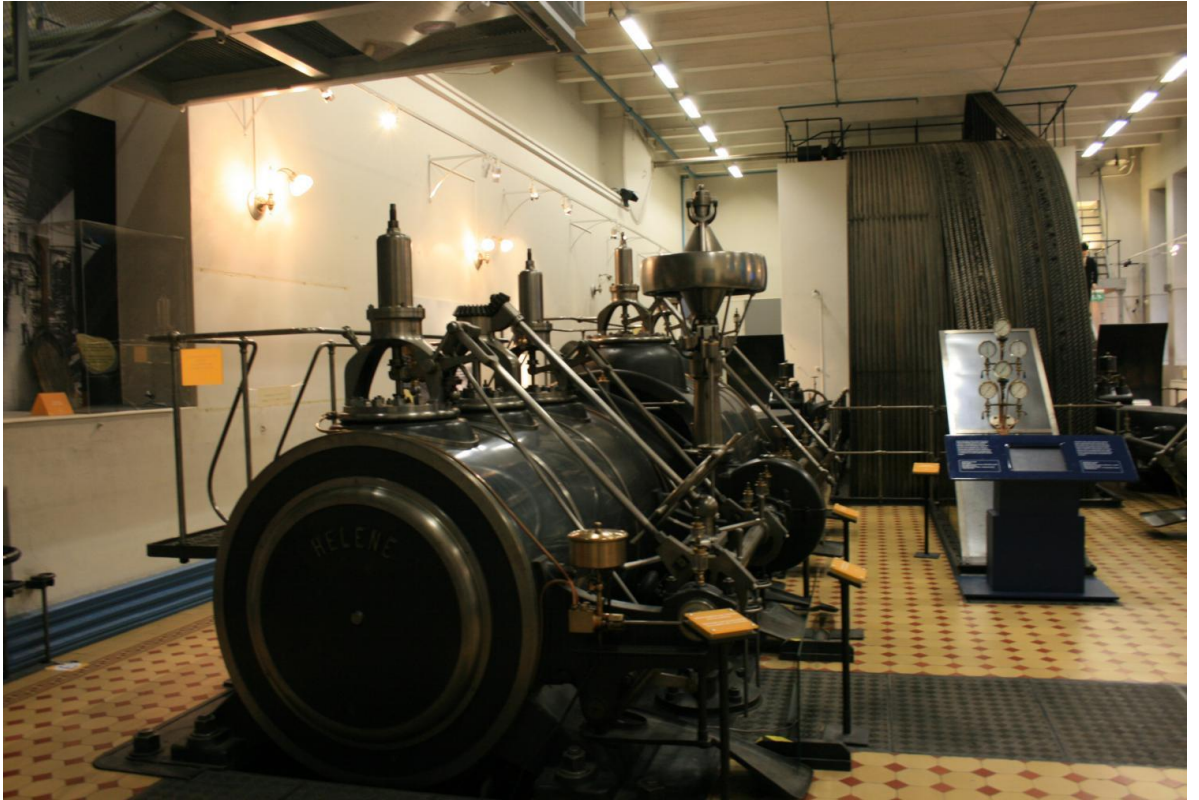
Kylläinen höyry	Vesihöyryn ja ilman seos, jossa on sitoutuneena lämpötilan sallima maksimimäärä höyryä
Tulistettu höyry	Kylläinen höyry, joka kuumennetaan kiehumispisteen yli
Vastapaine	Männän liikettä vastaan oleva paine
Indikoitu hevosvoima	Indikaattoriirroksesta määritelty teho
Efektiivinen hevosvoima	Koneesta saatava hyötöteho, eli indikoidun tehon ja koneen sisäisten häviöiden sekä apulaitteiden vaatiman tehon erotus.
Haitallinen tila	Höyrytila sylinterissä, johon koneen käydessä johdetaan höyryä, mutta ei ole varsinaista paisunta- ja puristustilaa.
Paaksmasiini	Höyryllä toimiva apukone, jonka avulla pääkonetta pyöritetään, jotta se saadaan käyntiin.

1 JOHDANTO

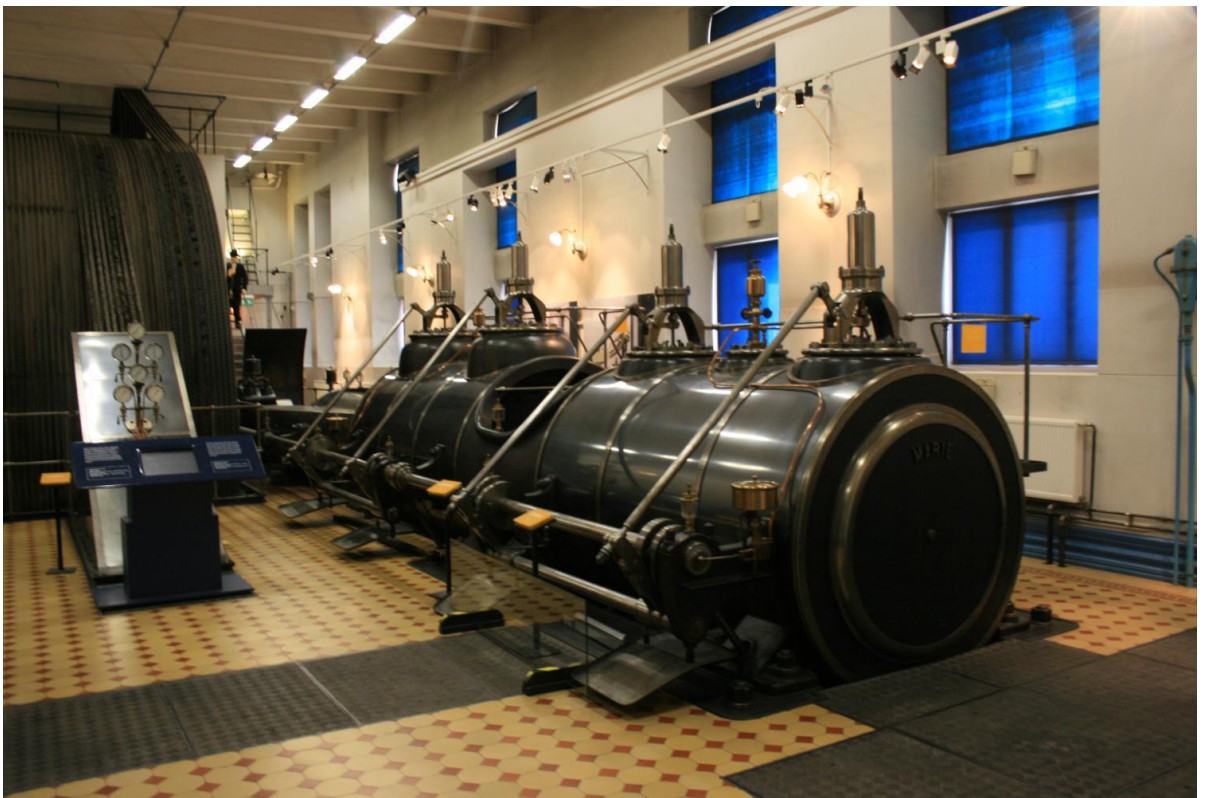
Tampereen Finlaysonin tehtaan entinen Sulzer -merkkinen höyryvoimakone sijaitsee alkuperäisellä paikallaan. Kone on museoitu, mutta se ei ole toimintakuntoinen. Tehtaalta on purettu höyrykoneeseen liittyvät höyrykattilat sekä melkein kokonaan lauhdutinjärjestelmät. Koneen käyttäminen näytösluontoisesti, ilman kuormitusta, olisi mahdollista, jos höyryntuotto- ja -lauhdutusjärjestelmä rakennetaan uudestaan apulaitteineen. Nykytekniikalla toteuttaen nämä laitteet voidaan mahduttaa pienempään tilaan kuin mitä alkuperäiset vaativat. Laitteet vaativat vähemmän tilaa myös siksi, että konetta ei kuormiteta.

Konetta on käytetty viimeksi 1950 -luvulla. Tämän opinnäytetyön tavoitteeseen pääseminen vaatii, että koneen toimintaperiaate selvitetään tarkasti. Teknisiä tietoja koneesta ei kuitenkaan ole enää hyvin saatavilla, eikä kyseisen koneen käyttämiseen ole enää osaamista. Tiedonhankinta ja selvitystyö ovat laskelmien lisäksi oleellisia osia tätä opinnäytetyötä.

Kone sijaitsee hallissa, joka on nykyään osa Työväenmuseo Werstasta. Höyrykonemuseo on erillinen, pysyvä näyttely Werstaan näyttelytarjonnassa. Kone on ulkoisesti hyvässä kunnossa, ja on oletettavaa, että se on mekaanisestikin ehjä. (Kuvat 1 ja 2) Konetta on pidetty 1950 -luvulle asti toimintakuntoisena, ja tämän jälkeen se on ollut näyttelyesineenä ensin Finlaysonin tehtaan hallinnassa, ja vuodesta 2002 alkaen Työväenmuseo Werstaan (Rohunen 2008, 1).



KUVA 1 Korkeapainesylinteri ”Helene”, takana matalapainesylinteri ja oikealla takana vauhtipyörä. (Kuva: Roope Viita 2017)



KUVA 2. Keskipainesylinteri ”Marie”, takana toinen matalapainesylintereistä. (Kuva: Roope Viita 2017)

2 Historiaa

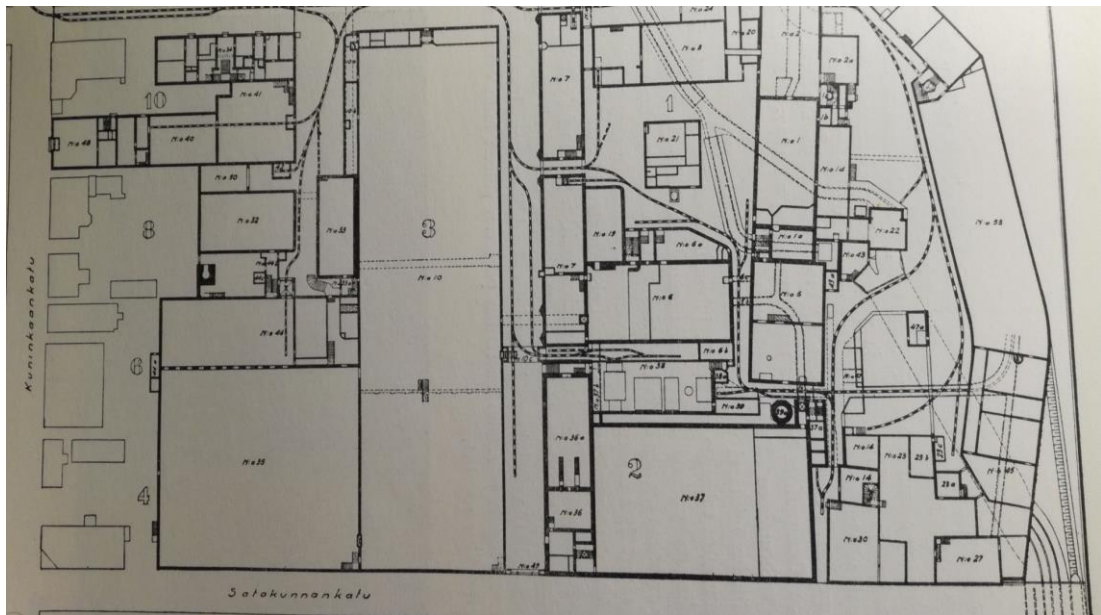
2.1 Käyttötarkoitus

Vuonna 1899 Finlayson & Co:n jatkuvan laajenemisen vuoksi tarvittiin enenevissä määrin myös käyttövoimaa työkoneille. Käyttövoima kutomo- ja kehruukoneille jaettiin mekaanisesti valta-akseleiden ja hihnojen avulla. Akseleita pyörittivät 1800 -luvun lopulla lähinnä lukuisat pienet höyrykoneet sekä vesivoima, jota viereisestä Tammerkoskesta oli saatavilla. Höyrykoneiden merkitys oli suuri. Koskesta saatavilla olevan vesivoiman määrä vaihteli ajoittain paljon, joten ilman höyrykoneita tehtaan tuotantomäärät olisivat vaihdelleet saannin mukaan. Koska tehdas laajeni tämän tästä, myös voimakoneita tarvittiin lisää. Niinpä tehtaalle päädyttiin hankkimaan selvästi tehtaan vanhempia koneita tehokkaampi Sulzer -höyrykone. Kun kone otettiin käyttöön, se oli merkittävin yksittäinen voimanlähde tehtaalla. Tehokkain höyrykone ennen Sulzeria oli 9 vuotta aikaisemmin hankittu 850 hv tuottava Musgrave (Lindfors 1938, 334).

Voidaan sanoa, että Sulzer- koneella on ollut merkittävä rooli Tampereen teollisuushistoriassa. Finlayson & Co oli merkittävä teollisuuden kehittäjä Tampereella ja Suomessa. Koska Tampere on teollisuuden ympärille rakentunut kaupunki, voidaan koneen ajatella olevan yksi merkittävä hankinta myös koko kaupungin historiassa. Kun Sulzer otettiin käyttöön, se oli suurin Suomeen tuotu höyrykone (Lindfors 1938, 351).

2.2 Koneen alkuperäiset tekniset järjestelyt

Sulzer -kone sijaitsee Finlayson & Co: rakennuksessa numero 36. Suuret, Babcock & Willcox -merkkiset höyrykattilat sijaitsivat viereisessä tilassa, rakennuksessa numero 38 (Kuva 3 ja 4). Kattiloiden polttoaineena käytettiin lähinnä puuhalkoja (Lindfors 1938, 356). Halkojen kulutuksen tiedetään olleen 1920 -luvulla 50 kuutiometriä päivässä (Rohunen 2008, 28). Höyrykattiloista höyryä johdettiin Sulzer -koneelle, ja myös muihin kohteisiin, putkistoja pitkin. Koneen lauhduttimet sijaitsivat höyrykoneen alla olevassa kerroksessa, molempien sylinteriparien alla yksi kummallakin puolella. Koneen alla olevassa kerroksessa on myös lauhdevesipumput, jotka ottavat käyttövoimansa sylinterien ja vauhtipyörän väliseltä kampikoneistolta. Myös pumppuja on yksi kummankin sylinteriparin alla.



KUVA 3. Osa Finlayson & Co tehdasalueen rakennuksista vuonna 1937 (Lindfors 1938, 344)



KUVA 4. Babcock & Willcox höyrykattilahuone vuonna 1912. (Tampereen museot, kuva Eino Savia, 1912)

3 Nykytilanne

3.1 Konesali

Konesali on suhteellisen alkuperäisessä kunnossa, höyrykone apulaitteineen on kutakuinkin täydellinen. Vauhtipyörän yläpuolella viistosti olevat hihnapyörät ovat osittain tallessa, mutta ainakin yksi on muurattu osittain seinän sisään, koska konesalin kattoa on madallettu. Vauhtipyörältä voimaa välittäneitä köysiä on jätetty muutamia paikoilleen. Museon kävijöillä on pääsy ainoastaan konesaliin ja toisen ilmapumpun luokse, joka sijaitsee keskipainesylinterin alapuolella olevassa tilassa.

3.2 Konesalin alakerta

Koneesta voimansa ottavat vesi- ja ilmapumput ovat paikallaan, mutta puutteellisia (Kuva 5). Rakennuksen muutostöiden yhteydessä pumput on osittain purettu. Lauhduttimet on purettu suurimmaksi osaksi pois, ilmapumpun luona on nähtävissä toinen lauhdutin osittain. Lauhdutin on katkaistu niin, että sen sisärakenne on hyvin nähtävillä. Höyryputkia on katkottu ja poistettu monesta kohtaa. Alakerran pohjaratkaisua on jonkin verran muutettu sen jälkeen, kun höyrykone on poistettu käytöstä.



KUVA 5. Alakerroksen pumppu, joka on osittain purettu. Oikealla koneeseen liitetty, pumppua käyttävä akseli. (Kuva: Roope Viita 2017)

3.3 Hörykattilat

Hörykattilat on purettu kattilahuoneesta kokonaan. Joitakin höryputkiston osia ja mittareita on jätetty näkyville. Hörykattilasalissa on kiskoilla kulkevia polttoaine- ja tuhka-vaunujen nostoon tarkoitettuja nostureita jätetty kattorakenteisiin. Kattilasali on nykyään useiden ravitsemusliikkeiden käytössä.

3.4 Apulaitteet

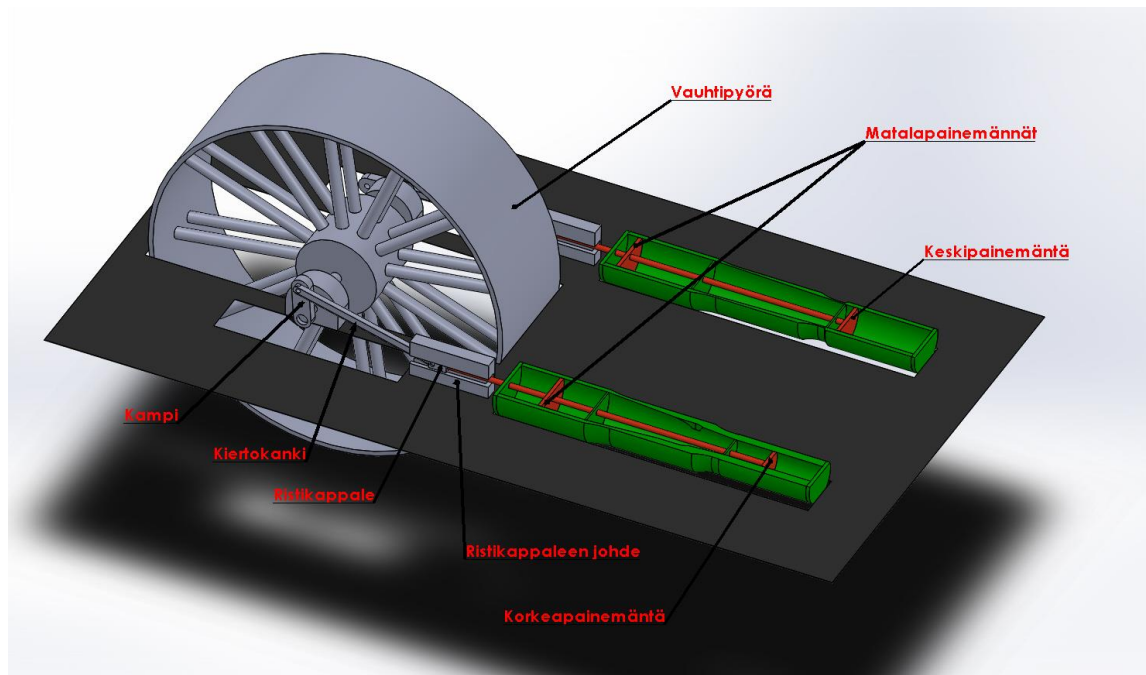
Hörykoneeseen tai höyryn jakeluun liittyviä putkia ja mittareita on jätetty sisustuksellisenä elementtinä eri paikkoihin tehdasrakennusta. Höyry on kulkenut moniin muihinkin kohteisiin kuin Sulzer -hörykoneelle. Koneeseen liittyviä putkia ei ole muualla jäljellä, kuin konesalin alakerrassa. Konesalissa on kuitenkin vielä höyryn tulon käsipyörällä käytettävä pääventtiili. Koneen pyörittämä voimansiirtoakselisto ja -pyörästö on ollut todella laaja. Tämän järjestelmän osia on vielä nähtävillä paikoitellen.



KUVA 6. Pumppu ja katkaistu putkilauhdutin. Pumppu pumppasi lauhduttimelta vettä ja ilmaa. Lauhdutin kuvassa vasemmalla ylhäällä. (Kuva: Roope Viita 2017)

4 Koneen toiminta

Työn aiheena oleva höyrykone on sveitsiläisen Gerbrüder Sulzerin valmistama ja asennettu mäntähöyrykone. Kone on otettu käyttöön Finlayson & Co:n tehtaalla vuonna 1900. Koneen teho on 1650 efektiivistä hevosvoimaa, ja 1870 indikoitua hevosvoimaa. (Lindfors 1938, 353) Kone on 3-paisuntainen, 4 -sylinterinen lauhdutinkone. 3-paisuntaisia koneita sanotaan myös trippelikoneeksi. (Näretie 1968, 188) Sylinterit sijaitsevat vaakatasossa. Ne on sijoitettu vastakkain pareina siten, että korkeapainesylinteri ja toinen matalapainesylinteri ovat vastakkain ja vastaavasti keskipainesylinteri ja toinen matalapainesylinteri ovat vastakkain. Tällaista rakennetta kutsutaan tandem-koneeksi. Sylinteriparien välissä takana on vauhtipyörä, joka on toiminut myös voimansiirron ensivaiheena. Vauhtipyörän halkaisija on noin 8,1 metriä.

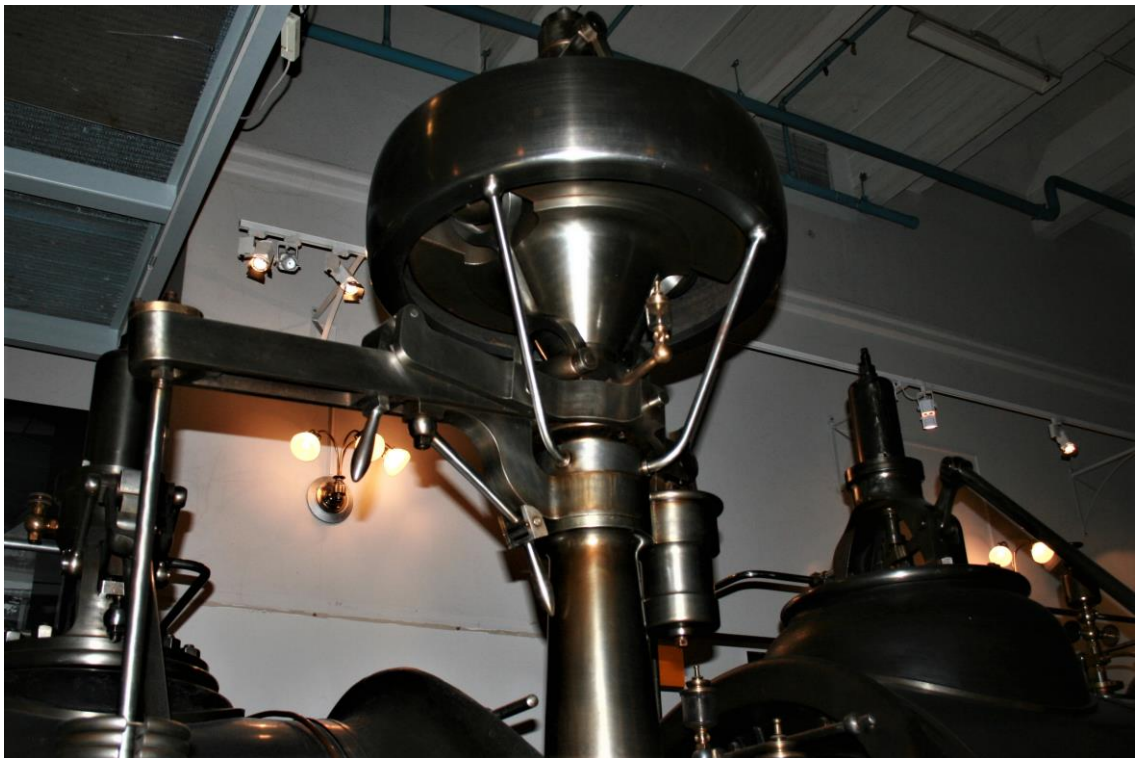


KUVA 7. Periaatteellinen kuva koneen pääosista. (Kuva: Roope Viita 2017)

4.1 Höyryn kulku

Tulistettu höyry ohjataan kattilalta putkea pitkin halkaisijaltaan 640 mm korkeapainesylinteriin. Sylinterit ovat tässä kyseisessä koneessa kerrosrakenteisia. Kun päähöyryventtiili on auki, höyry pääsee kattiloilta vapaasti sylinterin lämpöeristetyn ulkokuoren ja sylinteriputken väliin. Sieltä venttiilikoneisto annostelee kuormituksen mukaisen annoksen höyryä sylinteriin keskipakosäätimen (kuva 8) ohjaamana. Venttiilin sulkeuduttua höyry jatkaa laajenemistaan työntäen mäntää. Näin höyryn sisältämää energiaa muutetaan

mekaaniseksi työksi. Kun korkeapainesylinterin mäntä on kulkenut liikeratansa, höyry ohjataan seuraavaksi halkaisijaltaan hieman isompaan (900 mm) keskipainesylinteriin laajenemaan lisää ja luovuttamaan jälleen lisää energiaa työksi. Keskipainesylinteristä höyry ohjataan vielä kahteen matalapainesylinteriin, jotka ovat halkaisijaltaan isoimmat, 1100 mm. Koska haitallinen sylinterilauhdunta on sitä suurempaa, mitä suurempi sylinteri on, matalapainesylinterin tarvitsema höyrytila on jaettu kahteen sylinteriin. Kaikki koneen männät on mitoitettu niin, että niihin vaikuttaisi sama voima, vaikka höyryn paine muuttuu. Koneen iskunpituus eli mäntien kulkema matka joka tahdilla on 1600 mm.

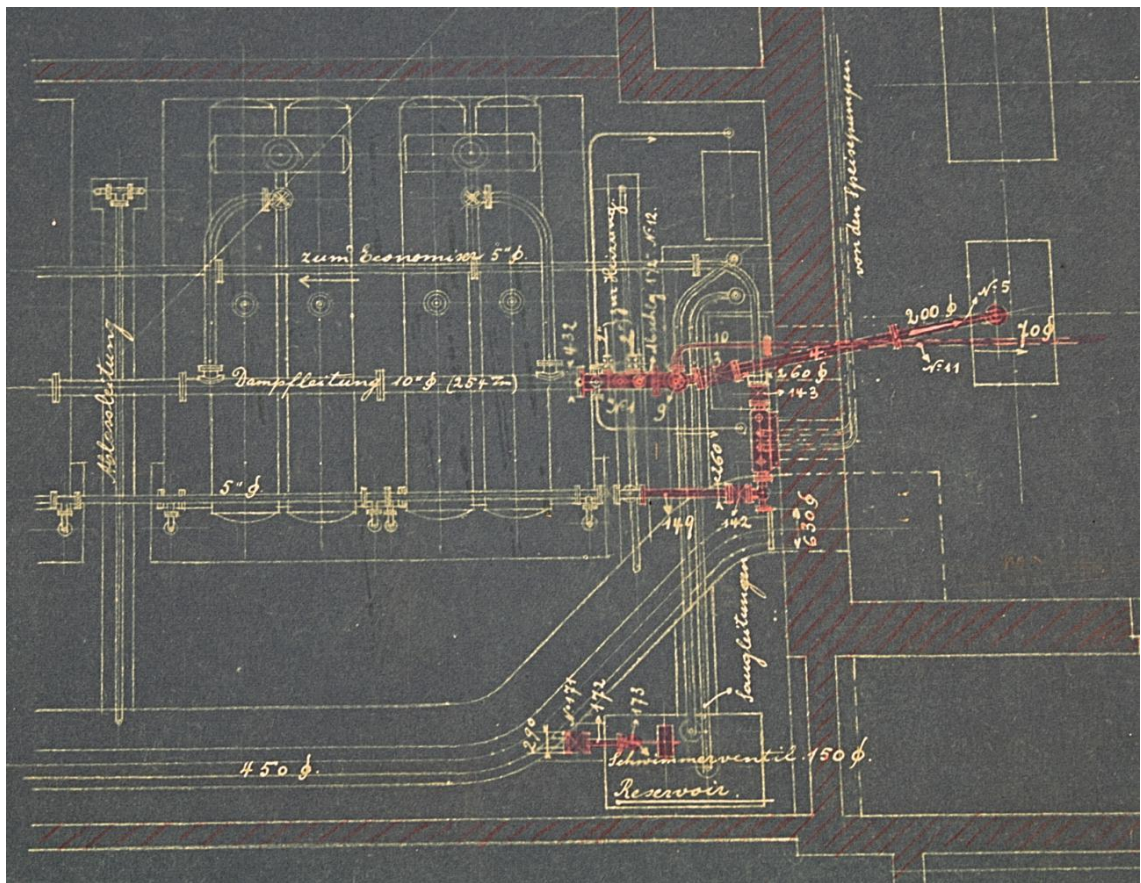


KUVA 8. Keskipakosäädin. (Kuva: Roope Viita 2017)

Jokaisella korkeapainemännän tahdilla höyryä annostellaan sylinteriin. Samaan aikaan koneessa jo kiertänyt höyry vaikuttaa korkeapainesylinterin parina olevassa matalapainesylinterissä. Matalapainesylinteri tekee siis samaan aikaan samalle akselille työtä. Samoin toinen matalapainesylinteri tekee samassa tahdissa yhteiselle akselille työtä keskipainesylinterin kanssa. Vierekkäiset mäntäparit ovat kuitenkin eri tahdissa niin, että kampien kulmien ero on 90 astetta. Tämä tasaa koneen käyntiä, koska massavoimat vaikuttavat sopivasti eri suuntiin samaan aikaan. Voiman tuotto vauhtipyörälle on myös näin tasanaisempaa.

Kaikki höyryn ohjaus tapahtuu erityisten Sulzer-venttiilien avulla, jotka ovat kaksi-istuk-kaventtiilejä. Venttiilin liikerata ja muoto ovat samankaltaisia kuin polttomoottorien vas-taavissa. Höyrykoneen venttiili ei kuitenkaan ole varsinainen lautasventtiili, vaan lauta-sen tilalla on kaksi istukkaa. Näiden istukoiden molemmille puolille vaikuttaa sama höy-rynpaine, jotta venttiilin liikuttaminen olisi helppoa (Näretie 1968, 223). Tällaisen vent-tiilirakenteen etuna on, että haitallinen tila jää pieneksi verrattuna mäntä- ja luistiventti-iihin. Lisäksi tällaisten venttiilien toiminta on tarkkaa. Yleisimmin höyrykoneissa käy-tettiin luisti- ja mäntäventtiilejä. (Näretie 1968, 212)

Kun höyry on kierrätetty koko koneen läpi, on sen paine laskenut noin 0,5 bar absoluut-tipaineeseen ja jäähtynyt. Höyry ohjataan pintalauhduttimeen, joka tiivistää höyryn ve-deksi. Höyryn tiivistyminen ja jäähtyminen sekä lauhduttimesta vettä imevä pumppu muodostavat lauhduttimeen alipaineen, joka parantaa höyrykoneen hyötysuhdetta vähen-tämällä matalapainesylinterien vastapainetta. (Näretie 1968, 234) Lauhtuneesta vedestä poistetaan voiteluöljy ja vesi pumpataan takaisin höyrykattilaan.



KUVA 9. Osa Sulzer Gebrüderin laatimasta höyryputkikaaviosta. Kuvan tässä näkymätömään osaan on leimattu päivämäärä 17.08.1899. (Tampereen Museot)

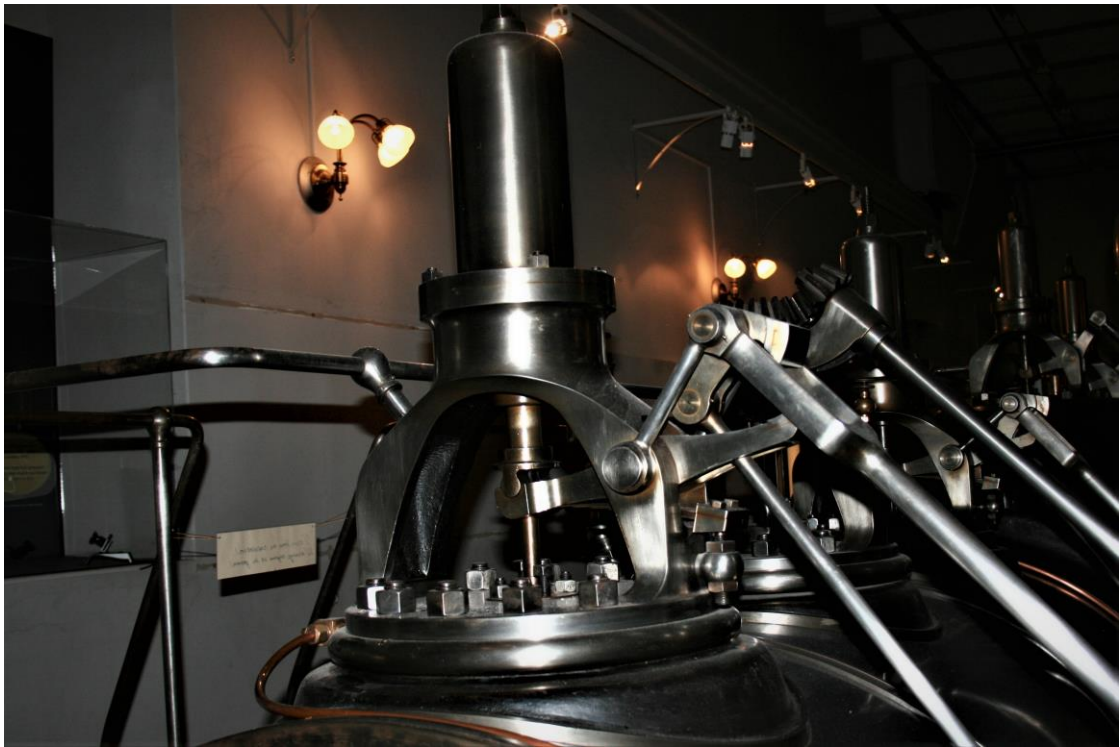
Kuvassa 9 näkyy suuret, makaavassa asennossa olevat lieriön muotoiset höyrykattilat ja niiltä Sulzer -koneelle lähtevä höyryputkitus, joka on korostettu punaisella värillä. Suorakulmion muotoinen kuvio, johon putket johtavat, esittää korkeapainesylinteriä. Sen yläpuolella on matalapainesylinteriä esittävä suurempi neliö. Kuvaan on lisäksi merkitty putkien mittoja.

4.2 Koneen toiminnan yksityiskohtia

4.2.1 Höyryn ohjaus

Koneen sylinterit ovat kaksitoimisia, joten männän molemmille puolille johdetaan vuorollaan höyryä. Venttiilejä on kaksi männän puolta kohden, eli yhteensä neljä sylinteriä kohden. Toisen kautta johdetaan höyry sylinteriin ja toisen kautta sylinteristä pois. Höyry kulkee venttiileille sylinteriä ympäröivän, lämpöeristetyin, ulkokuoren ja varsinaisen sylinterin välitilan kautta. Tällainen järjestely pitää sylinterin lämpötilan korkeana ja estää siten höyryn lauhtumista sylinterissä. Sylinterilauhtuminen on koneen hyötysuhdetta heikentävää.

Venttiileitä ohjaa sylinterien vieressä sylinterien liikkeen mukana pyörivä akseli, joka epäkeskojen ja vivustojen kautta ohjaa venttiileitä. Venttiili sulkeutuu jousivoimalla, ja niiden sulkeutumista on pehmennetty ilmakupeilla, joihin muodostuu hetkellinen venttiilin liikettä jarruttava ylipaine.



KUVA 10. Korkeapainesylinterin venttiili. (Kuva: Roope Viita 2017)

Venttiilien toiminta on ajoitettu niin, että poistoventtiili sulkeutuu hieman ennen männän yläkuolokohtaa, jolloin mäntä tekee puristustyötä ennen kuin se vaihtaa suuntaa. Tällaisessa toiminnassa on kaksi etua. Ensiksikin koneen käynti pehmenee, kun puristuva höyry-ilmaseos jarruttaa mäntää ennen sen hetkellistä pysähtymistä liikesuunnan vaihtumista. Toisekseen sylinterissä on hieman ylipainetta valmiiksi, kun höyryn sisääntuloventtiili avautuu, jolloin höyryn paine kasvaa nopeammin syötettävän höyryn paineen tasolle. Yleensä myös höyryn tuloventtiili aukeaa hieman ennen männän yläkuolokohtaa, jotta tuore höyry ehtisi täyttää sylinterin tehottoman tilan. (Näretie 1968, 182)

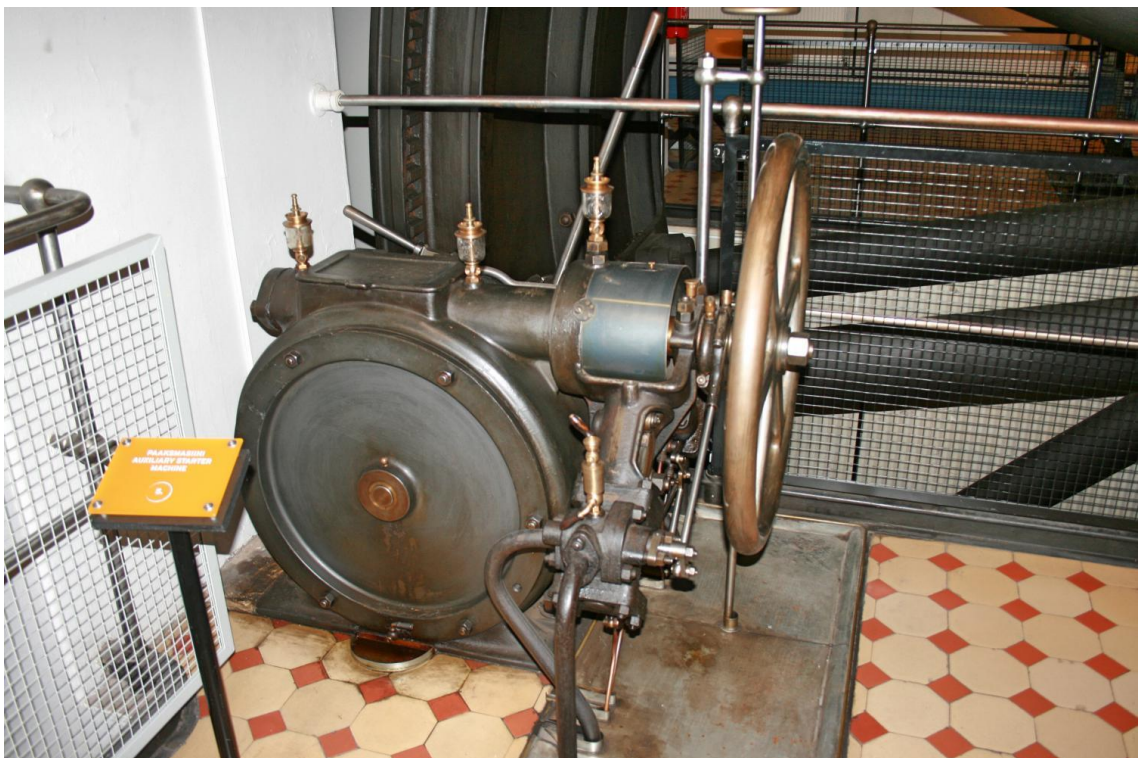
4.2.2 Lauhdutin

Pintalauhdutin on ollut rakenteeltaan putkimainen. Suuremman ulkoputken sisällä on useita pieniä putkia. Pienissä putkissa virtaa kylmä vesi. Kun putkien ympärillä olevaan tilaan johdetaan höyryä, se tiivistyy kylmien putkien ympärillä vedeksi ja valuu lauhduttimen pohjalle.

4.2.3 Käynnistyslaite

Koska paisuntakoneissa höyryventtiilit ovat osan männän liikematkasta kiinni, kone voi olla pysähtynyt tilaan, jossa esimerkiksi korkeapainesylinterin tuloventtiilit ovat kiinni. Tällöin koneen käynnistäminen pelkästään höyrynsyötön pääventtiilin avaamalla ei onnistu. Käytännössä paisuntakoneet käynnistetään niin, että konetta pyöritetään ulkoisella voimanlähteellä hitaasti, ja samalla avataan höyryn tuloventtiili.

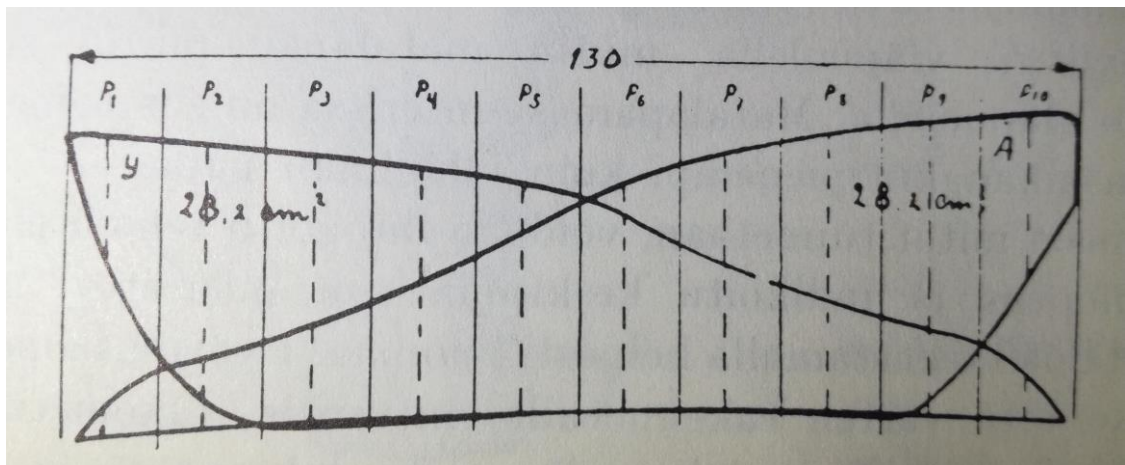
Käynnistämistä varten vauhtipyörän kehän vieressä on konesalissa pieni, kaksisylinterinen käynnistys-höyrykone, **paaksmasiini**. Tämä kone toimii täyspaineisena, eli koko männän liikkeen ajan johdetaan höyryä sylinteriin. Tällainen kone käynnistyy helposti ja sillä saadaan suhteellisen hyvä teho vauhtipyörän saattamiseen pyörivään liikkeeseen. Huonona puolena täyspaineekoneessa on, että höyry johdetaan sylintereistä suhteellisen korkeapaineisena ulkoilmaan, jolloin höyryn energiasisällöstä jää paljon käyttämättä. Koneen ja vauhtipyörän hammaskehän välissä on siirrettävät hammasrattaat, joiden avulla kone voidaan kytkeä pyörittämään vauhtipyörää.



KUVA 11. Käynnistyskone eli paaksmasiini. (Kuva: Roope Viita 2017)

4.2.4 Indikaattori

Höyrykoneiden käynnin laatua ja esimerkiksi venttiilien säätämistä varten niissä on yleisesti käytetty indikaattori -nimistä laitetta. Indikaattori yhdistetään tangolla esimerkiksi männänvarteen ja pienihalkaisijaisella höyryputkella mitattavan sylinterin paisuntatilaan. Laitteessa on piirturikärki, joka koneen käydessä piirtää paperille kuvaajan. Kuvaajan toisena akselina on sylinterin paine ja toisena männän asema. Indikaattorilla syntyvästä piirroksista nähdään koneen todellinen toiminta, jolloin tarkat säädöt voidaan suorittaa käynnin optimoimiseksi. (Näretie 1968, 258) Kyseisen Sulzer -höyrykoneen indikaattorilaitteisto on säilynyt vain osittain. Indikaattorin instrumenttisalkku on nähtävillä museon tiloissa konesalissa.



KUVA 12. Esimerkki yhden sylinterin indikaattoripiirroksesta (Näretie 1968, 260).

4.2.5 Koneen säädettävyys

Aikalaistensa koneiden tapaan Sulzer -höyrykonekin on monipuolisesti säädettävissä. Höyryn jakolaitteiston säätäminen on käynnin optimoimiseksi välttämätöntä, ja lisäksi isommat laakerit ovat välykseltään säädettävissä. Koneen käynnin optimoimiseksi ja etenkin kulumisen minimoimiseksi, koneenkäyttäjien on jatkuvasti ollut pakko valvoa ja säätää koneen monia osia ja laitteistoja. Voitelun runsauden säätäminen on mahdollista niissä voitelukohteissa, joissa on koneen käynnin avulla automaattisesti toimiva voitelu. Lisäksi käsin säännöllisesti voideltavia kohteita on lukuisia. Kone on ollut oikein käytettynä ja huollettuna kuitenkin ilmeisen luotettava, johtuen ainakin huolellisuudesta ja tarkkuudesta, jolla kone on valmistettu, sekä koneen rakenteellisesta kestävyydestä.



KUVA 13. Kampaikselin laakerin säätömekanismi. (Kuva: Roope Viita 2017)

5 Laskelmat

Jotta höyryntuotto- ja lauhdutusjärjestelmä saadaan mitoitettua, täytyy ensin selvittää koneen tyhjäkäynnillä, koneelle ominaisella tyhjäkäyntinopeudella, käyttämä höyrymäärä. Koska indikaattoriirroksia ei ole säilynyt koneesta, on höyryn tarve laskettava saatavilla olevien tietojen pohjalta. Laskelmat ovat muutamasta, lähdeviitteissä mainitusta höyrykoneisiin ja höyrykattiloihin keskittyneestä kirjasta. Kirjat on kirjoitettu siihen aikaan, kun mäntähöyrykoneita vielä oli yleisesti käytössä.

Höyryn energiasisältöön vaikuttaa sen paine ja lämpötila. Energiasisällöstä saadaan muutettua vain osa höyrykoneen mekaaniseksi työksi. Oleellista höyrynkulutuksen kannalta onkin tietää koneen **mekaaninen hyötysuhde**, η_m . Tämä voidaan laskea helposti, kun koneen **indikoitu teho**, N_i , sekä **efektiivinen teho**, N_e , ovat tiedossa:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \quad (1)$$

N_i ja N_e erotus kertoo periaatteessa sen tehon, jonka höyryn pitää koneessa vähintään tuottaa, jotta kone pyörisi ilman kuormitusta. Indikoitu teho on höyrystä mäntään siirtyvä teho. Efektiivinen teho on koneesta hyötykäyttöön saatava teho. Tästä tehosta käytetään myös nimitystä **Akseliteho**. (Näretie 1968, 255) Mekaaniseksi hyötysuhteeksi saadaan

$$\eta_m = \frac{1650 \text{ hv}}{1870 \text{ hv}} = 0,882.$$

Tyhjäkäyntiin tarvittava teho olisi 220 hv.

5.1 Höyryn tarve

Höyryn tarve voidaan laskea, kun tiedetään koneen normaali kierrosnopeus, korkeapainesyylinterin tilavuus ja koneelle syötettävän höyryn paine. Lisäksi pitää arvioida sylinterin täytösmäärä prosentteina kyseisellä kuormituksella. Kuormitus on tässä tapauksessa pienin mahdollinen. Valittiin tulistetulle höyrylle, kolmipaisuntakoneeseen sopiva pienin arvo, 35 %. (Railo 1948, 8)

Koska tuore höyry ohjataan vain korkeapainesylinterille, voidaan höyryn tarve laskea vain sen vauhtipyörän kierrosta kohti tapahtuvan täytöksen perusteella. Korkeapainesylinterin halkaisija on D_1 , iskunpituutta merkataan kirjaimella h ja korkeapainesylinterin täytös prosentteina on ε_k . Halkaisija ja iskunpituus on metreinä. Täytöstilavuus lasketaan kaavalla:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot h \cdot \varepsilon_k \quad (2)$$

Sijoitetaan lukuarvot:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (0,64 \text{ m})^2 \cdot 1,6 \text{ m} \cdot 0,35 = 0,18 \text{ m}^3$$

Tilavuusvirta q_v , eli höyryn tarve aikayksikköä kohti, saadaan täytöstilavuuden avulla. Koska mäntä on kaksitoiminen, täytös tapahtuu kaksi kertaa yhtä vauhtipyörän kierrosta kohti. Tilavuusvirta saadaan kaavalla

$$q_v = 2 \cdot n \cdot V, \quad (3)$$

jossa n on vauhtipyörän kierrostaajuus. Tietojen perusteella valitaan kierrosnopeudeksi 60 rpm , eli $1 \frac{1}{s}$ (Rohunen 2008, 27). Sijoittamalla saadaan

$$q_v = 2 \cdot 1 \frac{1}{s} \cdot 0,18 \text{ m}^3 = 0,36 \frac{\text{m}^3}{s}.$$

Kirjoista löytyvien höyrypiirrosten ja taulukoiden, sekä nykyään myös internetistä löytyvien laskentaohjelmien avulla, höyrylle on määriteltävissä lämpötilan ja paineen perusteella monia fysikaalisia suureita. Näitä laskelmia varten tarvitaan valittua lämpötilaa ja painetta vastaava **tiheys** ja **entalpia**. Kun höyryn paine valitaan 12 Bar absoluuttipaineeksi ja lämpötila $260 \text{ }^\circ\text{C}$, saadaan tulistetun höyryn ominaisentalpiaksi (H_g) $2956,9 \text{ kJ/kg}$, ja tiheydeksi (ρ) $5,084 \text{ kg/m}^3$. (spiraxarco.com, 7.11.2017)

$$q_m = \rho \cdot q_v \quad (4)$$

Kavalla 4 lasketaan massavirta q_m , jonka perusteella lasketaan entalpiavirta sisään (H_i) kaavalla 5. Entalpiavirran yksikkö on kJ/s, eli kW.

$$H_i = H_g \cdot q_m \quad (5)$$

Massavirtaa käytetään yleisesti höyrykattiloiden mitoittamiseen. Yksikkönä kattiloiden valmistajat käyttävät internet -sivuillaan kg/h.

$$q_m = 5,084 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,36 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,830 \text{ kg/s}$$

Laskun tulos kannattaa siis muuttaa sopiviin yksiköihin höyrykattilan mitoitusta varten.

$$3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \cdot 1,830 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 6588 \text{ kg/h}$$

Kuitenkin entalpiavirtaa laskettaessa käytetään perusyksikköä kg/s :

$$H_i = 2956,9 \text{ kJ} \cdot 1,830 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 5411,1 \text{ kW}$$

5.2 Saatava teho

Kun tiedetään kolmipaisuntakoneen korkeapainesylinterin täytösaste, voidaan pelkkien koneen mittojen perusteella laskea melko tarkasti indikoitu teho. Indikoidun tehon mittaamiseen on käytettävissä useampia, joskin samankaltaisia, laskukaavoja. Perusajatuksena tässä tapauksessa käytettävässä kaavassa on, että kolmipaisuntakoneen koko höyryn paisunnan otaksutaan tapahtuvan matalapainesylinterissä. Tällä saadaan laskentaa yksinkertaisemmaksi, ja tulos on silti melko luotettava (Railo 1948, 5). **Indikoidun tehon** (N_i) kaava, ja tähän liittyvät kaavat ja taulukoidut arvot ovat Y. K. Railon kirjasta ”Laivojen Mäntähöyrykoneet”. Indikoidun tehon kaava on

$$N_i = C \cdot n \cdot p_i. \quad (6)$$

n on koneen kierrosluku minuutissa. C on **sylinterivakio**, jonka laskemiseen tarvitaan iskunpituus h ja matalapainesylinterin halkaisija D :

$$C = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{h}{2250} \quad (7)$$

Kaavaa 6 varten saadaan tulohöyryn paineesta p_0 laskettua **keski-indikoitu paine** p_i kaavalla

$$p_i = k \cdot p_0 \cdot \varepsilon \cdot \left(1 + \frac{1 - \varepsilon^{N-1}}{N-1}\right). \quad (8)$$

k on **täyteläisyysvakio**, joka valitaan taulukosta (Railo 1937, 7). Valinnan perusteena on koneen tyyppi ja teholuokka. 4- tai 5 -sylinterisille kolmipaisuntakoneille, kierrosluku maksimissaan 100, arvoiksi käy 0,54 - 0,58. Arvoksi valitaan tässä tapauksessa 0,54.

Kaavan 8 sulkeissa oleva osuus on tulistetulle höyrylle erilainen kuin kylläiselle höyrylle. Tässä tapauksessa, kun tulistettua höyryä käytetään, joudutaan vielä valitsemaan N edellä mainitun kirjan taulukosta tulistuslämpötilan mukaan. Höyryn laskentaohjelmasta nähdään, että höyryn tilan ollessa 260 °C ja 12 bar, tulistus on noin 70 °C, jolloin taulukosta valikoituu arvo 1,1. (Railo 1937, 6)

Kaavaa 8 varten lasketaan lisäksi **kokonaistäytös**, ε , korkeapaine- ja matalapainesylinterin halkaisijoiden, D_1 ja D avulla:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_k}{\left(\frac{D}{D_1}\right)^2} \quad (9)$$

ε_k on jo aikaisemmin valittu korkeapainesylinterin täytösaste. Alkuperäinen kaava on tarkoitettu trippelikoneella, jossa on yksi matalapainesylinteri. Koska laskennan kohteena olevassa koneessa niitä on kaksi, täytyy se huomioida laskussa:

$$\varepsilon = \frac{0,35}{\left(\frac{\sqrt{2} \cdot 1100 \text{ mm}}{640 \text{ mm}}\right)^2}$$

Kokonaistäytökseksi saadaan 0,059.

Sijoitetaan vielä lukuarvot kaavaan 7:

$$C = \frac{\pi \cdot (\sqrt{2} \cdot 110 \text{ cm})^2}{4} \cdot \frac{1,6 \text{ m}}{2250} = 13,52$$

On huomattava, että kaavat ovat vanhoja, ja nykyisen SI järjestelmän vastaisesti kaavoissa käytetään sekaisin senttimetrejä ja metrejä.

Sijoitetaan myös kaavaan 8:

$$p_i = 0,54 \cdot 12 \text{ bar} \cdot 0,059 \cdot \left(1 + \frac{1-0,059^{1,1-1}}{1,1-1}\right) = 1,32 \text{ bar}$$

Nyt voidaan sijoittaa lukuarvot kaavaan 6:

$$N_i = 13,52 \cdot 60 \text{ rpm} \cdot 1,32 \text{ bar} = 1070,8 \text{ hv}$$

Tuloksista päätellen korkeapainesylinterin täytös voisi olla pienempikin, mutta koneen säätöalue ei ole tiedossa. On siis varmintä mitoittaa höyrykattila sekä lauhdutin näiden arvojen perusteella.

Y. K. Railon ”Laivojen Mäntähöyrykoneet” -kirjassa on myös hieman edellisestä laskutavasta poikkeava tapa laskea koneen indikoitu teho. Muutamien edellä laskettujen suureiden lisäksi tarvitaan tähän laskentatapaan myös **männän keskinopeus**, v :

$$v = \frac{h \cdot n_{rpm}}{30} \quad (10)$$

Tähän kaavaan koneen kierrosluvun yksikkönä käytetään kierrosta minuutissa, n_{rpm} . Kaavan suure h on jo edellisissä laskuissa käytetty iskunpituus metreinä. Sijoittamalla saadaan keskinopeudeksi

$$v = \frac{1,6 \text{ m} \cdot 60 \text{ rpm}}{30 \text{ s}} = 3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

On muistettava, että kyseessä on tosiaan keskinopeus, koska männän nopeus muuttuu jatkuvasti vauhtipyörän kierroksen aikana. Suurimmillaan nopeus on iskun keskivaiheilla, ja pienimmillään, tarkemmin nolla, liikkeen ylä- ja alakuolokohdassa.

Lasketaan indikoitu teho, vaihtoehto 2, N_{i2} seuraavalla kaavalla:

$$N_{i2} = \frac{\pi \cdot (\sqrt{2} \cdot D)^2}{4} \cdot \frac{p_i \cdot v}{75} \quad (11)$$

Kaavassa käytetään jälleen matalapainesylinterin halkaisijassa kerrointa $\sqrt{2}$, jotta huomioidaan että matalapainesylintereitä on kaksi. Sijoittamalla kaavaan aikaisemmin käsitellyt suureet saadaan

$$N_{i2} = \frac{\pi \cdot (\sqrt{2} \cdot 110 \text{ cm})^2}{4} \cdot \frac{1,32 \text{ bar} \cdot 3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{75} = 1070,5 \text{ hv.}$$

Huomataan, että tulos on kolmen hevosvoiman kymmenyksen eri kuin ensimmäisellä laskutavalla saatu tulos kaavasta 8.

5.3 Lauhduttimen mitoitus

Koska koneen käyttäminen ja siten höyryn paineen ja lämpötilan mittaaminen koneen eri kohdista ei ole mahdollista, on lauhdutin mitoitettava laskemalla. Laskelmat tosin perustuvat osittain arvioihin. Höyryn lämpötila on varmasti selvästi pienempi matalapaikoneen läpi kierrettyään verrattuna tuoreeseen, koneeseen syötettävään höyryyn. Kun höyryn lämpötilan muutoksia ei voida laskea, voidaan höyryn paine laskea ilman lämpötilan muutosta. Tällainen höyryn olotilan muutos ilman lämpötilan muutosta samaan aikaan,

kutsutaan isotermiseksi. Kaasun, tässä tapauksessa höyryn, oletetaan käyttäytyvän ideaalikaasuna. Tällä tavalla saadaan tarpeeksi tarkka tulos, mutta laskenta on yksinkertaista. Yleisesti kaasun tilavuuden V , paineen P ja lämpötilan T suhde on

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}. \quad (12)$$

Koska lämpötila ei tässä yksinkertaistetussa laskussa muutu, supistuu yhtälö muotoon

$$p_1 V_1 = p_2 V_2. \quad (13)$$

Korkeapainesylinteriin syötettävä höyryannos on 35 % täytöksellä tilavuudeltaan

$$0,35 \cdot \pi \cdot (0,32 \text{ m})^2 \cdot 1,6 \text{ m} = 0,180 \text{ m}^3$$

Kun höyry paisuu korkeapainesylinterissä tilavuuteen $0,515 \text{ m}^3$, saadaan ensimmäisen paisunnan jälkeiseksi paineeksi

$$\frac{12 \text{ bar} \cdot 0,180 \text{ m}^3}{0,515 \text{ m}^3} = 4,194 \text{ bar}.$$

Keskipainesylinterin paisunnan jälkeen paine on

$$\frac{4,194 \text{ bar} \cdot 0,515 \text{ m}^3}{1,018 \text{ m}^3} = 2,122 \text{ bar}.$$

Kun lasketaan vielä matalapainesylinterin paisunta, on huomattava, että sylintereitä on kaksi. Molemmille sylintereille syötetään höyry keskipainesylinteriltä, joten matalapainesylinterin tilavuus on tässä kerrottu kahdella:

$$\frac{2,122 \text{ bar} \cdot 1,018 \text{ m}^3}{2 \cdot 1,521 \text{ m}^3} = 0,710 \text{ bar}.$$

Vaikka höyryn lämpötilaa ei tässä vaiheessa voida tietää, se voidaan olettaa kylläiseksi. Laskentaohjelmalla (Spiraxarco) kylläisen höyryn lämpötilaksi saadaan 0,7 bar paineessa 90 °C. Tällöin höyryn entalpia on 2659,6 kJ/kg. Samassa lämpötilassa ja paineessa oleva vesi on entalpialtaan 376,8 kJ/kg. Näiden kahden olomuodon välinen entalpia ero on se lämpöenergian, jonka lauhduttimen pitää siirtää jäähdytysveteen höyrykilogrammaa kohti. Kun tiedetään höyryn massavirta, voidaan tarvittava lauhdutusteho Φ :

$$\Phi = q_m \cdot \Delta H, \quad (14)$$

Jossa ΔH on entalpian muutos höyrystä vedeksi. Sijoittamalla saadaan tarvittava lauhduttimen teho:

$$\Phi = 2,207 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \left(2659,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 376,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 5038,1 \text{ kW}$$

Koneen tuottamaa tehoa voidaan myös arvioida lasketun loppupaineen ja oletetun lämpötilan perusteella. Kun tiedetään tuoreen höyryn entalpia ja nyt myös lauhduttimelle menevän höyryn entalpia, saadaan höyryn koneessa luovuttamaksi tehoksi N_{i3}

$$N_{i3} = q_m \cdot (H_1 - H_2), \quad (15)$$

jossa H_1 on tuoreen höyryn ominaisentalpia ja H_2 lauhduttimelle menevän höyryn ominaisentalpia. q_m on höyryn massavirta. Höyry luovuttaa teoriassa tehoa

$$1,830 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \left(2956,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2659,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 544 \text{ kW} = 739 \text{ hv}.$$

On huomattava kuitenkin, että höyryn lopputila on todennäköisesti entalpialtaan vieläkin vähäisempää. Höyry on todennäköisesti ns. märkää höyryä, jolloin osa höyrystä on tiivis-

tynyt vesipisaroksi. Tällöin teholumeksi saataisiin selvästi enemmän tälläkin laskutavalla. Esimerkkinä oletetaan, että lauhduttimelle menevä höyry onkin 0,7 bar kosteaa höyryä kuivuusasteeltaan 90 %. Tällöin höyryn ominaisentalpia on 2431,3 kJ/kg. Kaavalla 15 saataisiin silloin tulokseksi

$$1,830 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \left(2956,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2431,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 962 \text{ kW} = 1306 \text{ hv.}$$

Oletus höyryn kosteudesta on perusteltua, koska näin höyryn luovuttama teho vastaa paremmin aiemmin laskettua indikoitua tehoa. Sijoittamalla kaavaan eri kosteusastetta vastaavia ominaisentalpiota, teho saataisiin vastaamaan täysin laskettua indikoitua tehoa. Tällöin lauhduttimen voisi mitoittaa näin löytyneen kostean höyryn ominaisentalpian mukaan. Lauhduttimen ylimeritys on kuitenkin järkevää tilanteessa, jossa kaikki saadut lukuarvot vastaavat teoreettisia oletuksia ja teoreettisista kaavoista saatavia arvoja.

5.4 Toissijaista laskentaa

Mäntien keskimääräinen työntövoima voidaan laskea käyttämällä hyväksi sitä, että aikaisemmin on laskettu indikoitu teho (kaavalla 6). Vauhtipyörälle välittyvä teho, eli aikaisemmin mainittu akseliteho, saadaan laskettua indikoidusta tehosta hyötysuhteen avulla (kaava 1).

$$N_e = 0,882 \cdot 1070,8 \text{ hv} = 944,4 \text{ hv} = 694,4 \text{ kW}$$

Vauhtipyörän pyöriessä kammen välittämä voima vauhtipyörälle muuttuu jatkuvasti niin, että kammen ollessaan kohtisuoraan männän vartta kohden voima on suurimmillaan, ja kammen ollessa männän varren kanssa yhdensuuntainen, voima on nolla.

Koska koneen kammet ovat toisiinsa nähden 90° kulmassa, on koneen käydessä välillä toisen puolen mäntäparin työntövoima maksimissaan, ja toisen minimissään, eli nolla. Tällaisessa tilanteessa vauhtipyörää pyörittävä momentti on:

$$M = F \cdot r \tag{16}$$

(Tammertekniikka 2000, 93). Kaavassa r on voiman vaikutussuoran etäisyys pyörimisakselista ja F on suoran päähän vaikuttava voima. Voiman vaikutussuoran pituus, eli kammen pituus on mitattu olevan noin 800 mm. Kun tiedetään, millä teholla vauhtipyörä pyörii (P), ja mikä on sen kulmanopeus (ω), pystytään ratkaisemaan momentti, joka siihen vaikuttaa.

$$M = \frac{P}{\omega} \quad (17)$$

(Tammertekniikka 2000, 93). Momentin ja kammen pituuden ollessa tiedossa voidaan laskea kampeen vaikuttava voima. Lasketaan momentti:

$$M = \frac{694 \text{ kW}}{(2 \cdot \pi \cdot 1)} = 110,5 \text{ kNm}$$

Kaavasta 16 ratkaistaan voima:

$$F = \frac{M}{r} = \frac{110,5 \text{ kNm}}{0,8 \text{ m}} = 138 \text{ kN}.$$

Maksimivoima siis, joka mäntäparin kautta välittyy kiertoakseen ja kampeen, on siis 138 kNm. Tällainen tieto auttaa hahmottamaan niiden voimien suuruusluokkaa, joita koneen voimansiirtoelinten pitäisi vähintään kestää. Jos konetta aletaan käyttää, ja siitä joudutaan vaihtamaan voimansiirtoon liittyviä osia ja korvaamaan ne uusilla, pystytään osat valitsemaan paremmin niin, että ne kestävät. Koska koneen mäntien halkaisijat on valittu niin, että mäntien työntövoima on suunnilleen sama, on siis höyrynpaineen yhteen mäntään kohdistuva voima maksimissaan 69 kN.

Nämä laskelmat ovat kuitenkin sikäli teoreettisia, että oikeasti koneen käydessä osien massahitaus ja jatkuvasti muuttuva nopeus aiheuttavat koneenelimiin erilaisia iskumaisia voimia. Mäntäkoneessa monien kone-elinten liike on edestakaista, jolloin osat ovat jatkuvasti erisuuntaisten kiihtyvyyksien vaikutuksien alaisia. Siksi voimat ovat hetkellisesti suurempia, kuin nyt laskettu maksimivoima. Tämä on hyvä huomioida, jos varaosia joudutaan mitoittamaan.

6 Markkinoilla olevat laitteet

Nykyäänkin höyryä käytetään voimaloissa ja teollisuudessa kuten Sulzer -höyrykoneen aikoina. Erona on toki se, että höyryllä ei pyöritetä enää juurikaan mäntähöyrykoneita, vaan sitä käytetään voimaloissa turbiinien pyörittämiseen ja teollisuudessa esimerkiksi kemian prosesseihin. Myös esimerkiksi elintarviketeollisuudessa käytetään höyryä. Höyryn tuottamiseen ja käsittelyyn valmistetaan siksi monenlaisia laitteistoja.

6.1 Höyrykattilat

Höyrykattila on laite, jossa vedestä kehitetään höyryä. Käytännössä tämä tapahtuu kuumentamalla vesi kiehuvaan suljetussa tilassa, jossa on myös ilmatilaa. Tähän ilmatilaan muodostuu veden kiehuessa höyryä. Höyryä muodostuu tietty määrä suhteessa ilmatilan kokoon ja paineeseen. Tällä tavalla saadaan kylläistä höyryä. Höyryä voidaan tämän jälkeen kuumentaa lisää esimerkiksi putkessa, jota pitkin höyry virtaa käyttökohteeseen. Tätä sanotaan tulistukseksi. Höyry on kuumennettu silloin yli sen kylläisyyspisteen. Tulistettu höyry sisältää enemmän energiaa, ja se ei ala lauhtumaan vedeksi yhtä helposti kuin tulistamaton. Höyrynpaine on kattiloissa yleensä joidenkin rajojen puitteissa säädettävissä, kuten myös höyryn tuotto. Suurimmat erot kattiloissa tulevat siitä, millä tavalla vesi kuumennetaan.

6.1.1 Sähkökattilat

Sähköenergialla lämpiävät kattilat ovat siten helppo ratkaisu, että ne eivät tarvitse palokaasujen poistoa, eivätkä polttoainesäiliötä ja polttoaineen siirtojärjestelmää. Lisäksi sähkökattiloiden hyötysuhde on korkea. Niissä ei ole myöskään juurikaan kuluvia osia, joten ne ovat suhteellisen huoltovapaita.

Sähkökattiloita on tarjolla sekä vastus- että elektrodikattiloina. (Zeta Electric Boilers) Valmistettavien vastuskattiloiden teho ei riitä niin suurelle höyryntuotolle, mitä tässä tapauksessa tarvitaan. Sähkökattiloiden teho, polttimella varustetuista poiketen, ilmoitetaan sähkötehona watteina. Kun vertaillaan kattilalle syötettävän veden entalpiaa tulistetun höyryn entalpiaan kerrottuna höyryn massavirralla, saadaan tarvittava höyrykattilan teho

Watteina (kaava 14). Tässä tapauksessa tarvittava teho olisi karkeasti 5 MW. On muistettava, että tarvittava sähköteho on vielä tätäkin suurempi, koska sähkökattilankaan hyötysuhde ei ole 100 %.

Elektrodikattiloita valmistetaan tehoiltaan huomattavasti suurempina kuin vastuskattiloita. Näissä kattiloissa on vesitilassa kaksi elektrodia, joiden välille muodostetaan jännite. Lämmitettävä vesi toimii vastuksena. Tällaisia kattiloita löytyy erittäinkin suurille tehoille mitoitettuna. Elektrodikattilan ongelma on kuitenkin se, että toimiakseen oikein, lämmitettävän veden pitää olla ominaisuuksiltaan oikean tyyppistä. Kun kyseessä on mäntähöyrykone, tämä saattaa muodostua ongelmaksi. Mäntähöyrykoneesta lauhdutetaan kulkeutuva höyry ja tiivistyvä vesi ovat hieman öljyistä. Kaikki veden laatuun liittyvät ongelmat ovat kuitenkin ratkaistavissa syöttövedenkäsittelylaitteistolla. Elektrodikattiloiden hyötysuhde on erinomainen, parhaimillaan 98-99 % (Zeta Electric Boilers).

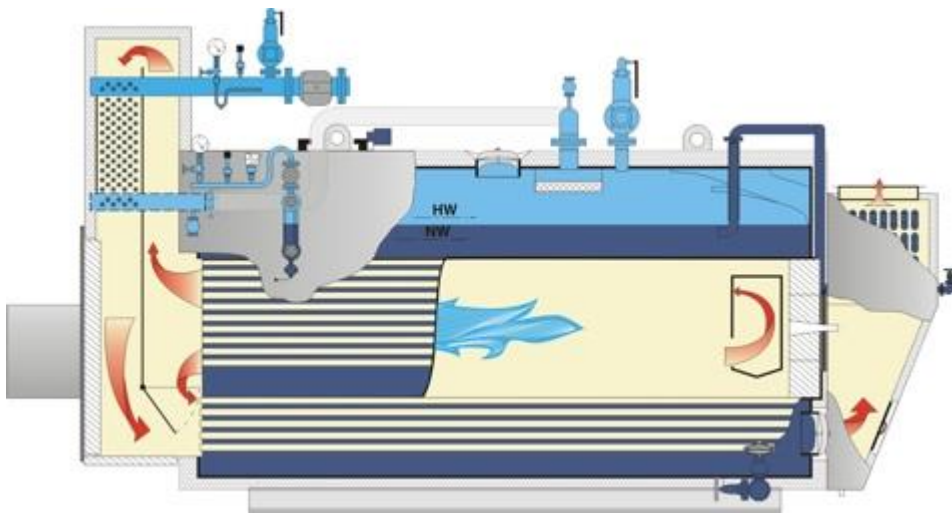
6.1.2 Poltinkattilat

Öljy- tai kaasupolttimella lämpiävät kattilat ovat tuliputki-savuputki -tyyppisiä rakenteeltaan. Tuliputki-savuputki kattilassa on polttimen liekille putkimainen ilmatila, jota ympäröi lämmitettävä vesi. Kattilat ovat useimmiten makaavan sylinterin muotoisia, ja palotila sijaitsee keskellä päädyssä. Tuliputki on koko vesitilan pituinen. Tuliputkesta palokaasut johdetaan savuputkiin, jotka kulkevat tuliputken tavoin vesitilassa kattilan päädyssä päätyyn. Jos kattila on esimerkiksi 3 -vetoinen, johdetaan palokaasut tuliputkesta vielä kaksi kertaa vesitilan päästä päähän. Yhteensä palokaasut kulkevat siis kolme kertaa kattilan vesitilan läpi. Ensimmäisen putken, jossa siis polttimen liekki vaikuttaa, halkaisija on selvästi suurempi kuin näiden seuraavien vetojen savukaasuputkien. Jokaisella vedolla, ensimmäistä lukuun ottamatta, putkia on tosin monta, jotta virtausvastus olisi palokaasuille pieni, ja että lämmön siirtyminen veteen olisi tehokasta.



Kuva 14. Bosch ULS-SX -höyrykattila, tuotto 2600-28000 kg/h, max 300 °C, 30 bar. (Hansapower)

Ennen kuin palokaasut johdetaan kattilasta pois, ne kulkevat vielä yhden lämmönsiirtimen läpi, joka lämmittää jo höyrystyneen veden. Tämä lämmönsiirrintä kutsutaan tulistimeksi. Höyrykattiloita rakennetaan myös ilman tulistimia.



Kuva 15. Rakennekuva tulistimella varustetusta Bosch tuliputki-savuputkikattilasta (Hansapower).

Kattilaan syötettävä vesi lämmitetään myös poistuvien palokaasujen avulla. Esilämmitäminen parantaa kattilan hyötysuhdetta. Kattilaan syötettävän veden esilämmitintä kutsutaan **ekonomaiseriksi**. Ekonomaiseria on käytetty jo Sulzer koneen aikana. (Lindfors

1938, 351) Veden esilämmitys parantaa suoraan höyrykattilan hyötysuhdetta. Ekonomaisella saadaan poistuvien savukaasujen lämmöstä käyttöön enemmän kuin pelkän höyryksi muutettavan veden lämmittämällä kattilassa saataisiin. Höyrykattilan sisällä savukaasut voivat periaatteessa jäähtyä parhaimmillaankin vain kattilan höyryn lämpötilaan. Kun savukaasut lämmittävät kattilasta poistuessaan esimerkiksi lämpötilaltaan 20 °C syöttövedettä, saadaan savukaasut teoriassa jäähdytettyä samaan lämpötilaan. Kattilan hyötysuhde on suoraan riippuvainen siitä, kuinka paljon savukaasujen lämmöstä saadaan siirrettyä lämmitettävään veteen (Näretie 1968, 110).

6.2 Lauhduttimet

Lauhduttimia ei löydy samalla tavalla täysin valmiina kokonaisuuksina kuin höyrykattiloita. Kun tarvittava lauhduttimen teho on tiedossa, valmistetaan se tilaustyönä. Lauhdutin on lämmönvaihdin, ja lämmönvaihtimille on valmiita elementtirakenteita, joista vaihdin rakennetaan. Lauhduttimelle lasketaan myös tarvittava jäähdytysveden virtaus, jonka perusteella valitaan jäähdytysveden pumput. Jäähdytysveden virtausnopeuteen vaikuttaa luonnollisesti myös syötettävän jäähdytysveden lämpötila.



Kuva 16. Putkilauhduttimen sisäputket, joissa jäähdytysvesi kulkee (JIEMA)



Kuva 17. Putkilauhdutin. (JIEMA)

6.3 Muut varusteet

Lauhduttimen yhteyteen mäntähöyrykoneessa pitää asentaa lauhdeveden öljynerotin. Pieni määrä voiteluöljyä joutuu aina höyryn mukana kiertoon. Lauhdevesi ja lauhduttimien vuotava ilma pitää pumpata pois lauhduttimesta. Jotta lauhdevesi voidaan syöttää kattilaan, se pitää suodattaa ja käsitellä mahdollisesti kemikaaleilla. Lauhdutin tarvitsee jatkuvan jäähdytysvesikierron. Kuten alkuperäisissä lauhduttimissa, jäähdytysvesi voitaisiin ottaa Tammerkoskesta suodatettuna ja päästää myös sinne takaisin. Höyrykattilat tulevat valmiina paketteina, jossa on kaikki kattilan tarvitsemat apulaitteet ja kattilan ohjaus.

7 Yhteenveto

Todettakoon vielä, että koneen toiminnan kannalta seuraavanlaiset vaatimukset on edellä laskettu höyryn tuottoon ja käsittelyyn kätettäville laitteille: Höyrykattilan tuotoksi vaaditaan 6,6 t/h. Lauhduttimen tehoksi vaaditaan 5 MW. Höyryputkiston ja venttiilien pitää pystyä ilman suurta vastusta siirtämään 12 bar -paineista höyryä 0,36 m³/s.

Sulzer -höyrykoneen käyttöönotto saattaa olla hyvinkin mahdollista jopa käytettävissä olevien tilojen puitteissa. Höyryn tuottoon ja käsittelyyn on tarjolla paljon laitteistoja. Kaikki höyryputket ja venttiilit pitäisi vaihtaa uusiin samalla kun höyryjärjestelmä asennetaan. Voitelujärjestelmä pitäisi kunnostaa, koska on todennäköistä, että vuosikymmeniä koneessa seisseet mineraali- ja talipohjaiset öljyt ovat hyytyneet ja jopa kovettuneet. Lukuisia asennus- ja kunnostustöitä pitäisi suorittaa, ennen kuin konetta voi edes yrittää käyttää

Kun höyrylaitteisto on kunnossa, on vielä joukko haasteita. Höyrykoneen käyttäminen vaatii erikoisosaamista. Esimerkiksi alkulämmitys täytyy tapahtua höyryn avulla hitaasti, jotta koneeseen ei synny nopeiden lämpötilamuutosten takia vaurioita. Koneen käynnistys on tehtävä oikein, ja käynnin aikainen säätäminen ja valvonta on osattava tehdä, jottei kone vaurioituisi.

Kaikki haasteet ovat kuitenkin voitettavissa. Jos rahoittava taho löytyy, löytyy myös osaavat ihmiset ja kuten tässä työssä todettua, tarvittavat laitteet koneen pyörittämiseen. Euroopassa on toimivia vastaavia höyrykoneita, ja asiantuntija-apua olisi varmasti saatavissa.

On melko ainutlaatuista, että 1900 -luvun alussa kymmeniä vuosia lähes tauotta pyörinyt voimakone on tänäkin päivänä, 118 vuotta valmistumisensa jälkeen, yleisön nähtävillä täysin kunnossa. Jos tämän lisäksi kone olisi aika-ajoin olisi käynnissä, puhuttaisiin jo ainutlaatuisesta historiallisen tekniikan museoimisesta. Vanhentuneen, mutta merkityksellisen tekniikan esittely nykypolvelle on erittäin tärkeää, ja jos tämä museoitu tekniikka nähdään vielä oikeasti toimivana, on sillä vieläkin merkittävästi suurempi arvo.

LÄHTEET

Hansapower

<http://www.hansapower.fi/vesi-ja-hoyry-kattilat/uls-ulsx.html>

Luettu 11.11.2017

JIEMA

<http://fi.jmhcx.com/heat-exchanger/shell-and-tube-heat-exchanger/>

Luettu 11.11.2017

Lindfors, G. 1938. Finlaysonin tehtaot Tampereella 1 1820-1907. Suom. Waltari M. Helsinki. Oy F. Tilgmann AB

Näretie V. 1968. Höyrykattilat ja -koneet. 4. painos. Helsinki. Otava.

Railo, Y. K. 1948. Laivojen mäntähöyrykoneet. 2. painos. Porvoo. Helsinki. Werner Söderström Osakeyhtiö

Rohunen, U. 2008. Höyrykonemuseo opas. Tampere. Työväenmuseo Werstaan julkaisuja 2008:3.

Spiraxsarco. Höyryn laskentaohjelma. Luettu 11.10.2017

<http://www.spiraxsarco.com/resources/pages/steam-tables.aspx>

Tampereen museot, arkisto

<http://siiri.tampere.fi>

Tammertekniikka. 2000. Tekniikan Kaavasto. 13. painos. Porvoo. Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka

Zeta Electric Boilers

<http://hoyrytys.fi/images/stories/esitteet/zdki-electric%20boilers.pdf> Tulostettu

9.11.2017

LIITTEET

Liite 1. Esimerkki polttimella toimivan höyrykattilan ulkomitoista. (Hansapower)

