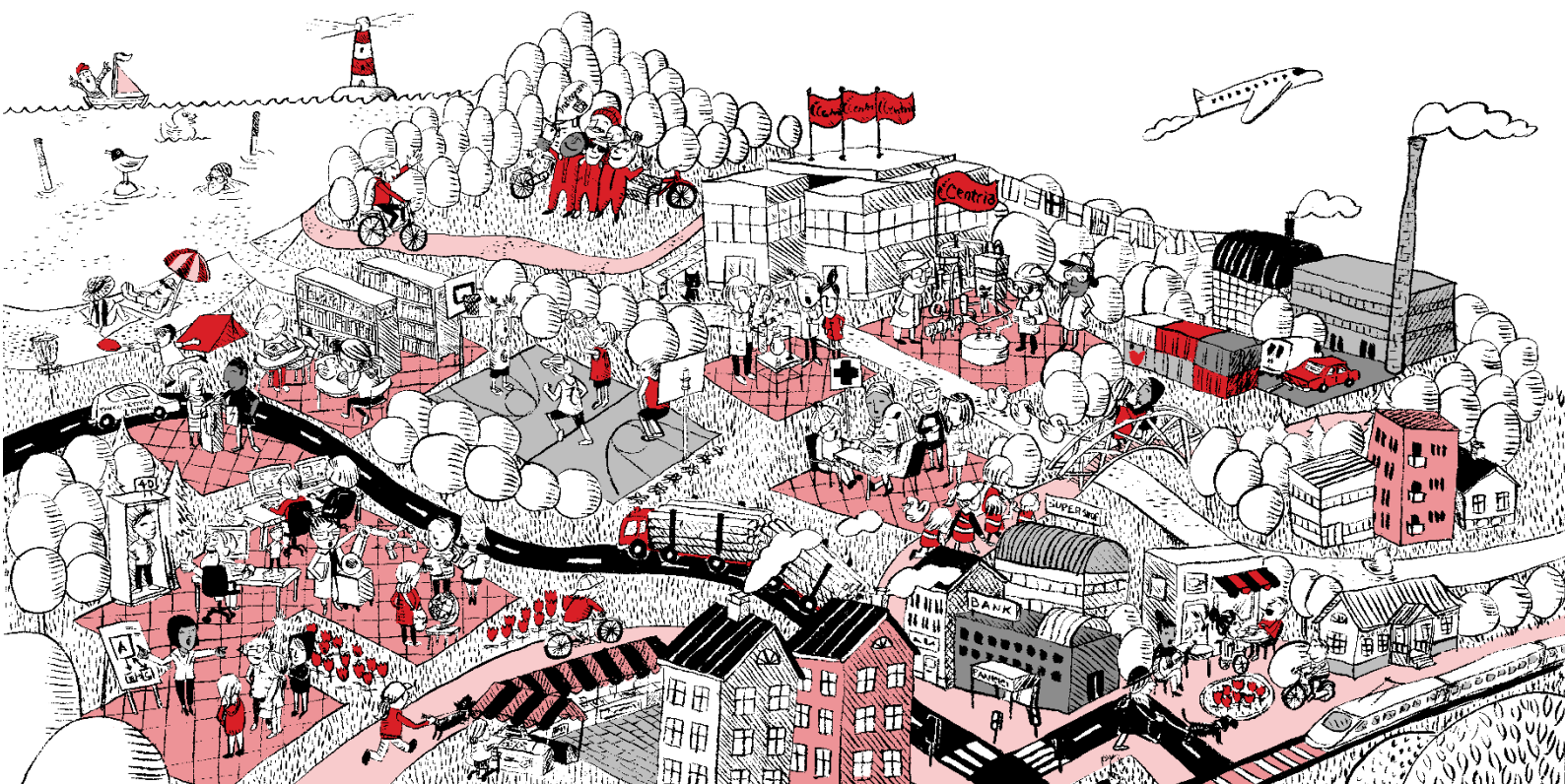


Joni Virkkala

KIINTEÄPOLTTOAINEISEN HÖYRYKATTILAN ENERGIATE- HOKKUUDEN PARANTAMINEN

Kokkolan Energia Oy

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tuotantotalouden koulutus
Syyskuu 2021**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Syyskuu 2021	Tekijä/tekijät Joni Virkkala
Koulutus Tuotantotalouden insinööri		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi KIINTEÄPOLTTOAINEISEN HÖYRYKATTILAN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN. Kokkolan Energia Oy.		
Työn ohjaaja Aki Suokko		Sivumäärä 69
Työelämäohjaaja Sami Similä		
<p>Voimalaitoksen energiatehokkuutta pyritään jatkuvasti parantamaan ja prosessissa syntyvien häviöiden minimointi on alati jatkuvaa työtä. Opinnäytetyö tehtiin Kokkolan Energia Oy:n voimalaitokselle. Työssä tarkasteltiin voimalaitoksen energiatehokkuutta ja ulospuhallushäviöissä hukkaan päätyvän energian mahdollista talteenottoa.</p> <p>Työn tavoitteena oli selvittää kiertoleijupetikattilan jatkuvan ulospuhalluksen entalpien mahdollinen hyödyntäminen. Toisena tavoitteena oli laskea kiertoleijupetikattilan hyötysuhde. Hyötysuhdelaskelman avulla tarkasteltiin kiertoleijupetikattilan energiatehokkuutta.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdyttiin aluksi voimalaitoksen rakenteeseen, kiertoleijupetikattilaan ja kattilan hyötysuhteeseen. Toimeksiantajan osuudessa määriteltiin kiertoleijupetikattilan hyötysuhde suoralla laskentamenetelmällä. Ulospuhalluksen entalpien hyödyntämiselle esitettiin kolme erilaista vaihtoehtoa. Työn lopputulokset ja johtopäätökset käsitellään viimeisessä luvussa.</p>		
Asiasanat Energiatehokkuus, hyötysuhdelaskenta, jatkuva ulospuhallus, kehittäminen, kiertoleijupetikattila, vastapainevoimalaitos.		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date September 2021	Author Joni Virkkala
Degree programme Industrial Management		
Name of thesis IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF A SOLID-FUEL STEAM BOILER. Kokkola Energia Ltd.		
Centria supervisor Aki Suokko	Pages 69	
Instructor representing commissioning institution or company Sami Similä		
<p>There are ongoing efforts to improve the energy efficiency of a power plant and minimize losses generated in the process. The thesis was made to the power plant of Kokkola Energia Ltd. The study looked at the energy efficiency of the power plant and the possible recovery of blowout losses.</p> <p>The objective of the work was to study the possible exploitation of the enthalpy of the continuous blowout of the circulating fluidized bed boiler. The second objective was to calculate the efficiency of the circulating fluidized bed boiler. The efficiency calculation was used in studying the energy efficiency of the circulating fluidized bed boiler.</p> <p>The theory section of the thesis introduces the structure of the power plant and the circulating fluidized bed boiler and discusses determining the efficiency of the boiler. In the principal contribution, the efficiency of the fluidized bed boiler was defined by a direct calculation method. Three different options were presented for utilizing the enthalpy of the blowout losses. The final results and conclusions of the work are discussed in the last chapter.</p>		
Key words Circulating fluidized bed boiler, cogeneration power plant, continuous blowout, development, efficiency calculation, energy efficiency.		

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

AMMONIAKKI-SLIP

Termi reagoimattoman ammoniakkin (NH_3) päästöstä.

DEMISTERI

Pisaranerotin, höyryvirtauksen sisältämien nestepisaroiden poistaja.

h,s -PIIRROS

Piirroksesta ilmenee tulistetun höyryn entalpia (kJ/kg).

JUP

Jatkuva ulospuhallus.

KEMIALLINEN ENERGIA

Aineen rakennesein kemiallisesti sitoutunut energia. Yksikkö W (watti).

KONVEKTIO

Lämmön siirtymisen mekanismi. Konvektiossa lämpöenergia siirtyy aineen virtauksen mukana.

LÄMPÖARVO

Palamisessa syntyvän lämpöenergian määrä aineen massayksikköä kohti. Yksikkö MJ/kg tai MJ/m³.

MASSAVIRTA

Massan kulkeutuminen tarkasteltavan pinnan läpi aikayksikössä. Yksikkö kg/s.

MW

Tehon yksikkö, megawatti.

OMINAISENTALPIA

Aineen energiasisältöä (per massayksikkö) kuvaava suure. Yksikkö kJ/kg.

OMINAISLÄMPÖKAPASITEETTI

Materiaaliin sitoutuneen lämpöenergian määrä, lämpötilaeroa ja massaa kohden. Yksikkö J/kgK.

VESIHÖYRYTAULUKKO

Taulukosta ilmenevät kylläisen veden ja -höyryn ominaistilavuudet, ominaisentalpiat sekä ominaishöyrystymis- ja -lauhtumislämpö.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	9
2 KOKKOLAN ENERGIA OY	11
2.1 Organisaatio.....	11
2.2 Historia	12
2.3 Nykyhetki	13
2.4 Tuotantolaitokset.....	14
2.5 Tulevaisuus	15
3 VASTAPAINENOIMALAITOS	16
3.1 Toimintaperiaate	16
3.2 Polttoaineet	19
3.2.1 Puupolttoaineet.....	20
3.2.2 Turve	20
3.2.3 Päästöt	21
3.3 Sähkön ja kaukolämmön tuotanto	22
3.4 Voimalaitoksen energiatehokkuus.....	22
3.5 Kokonaishyötysuhde	23
4 KIERTOLEIJUPETIKATTILA	24
4.1 Perusteet.....	24
4.2 Toimintaperiaate	25
4.3 Rakenne.....	26
4.4 Komponentit	27
4.4.1 Tulipesä	27
4.4.2 Sykloni.....	28
4.4.3 Polvi-ilma	28
4.4.4 Polttoaineen syöttö	29
4.4.5 Palamisilman esilämmitin (LUVO)	29
4.4.6 Syöttöveden esilämmitin (Ekonomaiser).....	30
4.4.7 Primääri-ilma	31
4.4.8 Sekundääri-ilma	31
4.4.9 Savukaasupuhallin	31
4.5 Luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiri.....	32
4.5.1 Syöttövesi	33
4.5.2 Lieriö	33
4.5.3 Höyrystin.....	34
4.5.4 Tulistimet	35
4.6 Savukaasupesuri.....	35
5 KATTILAN HYÖTYSUHTEEN MÄÄRITTÄMINEN	38
5.1 Taseraja.....	38
5.2 Hyötysuhde suoralla menetelmällä.....	39
5.2.1 Hyödyksi saatu lämpöteho	40
5.3 Hyötysuhde epäsuoralla menetelmällä.....	43

5.3.1 Savukaasuhäviöt.....	43
5.3.2 Palamattomien kiintoaineiden häviöt.....	44
5.3.3 Lämpöhäviöt.....	45
5.3.4 Säteilähäviöt.....	45
5.3.5 Hyötysuhde	46
6 KOKKOLAN ENERGIA: KIERTOLEIJUPETIKATTILA C5	48
6.1 Kattilan tekniset tiedot	48
6.2 Kattilan hyötysuhde	49
6.2.1 Lähtötiedot.....	49
6.2.2 Tuodut energiavirrat	49
6.2.3 Hyödyksi saatu lämpöteho	50
7 KOKKOLAN ENERGIA: KIERTOLEIJUPETIKATTILA C5:N JATKUVAN ULOSPUHALLUKSEN ENERGIAN JA VEDEN HYÖDYNTÄMINEN.....	52
7.1 Nykyinen tilanne.....	52
7.1.1 Kokoonpano kattilahuoneessa	54
7.2 Vaihtoehto A: Savukaasupesuri.....	58
7.3 Vaihtoehto B: Höyry LUVO	60
7.4 Vaihtoehto C: Lauhesäiliö.....	62
8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	64
8.1 C5 Kiertoleijupetikattilan energiatehokkuus	64
8.2 C5 Kiertoleijupetikattilan ulospuhallus entalpian hyödyntäminen	65
8.3 Yhteenveto	66
LÄHTEET	68
KUVIOT	
KUVIO 1. Organisaatio rakenne.....	11
KUVAT	
KUVA 1. Kokkolan Energian historia.....	13
KUVA 2. Vastapainelaitoksen periaatekaavio.....	17
KUVA 3. Höyrykattilan toimintaperiaate.....	24
KUVA 4. Kiertoleijupetikattilan rakenne	26
KUVA 5. Foster Wheeler Compact -kiertoleijupetikattilan rakenne.....	28
KUVA 6. Teräspuutkiluvon rakenne	30
KUVA 7. Luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiri.....	32
KUVA 8. Lieriön poikkileikkaus.....	34
KUVA 9. Savukaasujen pesu- ja lauhdutusprosessi	36
KUVA 10. Kattilan taserajat.....	38
KUVA 11. Kattilan energiavirrat hyötysuhteen suoralla menetelmällä	42
KUVA 12. Hyötysuhteeseen vaikuttavat häviöt.....	47
KUVA 13. Hyötysuhde laskennan yhteenveto	51
KUVA 14. Jatkuvan ulospuhalluksen PI-kaavio	52
KUVA 15. Lieriö ja putkilinjasto	54
KUVA 16. JUP-putkilinja vaakasuorassa ja toinen läpivienti korkeudessa +28,2 m.....	55
KUVA 17. JUP-putkilinjan venttiilit	56

KUVA 18. Kattilan ulospuhallussäiliö	57
KUVA 19. Savukaasupesuri Layout	58
KUVA 20. Höyry LUVO Layout	60
KUVA 21. Höyryluvot ja lauhteenkeräyssäiliö	61
KUVA 22. Lauhesäiliö Layout	62
KUVA 23. Energiavirrat	66

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Kokkolan Energian avainlukuja.....	14
TAULUKKO 2. Tuotantokapasiteetit.....	15
TAULUKKO 3. Höyrykattiloiden polttoaineet	20
TAULUKKO 4. Polttoaineiden elinkaaripäästöt	21
TAULUKKO 5. C5-kiertoleijupetikattilan tulistimet.....	35
TAULUKKO 6. C5-kiertoleijupetikattilan tekniset tiedot	48
TAULUKKO 7. Jatkuvan ulospuhalluksen häviöt	53
TAULUKKO 8. Yhteenvetotaulukko	65

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aihetta pohtiessani huomioin omat mielenkiinnon kohteeni. Energia- ja voimalaitostekniikka aihealueena kiinnostaa minua. Insinööriopintojeni aikana jo perehdyin hieman vapaavalinnaisilla opintojaksoilla energia- ja voimalaitostekniikkaan. Opinnäytetyön aihetta kartoittaessani oli luontevaa olla yhteydessä paikalliseen energiayhtiöön. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Kokkolan Energia Oy. Opinnäytetyön tekijänä olin itse yhteydessä Kokkolan Energian kunnossapitoinsinööri Sami Similään ja mietimme yhdessä opinnäytetyölleni ajankohtaista sekä mahdollisesti toimeksiantajaa hyödyttävää aihetta. Aiheeksi valikoitui Kokkolan Energian voimalaitoksen höyrykattilan energiatehokkuuden parantaminen, jossa perehdytään jatkuvan ulospuhalluksen entalpian mahdolliseen hyödyntämiseen ja tarkkaillaan yleisesti höyrykattilan energiatehokkuutta. Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen, sillä yleisesti energia-alalla pyritään jatkuvasti lisäämään voimalaitosten energiatehokkuutta ja pienentämään päästöjä.

Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka höyrykattilan jatkuvan ulospuhalluksen entalpia saataisiin hyödynnettyä voimalaitosympäristössä. Toisena tavoitteena oli tarkastella höyrykattilan energiatehokkuutta. Yleisesti höyrykattilan energiatehokkuutta tarkastellessa on tavoitteiden kannalta tärkeää laskea höyrykattilan hyötysuhde. Työn tavoitteena oli tarkoitus selvittää muutama eri vaihtoehto jatkuvan ulospuhalluksen entalpian hyödyntämiseen. Vaihtoehdoissa analysoitiin kannattavuus ja toteutuksen vaativuus.

Opinnäytetyön rakenne mukailee toiminnallisen opinnäytetyön rakennetta. Rakenne koostuu teoria- ja toimeksiantajan osuuksista. Opinnäytetyön alussa perehdytään toimeksiantajan organisaatioon, täten esitellään opinnäytetyön toimeksiantaja. Teoriaosuudessa käsitellään vastapainevoimalaitoksen ominaispiirteitä sekä käydään läpi toimintaperiaate, polttoaineet, tuotannossa syntyvät hyödykkeet, energiatehokkuus ja hyötysuhteet. Teoriaosuuden seuraavassa luvussa syvennytään tarkemmin voimalaitosprosessissa olevaan höyrykattilan (kiertoleijupetikattila) toimintaan, rakenteeseen ja komponentteihin. Teoriaosuudessa käydään läpi kattilan hyötysuhteen määrittäminen suoralla ja epäsuoralla menetelmällä. Teoriaosuudessa käsiteltävät aiheet ovat opinnäytetyön tavoitteiden kannalta tärkeää käydä tässä työssä teoreettisesti läpi.

Teoriaosuudessa käsiteltyjen aiheiden jälkeen seuraa opinnäytetyössä toimeksiantajan osuus. Toimeksiantajan osuudessa tutustutaan Kokkolan Energian C5-kiertoleijupetikattilaan ja lasketaan kattilan hyötysuhde. Toimeksiantaja osuuden loppupuolella analysoidaan jatkuvan ulospuhalluksen nykytilannetta ja esitellään vaihtoehdot entalpian hyödyntämiselle.

Toimeksiantajan näkökulmasta katsottuna toivon opinnäytetyöni antavan selkeän kuvan kiertoleijupetikattila C5:n energiatehokkuudesta ja hyötysuhteesta. Lisäksi toivon työni tulosten edesauttavan toimeksiantajan päätöksentekoa kattilan jatkuvan ulospuhalluksen hyödyntämisen kehittämiseen vaativiin toimenpiteisiin.

2 KOKKOLAN ENERGIA OY

Luvussa käydään läpi organisaation rakennetta, historiaa, nykyisiä tuotantolaitoksia sekä yrityksen tulevaisuuden näkymiä. Kokkolan Energia Oy:n liiketoiminta koostuu sähkön, lämmön ja höyryn tuotannosta. Kokkolan Energia Oy vastaa itse tuottamiensa hyödykkeiden myynnistä ja jakelusta. (Kokkolan Energia Oy 2021c.)

2.1 Organisaatio

Kokkolan Energian organisaatio jakautuu viiteen liiketoiminnan osa-alueeseen. Rakentamisen ja palveluiden liiketoimintaan, tuotantoliiketoimintaan, sähköliiketoimintaan ja asiakkuusliiketoimintaan. Sähkönsiirtoliiketoiminnasta vastaa Kokkolan Energia Oy:n tytäryhtiö Kokkolan Energiaverkot Oy. (Kokkolan Energia Oy 2021c.)

TOIMITUSJOHTAJA (Mikko Rintamäki)				
SÄHKÖ	SISÄISET PALVELUT	TUOTANTO	PALVELUT JA RAKENTAMINEN	KOKKOLAN ENERGIaverkot OY
<ul style="list-style-type: none"> • Myynti (suurasiakasmyynti) • Hinnoittelu • Tuotanto-osuuksien hallinta • Tuotannon/myynnin ohjaus ja tuki 	<ul style="list-style-type: none"> • Taloushallinto • Maksuvalvonta • Henkilöstöhallinto • Viestintä • Markkinointi • Tieto- ja informaatiotekniikka 	<ul style="list-style-type: none"> • Sähkön, lämmön ja höyryn tuotannon suunnittelu ja operointi • Polttoainehankinta • Kaukolämmön jakelu • Teollisuuslämmön jakelu 	<ul style="list-style-type: none"> • Verkonrakennus • Muu urakointi • Aurinkosähköjärjestelmät • Tuotannon tukitoiminnot: <ul style="list-style-type: none"> • Kunnossapito • Käynnissäpito 	<ul style="list-style-type: none"> • Sähkönjakelu • Sähköverkon käytön hallinta • Sähköverkon mittaustiedon hallinta • Sähköverkon suunnittelu • Sähköverkon kehittäminen
ASIAKKUUS				
<ul style="list-style-type: none"> • Sähkön ja kaukolämmön myynti • Asiakaspalvelu • Kuluttajaneuvonta • Tiedotus • Sähkö- ja kaukolämpölaskutus • Tiedonvaihto energiayhtiöiden välillä • Rakentajapalvelut 				
ASIAKKAAT				

KUVIO 1. Organisaatorakenne (mukaillen Kokkolan Energia Oy 2018, 7–14.)

Sisäiset palvelut Kokkolan Energia Oy:lle tuottaa yritys itse. Sisäiset palvelut pitävät sisällään muun muassa taloushallinnon, henkilöstöhallinnon, markkinoinnin ja tieto- ja informaatiotekniikan. (KUVIO 1.) Kuviossa 1 on esitettyä kaikkien liiketoiminta osa-alueiden toiminnat. (Kokkolan Energia Oy 2018, 7–14.)

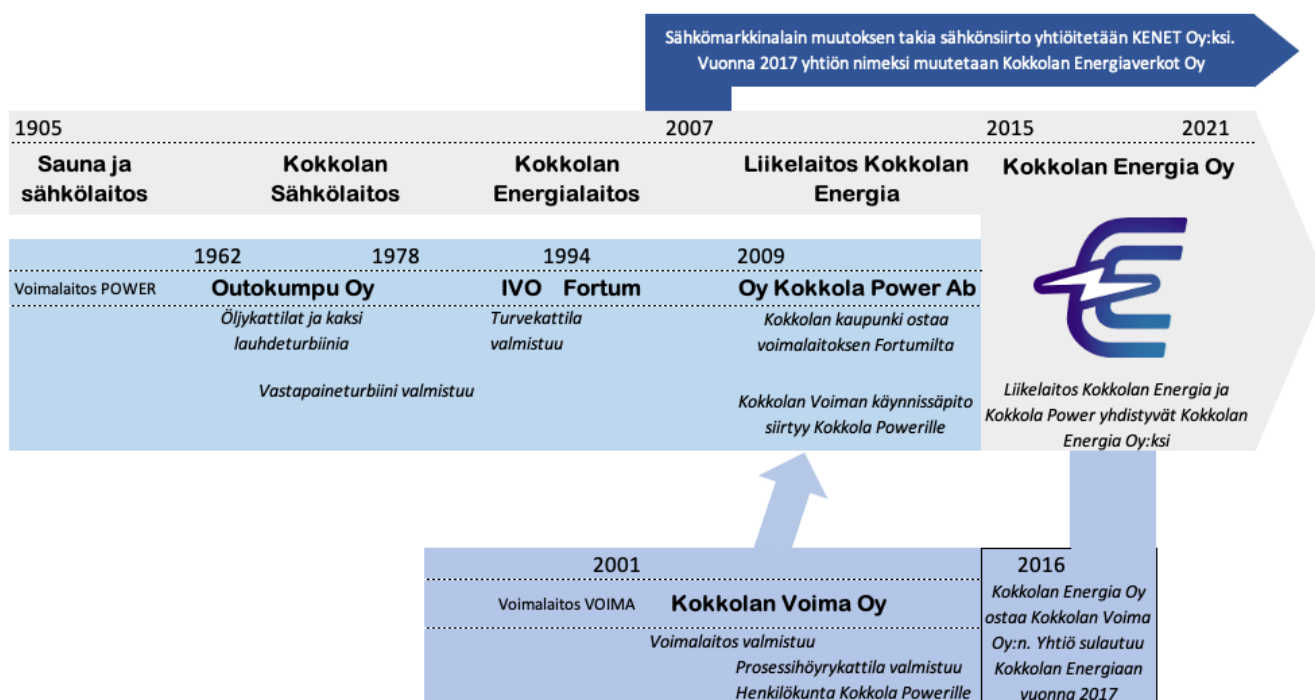
2.2 Historia

Kokkolan Energia on toiminut paikallisena energiayhtiönä kokkolalaisille vuodesta 1905 lähtien. Kokkolan Energia aloitti toiminnan vuonna 1905 nimellä Sauna- ja sähkölaitos, sillä yrityksen tiloissa sijaitsi sähkölaitoksen lisäksi kaupungin yleinen sauna. 1920-luvulla sähkön kysyntä kasvoi merkittävästi ja kysynnän kasvun myötä energiayhtiö hankki vuonna 1929 dieselgeneraattorin, jonka teho oli 290 hevosvoimaa. (Kokkolan Energia Oy 2021a.)

Sähkön voimakas kysyntä jatkui 1950-luvulle asti, ja tämän seurauksena Kokkolaan ostettiin energia-toimituksia Harjavallassa sijaitsevalta vesivoimalaitokselta. 1970-luvulla energiayhtiö investoi huomattavasti sähköverkon vahvistamiseen. Vuonna 1976 energiayhtiö allekirjoitti kaukolämmön toimitussopimuksen Kokkolan alueelle Outokumpu Oy:n kanssa. Outokumpu Oy toimi Kokkolan suurteollisuus-alueella ja yritys omisti alueella sijaitsevan, vuonna 1962 valmistuneen voimalaitoksen. Sopimuksen seurauksena energiayhtiö teki mittavat investoinnit kaukolämpöverkoston rakentamiseen Kokkolan alueelle. Vuoden 1991 joulukuussa Imatran voima (IVO) osti Outokumpu Oy:n omistaman Kokkolan voimalaitoksen, ja kauppaan kuului myös kaukolämmön toimintasopimus. Yrityskauppaa käytiin uudestaan 2000-luvun alussa, sillä Fortum osti Imatran voimalta Kokkolan suurteollisuusalueella sijaitsevan voimalaitoksen. (Kokkolan Energia Oy 2021a.)

Pohjolan Voima perusti vuonna 2001 Kokkolan suurteollisuusalueelle yhteistuotantovoimalaitoksen, ja voimalaitoksen nimeksi tuli Kokkolan Voima. Kokkolan Voima -voimalaitos tuli toiseksi voimalaitokseksi Fortumin omistaman voimalaitoksen rinnalle. Vuonna 2009 Kokkolan kaupunki osti Fortumin omistaman voimalaitoksen, ja voimalaitos jatkoi Oy Kokkola Power Ab nimellä toimintaa. Samana vuonna Kokkolan Voiman henkilöstö siirtyi Oy Kokkola Power Ab:lle ja tämän seurauksena kummankin voimalaitoksen operointi tapahtui saman yhtiön alla. (Kokkolan Energia Oy 2021a.)

Kokkolan Energia yhtiöitettiin vuonna 2015 ja yhtiöittäminen toteutettiin liiketoimintakaupalla. Vuonna 2016 Kokkolan Energia Oy osti Pohjolan Voiman omistaman Kokkolan Voima -voimalaitoksen itselleen ja yhtiö sulautettiin vuonna 2017 osaksi Kokkolan Energiaa. (Kokkolan Energia Oy 2021a.) Kuvassa 1 on esitettyä Kokkolan Energian historia aikajanana.



KUVA 1. Kokkolan Energian historia (mukailten Kokkolan Energia Oy 2021a.)

2.3 Nykyhetki

Kokkolan Energia Oy myy sähköä koko Suomen alueelle. Kaukolämpöä yritys toimittaa Kokkolan seudun alueelle. (Kokkolan Energia Oy 2021c.) Sähkön ja kaukolämmön myynnin lisäksi Kokkolan Energia Oy toimittaa prosessihöyryä Kokkolan suurteollisuusalueella toimivien yritysten tarpeisiin. Vuositasolla Kokkolan Energia Oy myy sähköä noin 380 GWh ja kaukolämpöä 310 GWh ja kaukolämpöasiakkaita yrityksellä on noin 3500 kappaletta. Polttoaineita hyödykkeiden tuottamiseen yritys käyttää noin 820 GWh vuodessa. (Kokkolan Energia Oy 2018, 6–12.) Taulukossa 1 on esitettyä Kokkolan Energian avainluvut vuosilta 2019–2020.

TAULUKKO 1. Kokkolan Energian avainlukuja (Kokkolan Energia Oy 2020.)

Kokkolan Energian avainlukuja		
	2020	2019
Liikevaihto (milj. euroa)	44,57	56,83
Tulos ennen tilinpäätössiirtoja ja veroja (milj. euroa)	-0,85	2,75
Taseen loppusumma (milj. euroa)	117	110
Investoinnit (milj. euroa)	10,2	3,67
Henkilökunnan määrä	109	98

2.4 Tuotantolaitokset

Kokkolan Energian kaksi omaa voimalaitosta sijaitsevat Kokkolan suurteollisuusalueella (KIP, Kokkola Industrial Park) voimalaitokset ovat nimeltään Power ja Voima. Power-voimalaitoksella tuotantolaitteistot koostuvat kiertoleijupetikattilasta (C5), öljykattiloista (C4, C6 ja C7) ja höyryturbiinista (T3). Voima-voimalaitoksen tuotantolaitteistoja ovat kerrosleijupetikattila (K1), prosessihöyrykattilalaitos (K2), lämminvesikattila, prosessiteollisuuden lämmöntalteenotto laitteisto ja höyryturbiini (K1). Pääasiallisena polttoaineena voimalaitosten leijupetikattilat käyttävät turvetta ja biopolttoaineita. Öljykattilat ja lämminvesikattila käyttävät polttoaineena raskasta polttoöljyä. Voimalaitosten lisäksi Kokkolan Energialla on viisi lämpökeskusta, jotka ovat yhteydessä kiinteään kaukolämpöverkkoon. Lämpökeskuksien tuotantolaitteistot ovat kuuma/lämminvesikattilat, jotka käyttävät polttoaineena kevyttä polttoöljyä. (Kokkolan Energia Oy 2018, 15–22.)

Taulukossa 2 on esitettyä tuotantolaitteistoiden tuotantokapasiteetit. Taulukossa sulkeissa olevat lukuarvot ovat höyryturbiinin maksimitehoja, sähköteho 52 MW ja prosessihöyry 100MW saavutetaan pelkästään höyryturbiinin avulla. Pelkän kiertoleijupetikattilan tuotantokapasiteetti on 35 MW. (TAULUKKO 2.)

TAULUKKO 2. Tuotantokapasiteetit (Kokkolan Energia Oy 2018, 20–22.)

Tuotantolaitteistoiden tuotantokapasiteetti	Polttoaine-teho	Sähköteho	Kaukolämpö	Prosessihöyry
Voimalaitos POWER				
Kiertoleijupetikattila C5 + höryturbiini T3	108 MW	35 MW (52 MW)	80 MW	35 MW (100 MW)
Öljykattila C4	200 MW			
Öljykattilat C6 ja C7	12,5MW x 2			
Voimalaitos VOIMA				
Kerrosleijupetikattila K1 + höryturbiini K1	80 MW	20 MW	50 MW	
Prosessihöyrykattilalaitos K2	18 MW			15 MW
Lämminvesikattila			12 MW	
Prosessiteollisuuden lämmöntalteenotto			15 MW	
Lämpökeskukset				
Kuumavesikattila			25 MW	
Lämminvesikattila 1			23 MW	
Lämminvesikattila 2			12 MW	
Lämminvesikattila 3 ja 4			20 MW	

2.5 Tulevaisuus

Kokkolan Energia Oy:lla on tarkoitus vähentää hiilidioksidipäästöjään 80 % kahdeksan vuoden aikajaksolla. Pidemmän aikajakson tavoitteena yrityksellä on saada sähkön ja energian tuotanto täysin hiilineutraaliksi. Power-voimalaitokselle hankittiin syksyllä 2020 savukaasulauhdutin, jonka avulla tuotannon energiatehokkuutta saatiin tehostettua. Savukaasulauhdutin lauhduttaa ilmaan johdetun savukaasun sisältämästä vesihöyrystä suurimman osan ja ottaa näin energiaa talteen. Lisäksi savukaasulauhdutin vähentää tuotannosta syntyviä hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjä. Kokkolan Energia Oy:n tavoitteena on myös tulevaisuudessa lisätä uusiutuvien energioiden käyttöä. (Vastuullisuusvideo Kokkolan Energia Oy 2021.)

3 VASTAPAINOVOIMALAITOS

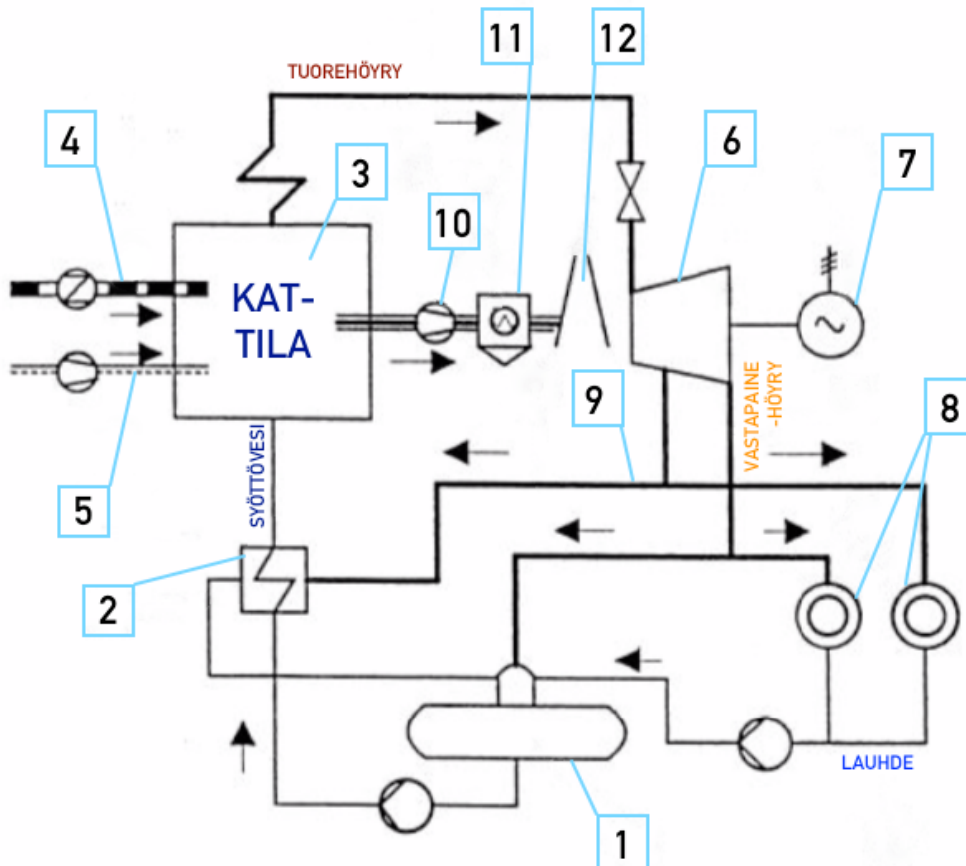
Voimalaitosta, joka tuottaa sähköä ja kaukolämpöä, kutsutaan vastapainevoimalaitokseksi. Vastapainevoimalaitoksissa höyrynpaine ja sen myötä höyryn lauhtumislämpötila on niin korkea, että prosessin jälkeinen höyry voidaan hyödyntää kaukolämmöksi tai teollisuuden prosessihöyryksi. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2008, 12). Vastapainevoimalaitoksissa ensisijaisesti tuotetaan teollisuudelle prosessihöyryä lämpötuotannon ohessa vastapainevoimalaitos tuottaa toissijaisena tuotteena sähköä. Useassa vastapainevoimalaitoksessa itse tuotettu sähkö ei riitä kattamaan sähkön kysyntää, jolloin sähköä ostetaan sähköpörssistä.

Teollisuuden vastapainevoimalaitokset suunnitellaan siten, että tuorehöyryn arvot ovat alhaiset ja prosessikytkentä on yksinkertaisempi kuin suurien voimalaitoksien prosessikytkennät. Vastapainevoimalaitoksissa prosessiin menevän höyryn tulee olla kylläistä, koska lauhtuvalla höyryllä saadaan lämmitettyä prosessi tehokkaasti. Tulistunut höyry vaatisi kylläistä höyryä huomattavasti suuremman lämmönsiirtopinnan, koska jäähtyvän höyryn lämmönsiirtokerroin on paljon alhaisempi kuin lauhtuvan höyryn. (Huhtinen ym. 2008, 64). Tässä luvussa esitellään vastapainevoimalaitoksen toimintaperiaate, polttoaineet, sähkön ja kaukolämmön tuotantotavat sekä kokonaishyötysuhde.

3.1 Toimintaperiaate

Vastapainevoimalaitoksen toimintaperiaate perustuu perinteiseen höyryvoimalaitoksen toimintaan. Aluksi pumpulla paineistettu syöttövesi syötetään syöttövesisäiliöstä höyrykattilaan ja kattilassa vesi lämmitetään useassa vaiheessa polttamalla polttoainetta. Kun vesi on lämmennyt painettaan vastaavaan kiehumispisteeseen, muuttuu nestemäinen vesi höyryksi, ja kun kaikki vesi on höyrystynyt, se tulistuu eli lämpiää korkeampaan lämpötilaan kuin vastaavan paineinen kylläinen vesihöyry. Tulistettu korkeapaineinen vesihöyry kulkeutuu prosessissa kattilasta turbiiniin. Turbiinissa vesihöyryn lämpöenergia saadaan muutettua mekaaniseksi energiaksi, jolla pyöritetään turbiinia. Turbiinin toisessa päässä sijaitsee generaattori, eli turbiini pyörittää generaattoria, jossa mekaaninen energia muutetaan sähköenergiaksi. Kaukolämpöä tai prosessilämpöä tuottaessa turbiinissa lauhtunutta höyryä voidaan käyttää kaukolämpöveden lämmittämiseen. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2004, 11). Turbiinin läpi virrannut höyry siirretään erilaisiin kulutuskohteisiin lämmönvaihtimen avulla ja osa höyrystä palaute-

taan takaisin lauhteena voimalaitoksen käyttöön. Teollisuusprosesseissa usein tarvitaan eripaineista lämmityshöyryä. Eripaineinen lämmityshöyry voidaan ottaa prosessista esimerkiksi turbiinin välitosta. (Huhtinen ym. 2004, 13.) Kuvassa 2 on esitettyä vastapainevoimalaitoksen periaatekaavio. Kuvaan on numeroituna kohdat 1–12 ja nämä kohdat käsitellään tarkemmin tässä luvussa.



KUVA 2. Vastapainelaitoksen periaatekaavio (mukaiillen Huhtinen ym. 2004, 13).

Syöttövesisäiliö (1) varaa kattilalle syötettävän veden. Syöttövesisäiliö kuuluu myös osaksi voimalaitoksen vedenkäsittelyä, sillä säiliön päällä olevan kaasunpoistokuvun avulla vedestä poistetaan korroosiota aiheuttavia kaasuja. Kaasunpoisto perustuu siihen fysikaaliseen ilmiöön, että kylläiseksi lämmitetty vesi ei sisällä lainkaan liuenneita kaasuja. Korroosiota aiheuttavat kaasut johdetaan kaasunpoistotornista ulos. Syöttövesi johdetaan syöttövesisäiliöstä kattilaan syöttövesipumpuilla. Veden paine nostetaan vastaamaan turbiinille menevän höyryn painetta, lisättyä kattilassa ja varsinkin sen tulistinosassa tapahtuvien painehäviöiden suuruudella. Veden paineen pitää syöttövesipumppujen jälkeen olla siis kattilan painehäviöiden verran suurempi kuin turbiinille menevän höyryn paine. (Huhtinen ym. 2008, 23.)

Syöttöveden esilämmitin (2) lämmittää syöttöveden ennen kattilaa. Esilämmittimiä on kahden tyyppiä: höyrystämättömiä ja höyrystäviä. Höyrystämättömissä esilämmittimissä poistuvan veden lämpötila on noin 20°C alhaisempi kuin kiehumispiste, jonka seurauksena ehkäistään kuormitusvaihtelujen aiheuttama kiehumisvaara. Höyrystävät esilämmittimet puolestaan lämmittävät veden kiehumislämpötilaan ja osa syöttövedestä höyrystyy. (Huhtinen ym. 2004, 194).

Tulistimella varusteltu kattila (3) toimii prosessissa polttolaitteena, jonka tehtävä on muuttaa polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia lämmöksi. **Polttoaineen syöttö (4)** kohdistetaan suoraan kattilaan. (Huhtinen ym. 2004, 126). **Palamisilma (5)** edesauttaa polttoaineen palamista, sillä palamisilman avulla saadaan hapen ja polttoaineen välinen reaktio kiihdytettyä siinäkin tapauksessa, että polttoaine itsessään sisältää happea. Lisäksi palamisilmalla ylläpidetään polttoaineen polttoprosessia kattilan tulipesässä. (Huhtinen ym. 2004, 79). Luvussa 4 perehdytään tarkemmin kiertoleijupetikattilan rakentamiseen, palamismekanismiin ja toimintaperiaatteeseen.

Turbiini (6) on pyörivä lämpövoimakone, jonka avulla höyryn paine- ja lämpöenergiaa muutetaan mekaaniseksi energiaksi. Turbiinin siivekkeisiin kohdistuva höyryn paine pyörittää turbiinin akselia ja tämän seurauksena turbiinin akselilta saadaan mekaanista energiaa. Vastapainevoimalaitoksissa käytetään pääsääntöisesti vastapaineturbiinia ja höyry virtaa turbiinin läpi akselin suuntaisesti. Tällöin turbiinin rakennetta kutsutaan aksiaaliturbiiniksi. Turbiinin rakenteesta riippuen turbiinissa voi olla useita väliottoja syöttöveden esilämmitystä varten. Lisäksi voimalaitos voi hyödyntää turbiinista saatavaa väliotto höyryä muihin oman voimalaitosprosessinsa käyttökohteisiin. (Huhtinen ym. 2008, 109.)

Generaattori (7) muuntaa voimalaitoksessa tuotetun höyry-, vesi-, tuuli- tai kaasuturbiinin kehittämän mekaanisen energian sähköksi. Generaattorissa sähköjohdin liikkuu magneettikentässä ja johtimeen induoituu jännitettä. Jännitteen määrään vaikuttavat magneettikentän voimakkuus, johtimen pituus ja liikenopeus. Johtimeen syntyy sähkövirtaa vasta sitten, kun johdin on kytketty suljetuksi virtapiiriksi. Generaattorissa muuttuva magneettivuo saadaan aikaan turbiinin pyörittämän roottorin ympärille käämityn magnetointikämin avulla. Generaattorissa jännitteen voimakkuus riippuu magneettikentän suuruudesta ja roottorin kierrosluvusta. Voimalaitoksissa käytössä olevat generaattorit jaotellaan nopeasti ja hitaasti pyöriviin tahtigeneraattoreihin. Höyryturbiinin yhteydessä käytetään nopeasti pyöriviä generaattoreita. (Huhtinen ym. 2008, 297.)

Höyryn kulutuskohteet (8) ovat kaukolämpöverkosto ja teollisuuden prosessihöyry. Kaukolämpöverkosto mahdollistaa turbiinissa hyödyntämättä jääneen lämpöenergian jakamisen asiakkaille. **Turbiinin väliottohöyry (9)** hyödynnetään voimalaitoksen omakäyttöhöyryjärjestelmään. Omakäyttöhöyryllä tarkoitetaan höyryä, jota tarvitaan voimalaitoksella pääprosessin aputoimiin. Pääprosessin aputoimia ovat muun muassa turbiinin akselin tiivistys, lämmönsiirtimien höyrynuohoimet, polttoaineen esilämmitys, palamisilman lämmitys, lisäveden lämmitys, veteen liuenneiden kaasujen poisto syöttövesisäiliön päällä olevasta kaasunpoistokuvusta ja voimalaitosrakennuksen LVI-järjestelmä. Omakäyttöhöyryä tarvitaan myös voimalaitoksen seisokkiaikana ja silloin kun ryhdytään suorittamaan kattilan ylösajoa. (Huhtinen ym. 2008, 43–44.)

Savukaasut (10) johdetaan pois kattilasta savukaasukanavia pitkin. Kattilan polttoprosessissa syntyvät savukaasut sisältävät rikkiä ja tämän seurauksena savukaasukanavien on oltava hyvin eristettyjä, jotta savukaasujen aiheuttama rikki ei vahingoita savukaasukanavien rakennetta. (Huhtinen ym. 2004, 241). **Savukaasujen puhdistus (11)** voidaan suorittaa erilaisilla puhdistusmenetelmillä. Savukaasujen kiinteät epäpuhtaudet voidaan erottaa seuraavilla erotintyypeillä: sähkösuodattimet, erilaiset dynaamiset erottimet, letkusuodattimet ja savukaasupesurit. (Huhtinen ym. 2004, 251). **Savupiippu (12)** vapauttaa puhdistetut savukaasut ilmakehään. Kattilalaitoksen koko vaikuttaa savupiipun rakenteeseen: pienissä ja keskisuurissa kattilalaitoksissa savupiipun rakenne on teräksestä, kun taas suurissa kattilalaitoksissa savupiippu on valmistettu liukuvaletusta teräsbetonista. Savupiipun tärkeimpiä ominaisuuksia ovat riittävä savukaasujen veto ja savupiipusta tulevien savukaasujen laimentuminen riittävästi piipun läheisyydessä. (Huhtinen ym. 2004, 248.)

3.2 Polttoaineet

Höyrykattiloissa energia veden höyryttämiseen sekä veden ja höyryn lämmittämiseen tuotetaan polttoaineilla tai ydinvoimaloissa ydinreaktioilla. Polttoaineiden osalta energiantuotannossa on huomioitava polttoaineiden pitkäjänteisyys, tuotettavien energiamäärien suuruus ja mahdollisimman edullisen energian tuotto. Osaksi polttoaineen edullisuutta voidaan varsinkin vähänkin suuremmissa laitoksissa laskea vähäiset CO_2 -päästöt tuotettua energiayksikköä kohti. Höyrykattiloiden polttoaineet jaotellaan käsitteilyominaisuuksien mukaan kiinteisiin, nestemäisiin ja kaasumaisiin polttoaineisiin (TAULUKKO 3.) (Huhtinen ym. 2004, 27.)

TAULUKKO 3. Höyrykattiloiden polttoaineet (mukaillen Huhtinen ym. 2004, 27).

KIINTEÄT		NESTEMÄISET		KAASUMAISET
HIILI	Antrasiitti	JÄTELIEMI	Mustalipeä	Nestekaasu
	Ruskohiili		Sulfaattiliemi	Maakaasu
	Kivihili	ÖLJY	Raskasöljy	
TURVE	Jyrsinturve		Kevytöljy	
	Palaturve			
PUU	Hake			
	Kuori			

Tässä luvussa keskitytään turve- ja puupolttoaineisiin, koska kyseisiä polttoaineita käytetään tällä hetkellä Kokkolan Energian C5-kiertoleijupetikattilan polttoaineena. (Kokkolan Energia Oy 2018, 34.)

3.2.1 Puupolttoaineet

Puupolttoaineet syntyvät puunjalostuksen sivuvirroista eli kuoresta, sahanpurusta ja sellunvalmistuksen jätelemistä. Puupolttoaineita syntyy myös metsänhoitotöiden yhteydessä ja näistä saadaan energiantuotantoon hyödynnettyä puiden latvukset, oksat, rangat ja toisinaan kannot. Kaikki nämä voidaan hakettaa ja sen jälkeen käyttää polttoaineena sähkön ja lämmön tuotannossa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021). Puupolttoaineet luokitellaan CO₂-neutraaleiksi ja niiden aiheuttamat päästöt luokitellaan maankäyttösektoreittain. Käsittelyn ja varastoinnin kannalta on oleellista huomioida puupolttoaineiden tiheys. Suomen bioenergiayhdistys ry on laatinutkin puupolttoaineille laatuluokittelun, jossa huomioidaan energiatiheys, kosteus ja partikkelikoko. (Huhtinen ym. 2004, 29.) Suomessa puupolttoaineiden osuus energian kokonaiskulutuksesta oli 28 % vuonna 2019. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021).

3.2.2 Turve

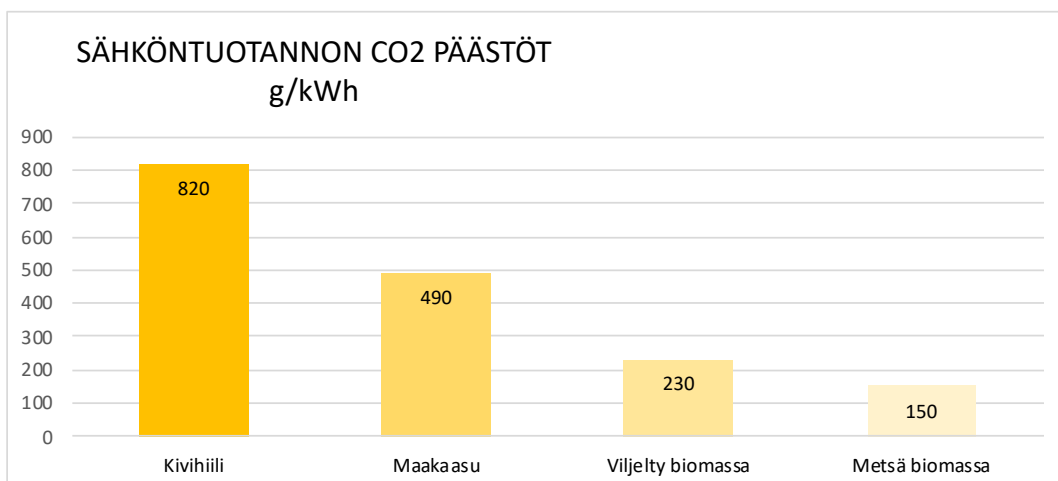
Turve syntyy soilla olevasta kosteasta biomassasta. Jyrsinturve tuotetaan jyrsinturvemenetelmällä, jossa turvetta jyrsitään suon pinnasta noin 1–2 cm:n kerros ja sen jälkeen turpeen annetaan kuivua aurinkoenergian avulla kosteusprosenttiin 50 %. Turveteollisuusliitto ry on laatinut laatuluokituksen turpeelle, jossa huomioidaan turpeen kosteus, lämpöarvo ja turpeen kuljetustilavuuspaino. Voimalaitoksissa käytetään myös polttoaineena palaturvetta. Palaturve tuotetaan nostamalla ruuvia tai kiekkoa apuna

käyttäen suosta 0,6–0,8 metrin syvyydestä turvetta ja puristamalla turvemassa suulakkeen läpi palasina suon pinnalle kuivumaan. Palaturpeen nosto vaiheessa turpeen nostokosteuden on oltava kuitenkin vähintään 80 %, jotta palan puristaminen onnistuu. Palaturpeen kuivumisaika suon pinnalla on yleensä yli 2 viikkoa, jotta saavutetaan 20–50 %:n tavoitekosteusprosentti. Tavoitekosteusprosentti riippuu siitä, mihin laatuluokkaan nostettu turve halutaan saada. Turve on hyvin hitaasti uusiutuva luonnonvara, sillä turvekerros kasvaa noin 1 mm/vuosi. (Huhtinen ym. 2004, 31–32.) Suomessa turpeen osuus energian kokonaiskulutuksesta oli 4 % vuonna 2019. (Motiva Oy 2021).

3.2.3 Päästöt

Polttoaineiden päästöt syntyvät käytännössä lähes täysin polttoprosessissa. Polttoprosessissa polttoaineen sisältämä vety muuttuu vedeksi ja hiili hiilidioksidiksi. Polttoaineiden päästöjä voidaan tarkastella kahdella tavalla, sillä poltettavat polttoaineet aiheuttavat suoria päästöjä. Polttoaineet, joita ei polteta, aiheuttavat päästöjä, mutta niitä ei pystytä määrittelemään suoriksi päästöiksi. Yhtenäisesti polttoaineiden päästöjä pystytään tarkastelemaan elinkaaripäästöjen avulla. Elinkaaripäästöissä huomioidaan lisäksi voimaloiden rakentaminen, polttoaineen käsittely ja kuljetus. (Cambridge University Press 2014, 524–526.) Taulukossa 4 on esitetty sähköntuotannon CO₂-elinkaaripäästöt. Vertailun vuoksi tarkastelen kivihiilen ja maakaasun päästöjä. Ilmastoneutraalin tulevaisuuden kannalta on tärkeää huomioida polttoaineiden elinkaaripäästöt. Mikäli tulevaisuuden voimalaitosympäristössä lopetettaisiin palavien polttoaineiden käyttö, olisi syytä tarkastella elinkaaripäästöjen kautta korvaavien polttoaine vaihtoehtojen aiheuttamia päästöjä.

TAULUKKO 4. Polttoaineiden elinkaaripäästöt (Cambridge University Press 2014, 539).



Elinkaaren suurimmat päästöt syntyvät kivihiilen polttamisesta. Maakaasun poltto aiheuttaa kaksi kertaa enemmän päästöjä kuin viljelty biomass. Palavien polttoaineiden vertailussa puu- ja biomass polttoaineet eivät aiheuta elinkaaripäästöjä läheskään samassa mittakaavassa kuin maakaasu ja kivihili, mutta eivät toisaalta ole likikään hiilidioksidineutraaleja. (TAULUKKO 4.)

3.3 Sähkön ja kaukolämmön tuotanto

Vastapainevoimalaitoksen sähköntuotanto on suoraan verrannollinen kaukolämmön tuotantoon. Sähkön ja kaukolämmön tarve ei kuitenkaan vaihtelee vuorokauden tai vuodenajan mukaan samalla tavalla. Energialaitos voi ostaa puuttuvaa sähköä tai myydä ylimääräisen sähkön sähköpörssin välityksellä. Kaukolämpöverkkoon voidaan kytkeä apujäähdytin, jonka avulla voidaan ylimääräinen kaukolämpö johtaa lämmönvaihtimella järvi- tai meriveteen. Investointi on edullinen, mutta kaukolämpöä menee hukkaan ja tämän seurauksena tuotetun sähkön hinta nousee. Sähköntuotannon hyötysuhde on huono, koska käytössä on vastapaineturbiini. (Huhtinen ym. 2008, 56.)

Vaihtoehtoisesti kaukolämpöjärjestelmään voidaan liittää lämpövaraaja. Kun kaukolämmön tarve on pieni mutta sähkön tarve puolestaan suuri, voi voimalaitos tuottaa sähköä maksimiteholla ja samalla tuotettu ylimääräinen lämpö voidaan varastoida lämpövaraajaan. Verrattaessa varaajaa ja lämmönvaihdinta, varaajaan saadaan lämpö talteen, mutta investointina varaaja on lämmönvaihdinta kalliimpi. (Huhtinen ym. 2008, 57.) Kaukolämpötehon tarve vaihtelee ennen kaikkea ulkolämpötilan mukaan. Suurin kaukolämmön tarve on talvella huippupakkasilla ja pienimmillään tehon tarve on kesällä. Kesällä kaukolämpöä kuluu lähinnä käyttöveden lämmitykseen sekä lämpöhäviöihin. (Huhtinen ym. 2008, 12.)

3.4 Voimalaitoksen energiatehokkuus

Energiatehokkuudella on tarkoitus vähentää palveluiden, hyödykkeiden ja tuotteiden valmistusprosessiin tarvittavaa energiamäärää. Energiatehokkuutta parantamalla pystytään vähentämään hiilidioksidipäästöjä, pienentämään energiankulutusta ja tämän kautta tuottamaan yritykselle kustannussäästöjä. Energiatehokkuuden parantaminen on osa EU:n energia- ja ilmastopolitiikkaa. (Energiavirasto 2021).

Energiatehokkuus tuottaa myös yritykselle oheishyötyjä. Oheishyötyjä ovat esimerkiksi käyttö- ja kunnossapitohyödyt, imagohyödyt ja yhteistyöt. Automaation lisääminen tuotantoon mahdollistaa vikojen tunnistamisen ennakkoon. Energiatehokkuus vahvistaa yrityksen imagoa ja kertoo yrityksen vastuullisuudesta. Energiatehokkuus luo lisää yritysten välistä yhteistyötä ja tiedonjakoa. (Motiva Oy 2019, 7–8.)

Voimalaitos ympäristössä kokonaisenergiatehokkuutta ja -taloutta parannetaan voimalaitoksen energia-analyysillä. Energiatehokas voimalaitos tuottaa pienemmällä polttoainemäärällä saman määrän energiaa tai käytettäessä samaa polttoainemäärää tuottaa voimalaitos suuremman energia määrän. Puhuttaessa voimalaitoksen kokonaisenergiatehokkuudesta ja vertaillen voimalaitosten energiatehokkuutta on kuitenkin huomioitava laitoskohtaiset ajotavat, käytössä olevat polttoaineet, voimalaitosten tyyppi ja voimalaitosten rakenteelliset muutokset. Voimalaitoksen energiatehokkuuden parannuskohteet ilmenevät yleensä, kun energia-analyysi on tehtynä. Voimalaitoksen kokonaishyötysuhde voi parantua esimerkiksi yhden prosenttiyksikön, kun energia-analyysissä ilmeneville parannuskohteille on tehty tarvittavat toimenpiteet. Yhden prosenttiyksikön parannus kokonaishyötysuhteessa voi tuntua pieneltä, mutta sillä taloudellisesti usein hyvin suuri merkitys. (Motiva Oy 2020.)

3.5 Kokonaishyötysuhde

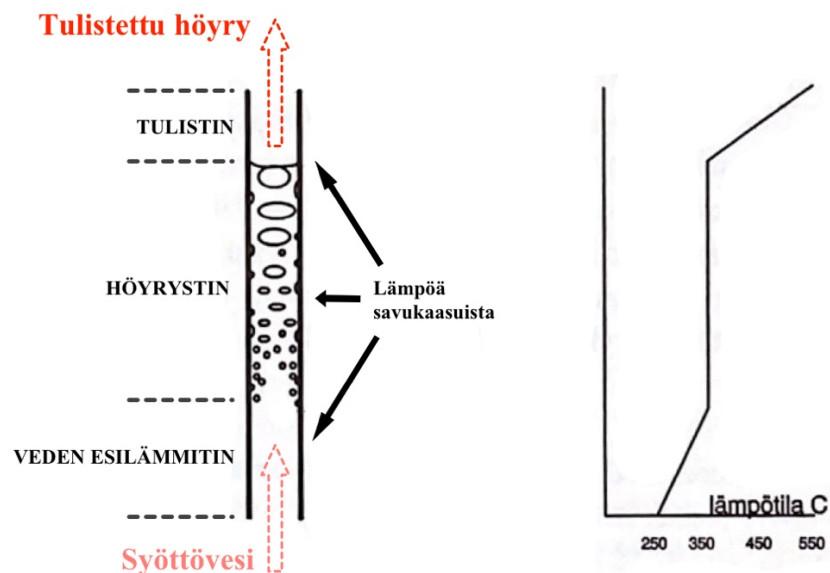
Vastapainevoimalaitoksien kokonaishyötysuhde on noin 90 %. Vastapainevoimalaitoksen häviöt syntyvät suurilta osin kattilan savukaasuhäviöistä (10 %). Vertailun vuoksi lauhdutusvoimalaitoksella, joka tuottaa pelkästään sähköä, päästään parhaimmillaan vain noin 44 % hyötysuhteeseen. Vastapainevoimalaitoksen kannattavuus perustuukin polttoaineen käytön hyvään hyötysuhteeseen ja sivuvirtana tuotannon yhteydessä voidaan tuottaa edullisesti sähköä. Mikäli kaukolämmön tarvetta ei ole, ei kannata vastapainevoimalaitoksella tuottaa pelkästään sähköä, koska silloin hyötysuhde on huono. (Huhtinen ym. 2004, 11.)

4 KIERTOLEIJUPETIKATTILA

Luvussa perehdytään tarkemmin kierto-leijupetikattilan toimintaan, rakenteeseen, kattilan keskeisiin komponentteihin ja kattilan vesihöyrypiiriin.

4.1 Perusteet

Voimalaitosprosessissa syötetään vettä syöttövesisäiliöstä tulistimella varusteltuun höyrykattilaan. Höyrykattilassa vesi höyrystyy painetta vastaavassa höyrystymislämpötilassa ja lopuksi höyrykattilassa höyrystynyt vesi kuumennetaan höyrystymislämpötilaa suurempaan lämpötilaan, jonka seurauksena vesihöyry tulistuu. Kuvasta 3 ilmenee kuinka syöttövesi muuttaa olomuotoaan höyrykattilassa. Höyrykattilaan on syötettävä veden lisäksi polttoainetta ja palamisilmaa, koska veden lämmittäminen, höyrystäminen sekä tulistaminen vaatii energiaa. Höyrykattilaan syötetystä polttoaineesta saadaan kemiallinen energia muutettua lämpöenergiaksi palamisilmassa olevan hapen avulla. (Huhtinen ym. 2004, 7).



KUVA 3. Höyrykattilan toimintaperiaate (mukaillen Huhtinen ym. 2004, 7).

4.2 Toimintaperiaate

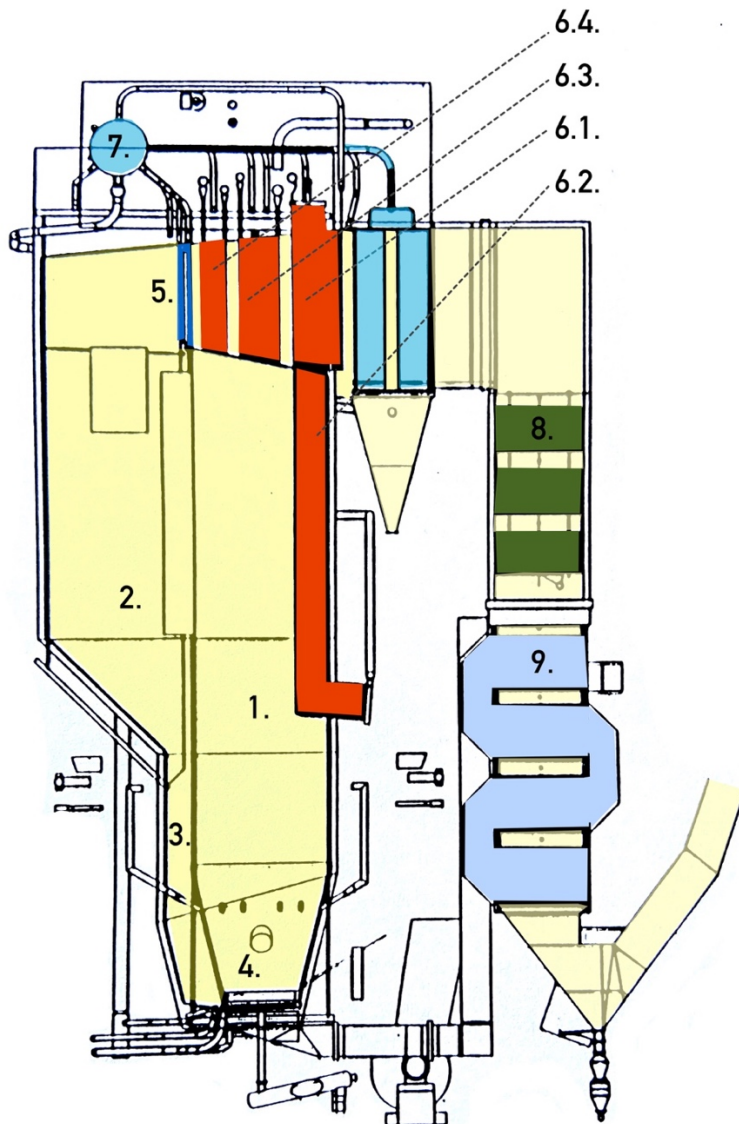
Kiertoleijupetikattila on voimalaitoksen höyrykattila, joka toimii kiertopölyperiaatteella. Kiertoleijupetikattilassa leijutetaan hienojakoista petimateriaalia tulipesässä suurilla leijuntanopeuksilla. Tulipesään syötetään kiinteää polttoainetta ja palamisilmaa (KUVA 2). Palamisilmana käytetään primääri- ja sekundääri-ilmaa, joiden seossuhteen avulla voidaan optimoida palamista. Primääri-ilma syötetään kattilan pohjasta leijutusilmana pohjasuuttimien kautta. Primääri-ilman osuus kiertoleijupetikattilan kokonaisilmamäärästä on tyypillisesti noin 40–60 %. Sekundääri-ilma syötetään leijukerroksen eri tasoille, muutaman metrin arinan yläpuolelle. Sekundääri-ilmamäärää voidaan säätää 15–100 % väliin sekundääri-ilmamäärästä. Palamisilma, kiinteän polttoaineen ja leijutusalueella leijutettavan petimateriaalin ansiosta höyrykattilaan saadaan aikaiseksi polttoprosessi. Tulipesässä höyry tulistetaan tulistimilla. Tulistimista osa on sijoitettuna tulipesän yläpuolelle, minkä seurauksena tulistus kohdistuu kohtisuoraan leijupedin virtausta vastaan. (Huhtinen ym. 2004, 159–162.)

Polttoprosessissa syntyvät, osittain palamatonta materiaalia sisältävät hiukkaset erotellaan syklonilla. Syklonilla palautetaan hiukkaset ja kiertävä petimateriaali takaisin tulipesän pohjalle. Syklonin rakenteessa on huomioituna, etteivät savukaasut virtaa suoraan tulipesästä sykloniin. Savukaasujen virtaus sykloniin estetään polvi-ilmajärjestelmällä. Polvi-ilmajärjestelmä muodostaa tulipesän ja syklonin väliin kanavaan savukaasulukon 0,3 bar paineisen paineilman avulla. Palamisilman joutuminen syklonin jälkeiseen savukanavaan estetään myös polvi-ilmajärjestelmällä. Syklonin jälkeen polttoaineesta vapautunut lämpö johdetaan savukaasukanavaan. Polttoprosessissa syntyvä hienojakoinen tuhka, niin kutsuttu lentotuhka, joka ei erotu syklonissa poistuu kattilasta savukaasujen mukana. Savukaasukanavassa sijaitsee myös veden- (Ekonomaiser) ja ilmanesilämmittimet (LUVO). (Huhtinen ym. 2004, 159–162.)

Savukaasujen puhdistus tapahtuu sähkösuodattimella ja savukaasupesurilla. Savukaasuissa kulkeutuva lentotuhka erotellaan tuhkan kuljetusjärjestelmällä. Tuhkan kuljetusjärjestelmä siirtää sähkösuodattimen suppiloihin ja kattilan Ekonomaiserin suppiloon kertyvän tuhkan lentotuhkasiiloon. (Ahlstrom 1995b, kappale 15).

4.3 Rakenne

Kiertoleijupetikattilan rakenne ilmenee kuvasta 4. Kiertoleijupetikattilan rakennekuva on Kokkolan Energian kiinteäpolttoaineisen C5-kiertoleijupetikattilan toimittajan (Ahlstromin) dokumenteista hyödynnetty kuva. Rakennekuva rajautuu kattilahuoneeseen, joten savukaasupesuri ja muut vesihöyrypiirin komponentit eivät ilmene rakennekuvasta (KUVA 4.). (Ahlstrom 1995c, kappale 2).



1. Tulipesä
2. Sykloni
3. Petimateriaalin palautus
4. Peti
5. Hilaputket

- 6.1. Tulistin (I)
- 6.2. Tulistin (II)
- 6.3. Tulistin (III)
- 6.4. Tulistin (IV)
7. Lieriö

8. Ekonomaiseri
9. Luvo

KUVA 4. Kiertoleijupetikattilan rakenne (mukaillen Ahlstrom 1995c, kappale 2).

Tulipesä sijaitsee kattilan keskiosassa. Tulipesän vasemmalla puolella sijaitsee tulipesän yhteydessä oleva sykloni, jonka avulla tapahtuu myös petimateriaalin palautus. Tulipesän alaosassa sijaitsee peti. Tulistimia kattilassa on neljä kappaletta, joista kolme on sijoitettuna kohtisuoraan tulipesän yläpuolelle. Höyrylieriö sijaitsee kattilarakennuksen ylätasolla. Savukaasut kulkeutuvat syöttöveden esilämmittimen (Ekonomaiser) ja palamisilman esilämmittimen (LUVO) läpi. (Ahlstrom 1995c, kappale 2).

4.4 Komponentit

Tässä alaluvussa käsitellään opinnäytetyölle oleellimmat kiertoleijupetikattilan komponentit. Komponentteja ovat tulipesä, sykloni, polvi-ilmajärjestelmä, polttoaineen syöttö, LUVO, Ekonomaiser, primääri-ilma, sekundääri-ilma ja savukaasupuhallin.

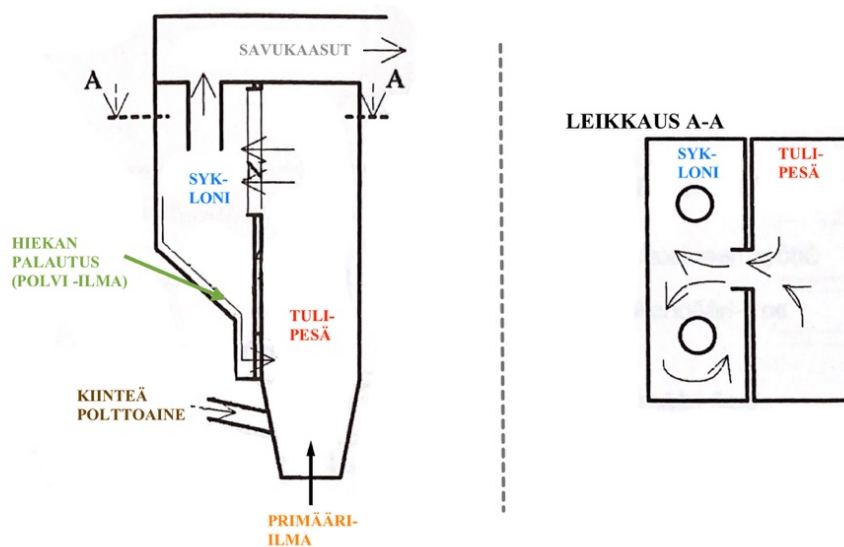
4.4.1 Tulipesä

Kiertoleijupetikattilan tulipesä toimii kattilan leijutusalueena. Tulipesässä leijutetaan leijuntanopeudella 3–10 m/s hienojakoista petimateriaalia. Petimateriaali koostuu hiekasta, jonka raekoko on 0,1–0,5 mm (Huhtinen ym. 2004, 159). Petimateriaalin käyttäytyminen tulipesän polttoprosessissa riippuu leijutusnopeudesta. Tulipesässä ilmavirran virratessa hitaasti petimateriaali pysyy kiinteänä kerroksena tulipesän pohjalla sijaitsevassa pedissä. Ilmavirran ollessa suuri syntyy tulipesässä painehäviö ja tämän seurauksena polttoprosessi ei ole tehokasta. Painehäviö riippuu täysin leijuntanopeudesta ja petimateriaalin määrästä. (Huhtinen ym. 2004, 155.)

Tulipesä on vuorattu tulenkestävillä tiilillä ja tiilet ovat muurattu tulenkestävällä laastilla. Tulipesän käytön kannalta on tärkeää, että tulipesä on vuorattu asianmukaisesti. Tulipesään kohdistuu räsitus, joka syntyy kuumuudesta, lämpötilojen muutoksista, korroosiosta ja kulumisesta polttoprosessin aikana. Tulipesän taustavuoraus toimii tulipesän eristeenä. Taustavuorauksen tehtävänä on estää tulipesän sisäpuolella kohdistuva lämpö- ja puristusrasitus tulipesän ulkopuolelle. (Ahlstrom 1995d, kappale 1.)

4.4.2 Sykloni

Kattilavalmistaja Foster Wheelerin Compact -kiertoleijupetikattilan sykloni on poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoinen. Tulipesästä savukaasut virtaavat tulipesän yläosasta, seinämän keskeltä syklooniin. Savukaasujen virtaus jakautuu kahteen pyörteiseen virtaukseen. Syklonin ja tulipesän välisessä seinämässä on alaosassa aukot, josta saadaan hiekanpalautusjärjestelmällä palautettua petimateriaali puhaltamalla takaisin tulipesään (KUVA 5.). Syklonin seinät on vuorattu samalla tavalla kuin tulipesän seinät. (Huhtinen ym. 2004, 162).



KUVA 5. Foster Wheeler Compact -kiertoleijupetikattilan rakenne (mukaillen Huhtinen ym. 2004, 163).

4.4.3 Polvi-ilma

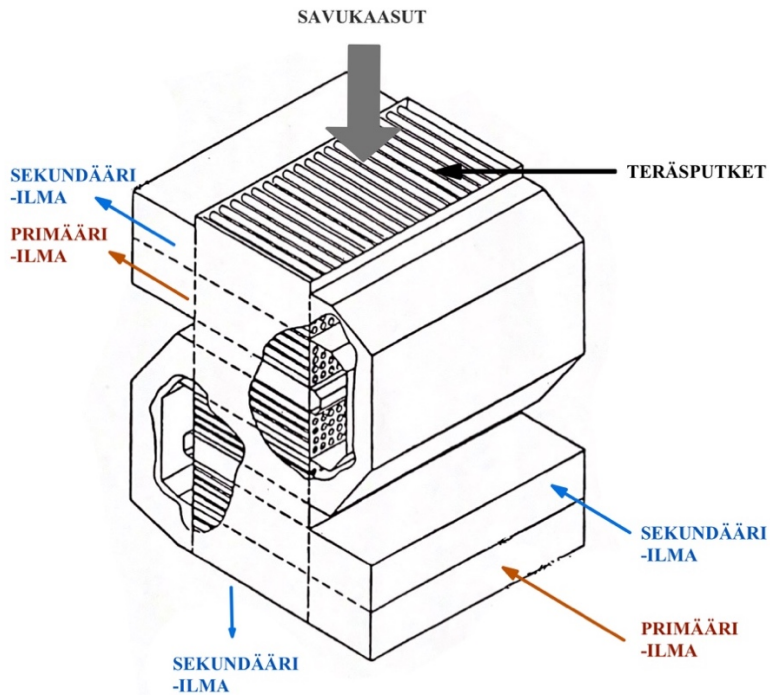
Polvi-ilmajärjestelmää käytetään tuottamaan 0,3 bar paineista ilmaa, jonka seurauksena petimateriaali pysyy jatkuvasti liikkeellä. Ilmavirta estää petimateriaalin kuohkeutumisen. Polvi-ilmajärjestelmä muodostaa savukaasulukon syklonin ja tulipesän väliseen palautuskanavaan. Savukaasulukko estää tulipesän savukaasun virtauksen vastavirtaan palautuskanavaa pitkin ylöspäin. Mikäli savukaasut pääsisivät virtaamaan ylöspäin, syklonin keskipakovoimaan perustuva partikkelien erotustapahtuma häiriintyisi ja osa kiertävästä kiintoaineesta läpäisisi syklonin (KUVA 5.). Lisäksi petimateriaali vähenisi ja tulipesän petipaine laskisi, minkä seurauksena pitäisi syöttää petimateriaalia lisää noin 1000 kg/h, jotta petipaine pysyisi ennallaan. Polvi-ilmapuhaltimen ilma otetaan voimalaitoksen puhallinhuoneen ilmasta, joka johdetaan putkistoa pitkin polvi-ilmapuhaltimelle. (Ahlstrom 1995a, kappale 10.)

4.4.4 Polttoaineen syöttö

Kiertoleijupetikattilaan syötettävä polttoaine varastoidaan siiloissa. Siiloissa varastoitu polttoaine puretaan ruuvipurkaimilla kolakuljettimille. Kolakuljettimet kuljettavat polttoainetta sulkusyöttimille. Sulkusyöttimet työntävät polttoainetta tunkijaruuveille. Tunkijaruuvien avulla polttoaine työnnetään tulipesään. Polttoaineen syöttö tapahtuu automaattisesti prosessiohjelman mukaisesti, mutta tarvittaessa kuitenkin kaikkia polttoaineen syöttöön liittyviä laitteistoja voidaan käyttää manuaalisesti käsiohjauksella. Ruuvipurkaimien, kolakuljettimien ja sulkusyöttimien toiminnan ehtoina kiertoleijupetikattilan petilämpötilan on oltava alle 620 °C. Tunkijaruuvien osalta petilämpötilan on aina ylitettävä 350 °C, jotta tunkijaruuvit käynnistyvät. Kiertoleijupetikattilassa, jossa polttoaineteho on 108 MW, polttoaineen syöttöjärjestelmä sisältää kaksi kappaletta polttoainesiiloja, kaksi kappaletta ruuvipurkaimia, kaksi kappaletta kolakuljettimia, neljä kappaletta sulkusyöttimiä ja neljä kappaletta tunkijaruuveja. (Ahlstrom 1995b , kappale 1.)

4.4.5 Palamisilman esilämmitin (LUVO)

Palamisilman esilämmitin eli LUVO sijaitsee kiertoleijupetikattilan takavedossa Ekonomaiserin alapuolella (KUVA 4.). Palamisilman esilämmitystä käytetään polttoaineen sisältämän kosteuden kuivattamiseen, tehostamaan polttoaineen syttymistä ja nopeuttamaan polttoaineen polttoprosessia. Palamisilmaan lämmittämiseen otetaan energia alhaisen lämpötilan savukaasuista, joten energiatehokkuus paranee samalla. Palamisilma lämmitetään 100–400 °C:een, riippuen käytettävästä polttoaineesta sekä polttovasta. (Huhtinen ym. 2004, 196). LUVO:n rakenne koostuu teräsputkistoista. Teräsputkistossa ilmavirtaus jakautuu siten, että primääri-ilma ja sekundääri-ilma kulkevat omissa kanavissaan. Savukaasut virtaavat kohtisuorassa teräsputkistoa vasten, minkä seurauksena palamisilma saadaan esilämmitettyä. (KUVA 6.) (Ahlstrom 1995a, kappale 7.)



KUVA 6. Teräsputkiluvon rakenne (mukaiillen Ahlstrom 1995c, kappale 6.)

4.4.6 Syöttöveden esilämmitin (Ekonomaiser)

Syöttöveden esilämmitin sijaitsee kiertoleijupetikattilan takavedossa savukaasukanavassa (KUVA 4.). Ekonomaiserissa syöttövesi esilämmitetään lähelle kattilaveden lämpötilaa. Samalla Ekonomaiserin läpi kulkeutuvat savukaasut jäähtyvät syöttöveden alhaisemman tulolämpötilan seurauksena. Ekonomaiserin avulla saadaan savukaasuille sovitun mukainen loppulämpötila. (Ahlstrom 1995a, kappale 5.) Ekonomaiseriin tulevan syöttöveden lämpötila on 100–250 °C ja Ekonomaiserin jälkeen syöttöveden loppulämpötila on 250–450 °C. Kiertoleijupetikattilan tulipesästä virtaavien savukaasujen lämpötila tulistimien jälkeen on 600–800 °C. Ekonomaiserin jälkeen savukaasujen loppulämpötila on 250–450 °C. Syöttöveden lämmittämisellä ja savukaasujen jäähdyttämisellä saadaan parannettua voimalaitoksen hyötysuhdetta. Ekonomaiserin rakenne koostuu rivoitetusta teräsputkesta, jonka materiaali on hiiliterästä. Materiaalin seurauksena Ekonomaiserilla on hyvä lämmönjohtokyky ja pieni lämmönpiteenemiskerroin ja se on edullinen. (Huhtinen ym. 2004, 194–196.)

4.4.7 Primääri-ilma

Primääri-ilmajärjestelmän avulla syötetään tulipesään oikea määrä esilämmitettyä ilmaa. Primääri-ilmapuhallin imee tulolämpötilaltaan 30 °C:sta ilmaa kattilahuoneen yläosasta. Näin saadaan osa kattilan lämpöhäviöistä talteen. Puhaltimen jälkeen ilma virtaa palamisilman esilämmittimeen (LUVO) ja tämän jälkeen primääri-ilma puhalletaan tulipesään arinan alapuolelta. Primääri-ilman seurauksena tulipesässä leijupeti leijuu tasaisella liikkeellä. Osa primääri-ilmasta johdetaan ennen palamisilman esilämmitintä polttoaineen sulkusyöttimille. Primääri-ilma toimii sulkusyöttimien tiivistys- ja huuhtelu-ilmana. Primääri-ilmapuhallin suojataan äänieristyssuojalla ja jäähdytysilmapuhaltimella, jolla estetään puhaltimen moottorin ylikuumentuminen. (Ahlstrom 1995a, kappale 9.)

4.4.8 Sekundääri-ilma

Sekundääri-ilmajärjestelmän avulla syötetään tulipesään esilämmitettyä ilmaa, jota hyödynnetään kiinteän polttoaineen polttoprosessissa. Lisäksi sekundääri-ilmaa hyödynnetään polttoaineen syöttöruuvien toiminnassa ja käynnistyspolttimen palamisessa. Sekundääri-ilmapuhallin imee myös kattilahuoneen yläosasta tulolämpötilaltaan 30 °C:sta ilmaa. Sekundääri-ilma virtaa myös palamisilman esilämmittimen kautta ja sekundääri-ilmapuhallin on suojattu samalla tavalla kuin primääri-ilmapuhallin. (Ahlstrom 1995a, kappale 8.)

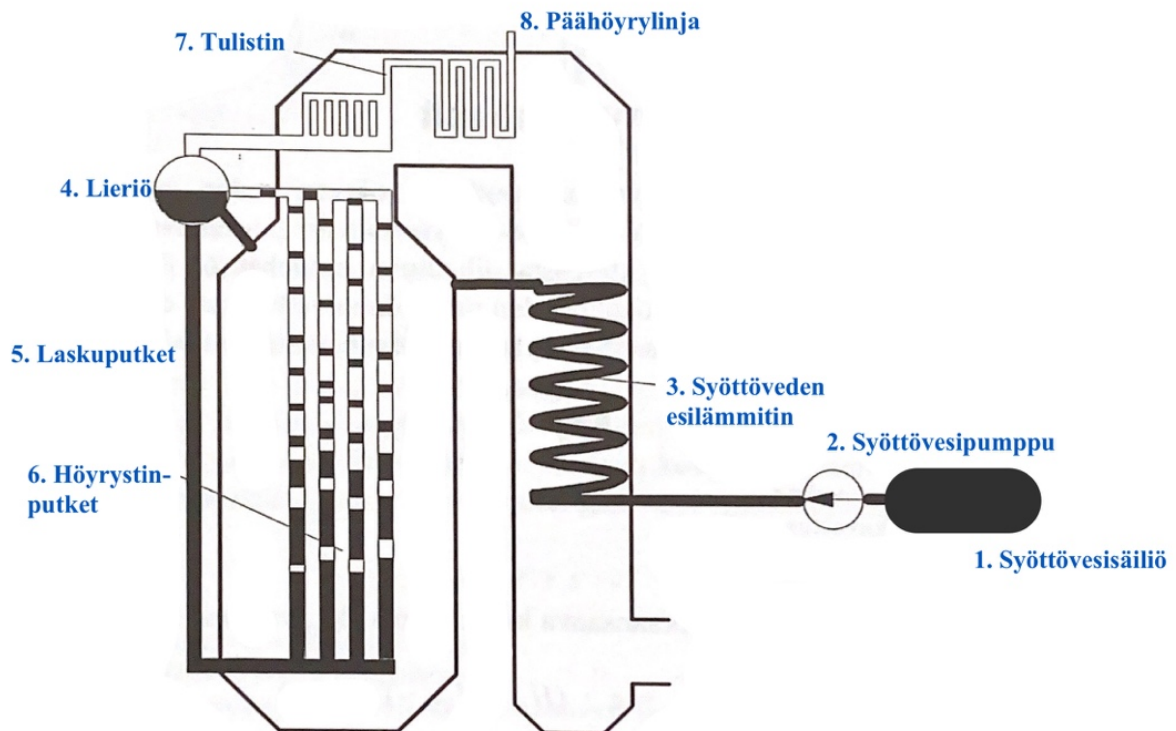
4.4.9 Savukaasupuhallin

Savukaasupuhallin johtaa tulipesästä polttoprosessin aikana syntyvät savukaasut pois. Savukaasupuhallin ei sijaitse kattilahuoneessa, vaan se sijaitsee omassa savukaasupuhallinhuoneessa. Savukaasupuhaltimen avulla savukaasut johdetaan savupiipun kautta ulos. (Ahlstrom 1995a, kappale 7.)

4.5 Luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiri

Luonnonkiertokattilassa höyrystyvä vesi virtaa höyrykattilan putkistossa. Luonnonkiertokattilat ovat vesiputkikattiloita. Vesihöyrypiirin keskeisimmät komponentit ovat syöttövesisäiliö, syöttövesipumppu, vedenesilämmitin, lieriö, höyrystin ja tulistin. Kattilaan syötetään syöttövesisäiliöstä syöttövesipumpun avulla syöttövesi esilämmittimeen (Ekonomaiseriin), jossa vesi lämmitetään kylläiseen lämpötilaan. Esilämmitetty syöttövesi johdetaan seuraavaksi lieriöön. Lieriöstä höyrystymättä jäänyt syöttövesi virtaa laskuputkia pitkin kiertoletijupetikattilan tulipesään. Tulipesässä sijaitsevien höyrystinputkien alaosaan. Höyrystinputkissa osa syöttövedestä höyrystyy. Höyrystinputkissa kylläinen vesi ja vesihöyry seos virtaa takaisin lieriöön. Lieriössä vesi ja höyry erottuvat toisistaan, sillä höyry nousee kevyempänä lieriön yläosaan ja vesi pakkautuu lieriön alaosaan. Lieriössä oleva höyry virtaa tulistimeen ja lieriön alaosassa oleva vesi sekoittuu lieriöön syötettävään syöttöveteen.

Tulistimen läpi kulkeva höyry johdetaan päähöyrylinjaa pitkin turbiinille. Veden ja höyryn tiheyseron vuoksi vesihöyrypiiriä kutsutaan luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiriksi. Veden ja höyryn seos on kevyempää, joten tämä nousee ylöspäin. Tiheämpi kylläinen vesi laskee puolestaan alaspäin. (Huhtinen ym. 2004, 111–113.) Kuvasta 7 ilmenee luonnonkiertokattilan vesihöyrypiirin periaate.



KUVA 7. Luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiri (mukaillen Huhtinen ym. 2004, 113.)

4.5.1 Syöttövesi

Syöttövesijärjestelmän pääkomponentteihin kuuluvat syöttövesisäiliö, syöttövesiputkisto, syöttövesipumput, säätöventtiilit, sulkuventtiilit ja ruiskutusventtiilit. Voimalaitoksella on kaksi erillistä syöttövesi piiriä. Toisessa piirissä syöttövesi virtaa turbiinin esilämmittimen läpi ja toisessa piirissä syöttövesi virtaa kiertoleijupetikattilan syöttöveden esilämmittimen läpi. (Ahlstrom 1995b, kappale 10.)

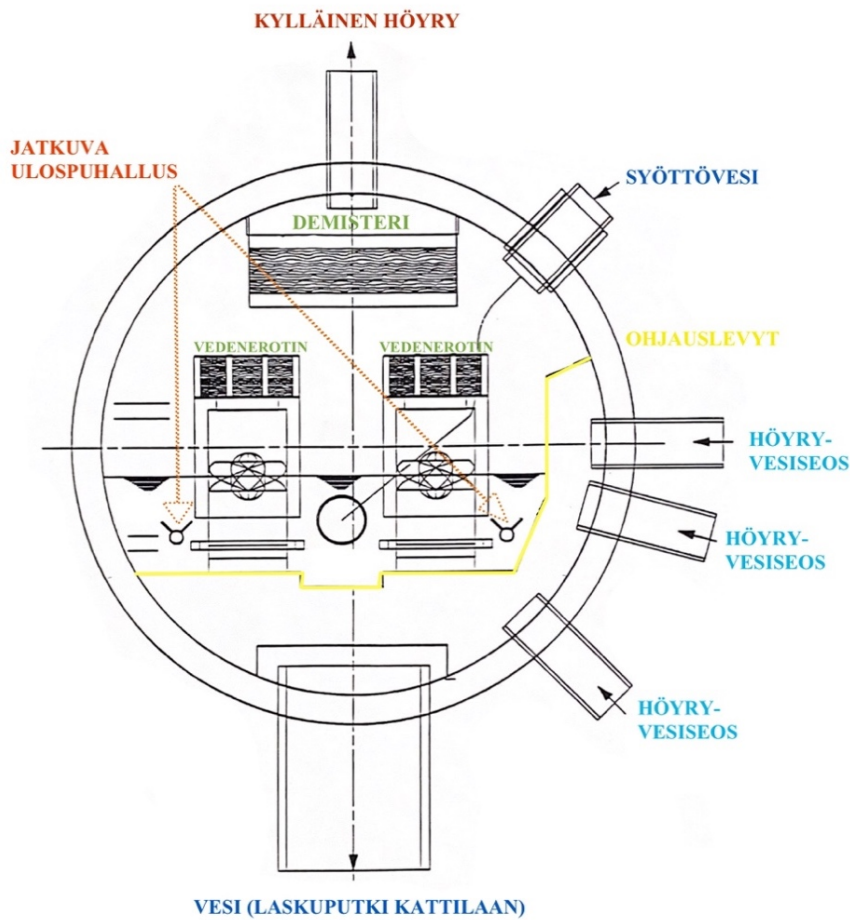
Syöttöveden runkoputki on yhdistetty voimalaitoksen kumpaankin syöttövesipiiriin. Kiertoleijupetikattilan syöttövettä ohjaa kaksi säätöventtiiliä. Säätöventtiili sijaitsee kattilaan menevässä syöttöveden runkolinjassa ja toinen säätöventtiili on haaroitettu runkolinjasta syöttöveden ohituslinjaan. Syöttöveden säätöventtiilien tarkoituksena on ohjata lieriön pinnan korkeutta. Ohituslinja yhdistyy syöttöveden runkolinjaan. Ohituslinjan tehtävänä on taata syöttöveden virtaus kattilaan, mikäli runkolinjassa oleva säätöventtiili vikaantuisi. Kattilaan syötettävän syöttöveden määrää pystytään säätämään säätövalilla 0–100 %. Höyryn ruiskujäähdyttimille syötettävä syöttövesi johdetaan runkolinjasta ennen syöttöveden säätöventtiilejä. Syöttöveden runkoputkeen annostellaan vedenkäsittelykemikaaleja. Annostelu hoidetaan erillisellä annostelukeskuksella. Syöttövesiputkistoon kytkeytyy lisäksi voimalaitoksen lisävesijärjestelmä. Lisävesijärjestelmästä saadaan tarvittava lisävesi kattilan painekokeisiin. (Ahlstrom 1995b, kappale 10.)

4.5.2 Lieriö

Lieriössä erotellaan höyrystinputkissa höyrystynyt kylläinen höyry syöttövedestä. Lieriön vesi sisältää haitallisia suoloja, joita syntyy vedenkäsittelykemikaaleista. Haitalliset suolat poistetaan lieriössä, jotteivät ne kulkeudu tulistimeen. Suolat aiheuttaisivat tulistimen sisäpintoihin ja turbiinin rakenteisiin haitallisia kerrostumia. Lieriöön johdettava höyry-vesiseos on tuotava lieriöön mahdollisimman tasaisesti virtaavana. Tasaisesti virtaavalla höyry-vesiseoksella varmistetaan veden ja höyryn erottuminen lieriössä mahdollisimman hyvin. (Huhtinen ym. 2004, 117.)

Ohjauslevyt takaavat lieriöön tuotavan höyry-vesiseoksen tasaisen virtauksen, joka syötetään lieriön sivu- ja alareunasta. Syöttövesi lieriöön johdetaan viistosti lieriön yläpinnasta. Lieriössä on 32 kappaletta vedenerottimia ja demistereitä eli kosteudenpoistimia. Vedenerottimien ja demisterien avulla höyry ja vesipisarot erottuvat keskipakovoiman vaikutuksesta lieriön sisäpuolella. Demisterin ansiosta ylhäältä poistuvan kylläisen höyryn olomuoto pysyy haluttuna. Lieriön sisällä olevalla jatkuvan ulospuhalluksen

kokoojaputkistolla poistetaan lieriön sisäpintaan kerääntyvät epäpuhtaudet. Syöttövesi johdetaan lieriön alaosaan laskuputkea pitkin kattilaan. (KUVA 8.)



KUVA 8. Lieriön poikkileikkaus (mukailen Ahlstrom 1995c, kappale 6.)

4.5.3 Höyrystin

Höyrystin jaotellaan kattilassa kolmeen jakokammioon. Jakokammioita ovat tulipesän höyrystin, sykloinin höyrystin ja keittopinta. Tulipesän höyrystin koostuu tulipesän seinämissä olevasta putkistosta. Tulipesässä polttoprosessista vapautuva lämpö siirtyy seinämissä oleviin putkistoihin ja höyrystää kattilavettä, joka kulkee putkiston sisäpuolella. Sykloinin höyrystimessä petimateriaaliin sitoutunut lämpö siirtyy sykloinin seinämissä oleviin putkistoihin. Keittopinta sijaitsee I-tulistimen takaosassa. Keittopintaan johdetaan putkisto, jonka sisäpuolella virtaavan kattilaveden lämmittää savukaasuihin sitoutunut lämpö. (Ahlstrom 1995a, kappale 5.)

4.5.4 Tulistimet

Tulistimilla nostatetaan höyryn lämpötilaa ja lämpösisältöä. Lämpötilan ja lämpösisällön noston avulla saadaan höyrymäärästä suurempi teho turbiinissa. Tulistimien rakenne koostuu teräsputkistoista. Tulistimien välissä sijaitsee höyrynjäähdyttimet, joiden avulla pystytään säätämään höyryn loppulämpötila haluttuun lämpötilaan. (Ahlstrom 1995a, kappale 6). Säteilytulistin sijaitsee tulipesän seinämässä ja konvektiotulistimet sijaitsevat kattilan tulipesän jälkeisessä tilassa. Kuvasta 4 ilmenee säteily- ja konvektiotulistimien sijainti Kokkolan Energian kiertoileijupetikattila C5:ssa.

Säteilytulistimiin kohdistuu suoraan tulipesässä polttoprosessista syntyvät liekit. Lämpö siirtyy liekeistä säteilynä tulistimelle, joten lämpö virtaa nopeasti. Konvektiotulistimet ovat suojassa tulipesän liekeiltä. Konvektiotulistimissa lämpö siirtyy konvektion kautta. (Huhtinen ym. 2004, 189–190.) Taulukossa 5 on esitettyä Kokkolan Energian kiertoileijupetikattilan tulistimet ja niiden höyryn lämpötilan nostot.

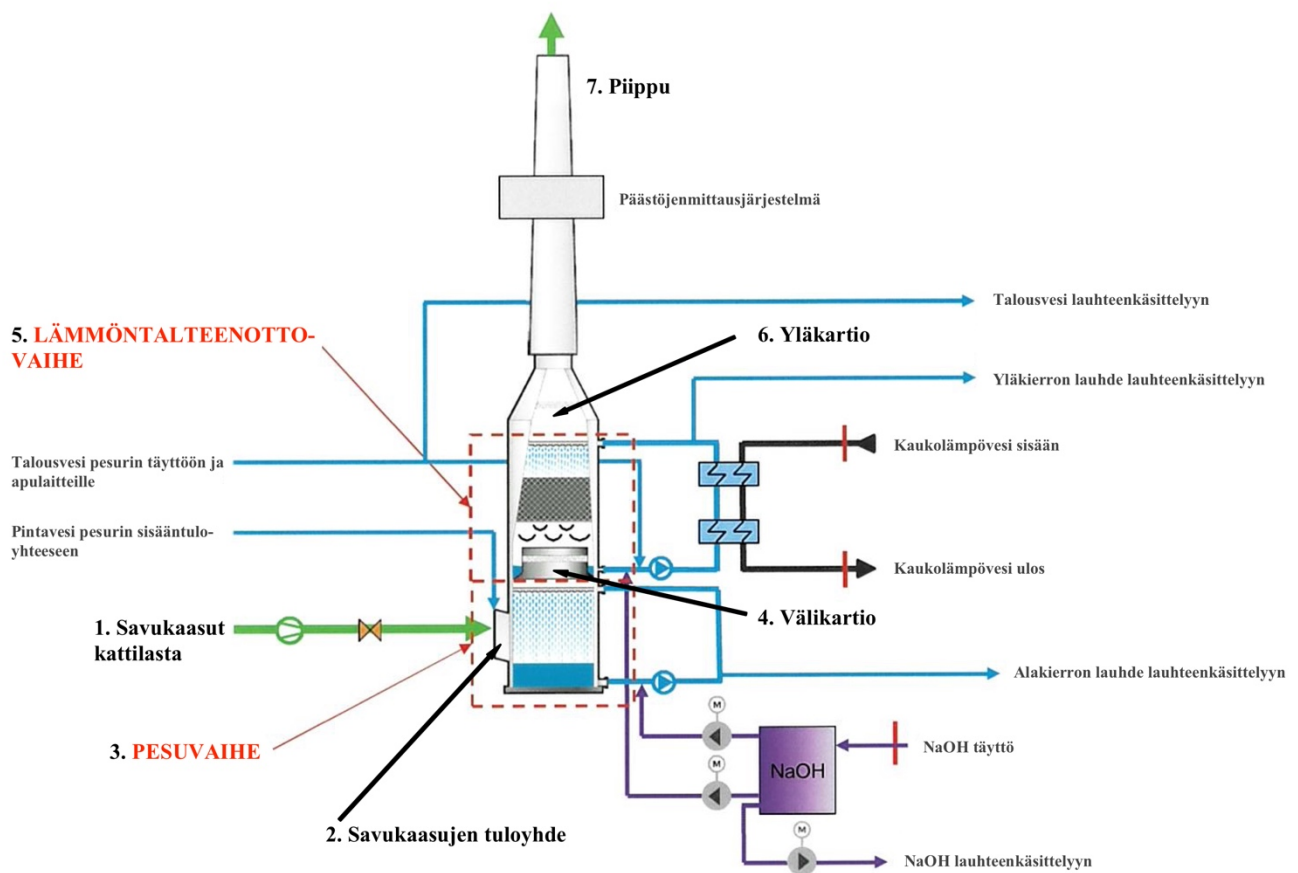
TAULUKKO 5. C5-kiertoileijupetikattilan tulistimet (Ahlstrom 1995a, kappale 6.)

	Alkulämpötila °C	Loppulämpötila °C	Tulistintyyppi
I-TULISTIN	350	370	Konvektio
II-TULISTIN	370	420	Säteily
III-TULISTIN	400	450	Konvektio
IV-TULISTIN	450	510	Konvektio

4.6 Savukaasupesuri

Savukaasupesurilla puhdistetaan kiertoileijupetikattilassa syntyvät savukaasut. Savukaasujen sisältämää lämpöä otetaan talteen lauhduttamalla savukaasujen sisältämä vesihöyry nesteeksi. Savukaasut sisältävät paljon energiaa. Savukaasujen sisältämä energia koostuu vesihöyrystä, jota syntyy kiertoileijupetikattilan polttoprosessista sekä lauhtumattomista savukaasuista. Savukaasunlauhduksella saadaan energiaa talteen ja lämpöä voidaan hyödyntää lisäämällä voimalaitoksen kaukolämmöntuotantoa lisäämättä polttoaineen kulutusta. Savukaasujen pesuvaiheessa savukaasuista poistetaan pöly, mahdollinen rikkidioksidi (SO_2), vetykloridi (HCl) ja savukaasuissa kulkeutunut ns. ammoniakkihiili (NH_3). Savukaasujen sisältämästä pölystä osa peseytyy savukaasupesurissa veden nestesuihkun seurauksena. Rikkidioksidi peseytyy lipeän (NaOH) avulla ja vetykloridi liukenee veteen. Ammoniakkihiilin peseminen vaatii matalan pH-arvon. (Saksa 2020, 7–10.)

Savukaasujen lämmön talteenotto tapahtuu savukaasupesurin yläosassa. Talteen otettu lämpö siirtyy kaasusta kiertonesteeseen savukaasun vesihöyryn lauhtuessa. Kiertonesteeseen sitoutunut lämpö johdetaan levylämmönvaihtimia hyödyntämällä kaukolämpöveeten. Lämmönsiirto tapahtuu savukaasupesurin yläkierrossa. Yläkierrossa kiertoneste on huomattavasti puhtaampaa kuin pesurin alaosassa. (Saksa 2020, 13.) Savukaasupesurilla saadaan energiatehokkuuden lisääntymisen ohella vähennettyä voimalaitoksen savukaasuhäviöitä. Savukaasuhäviöiden vähenemisen seurauksena voimalaitoksen kokonaisyötysuhdetta saadaan kasvatettua. (Saksa 2020, 12.)



KUVA 9. Savukaasujen pesu- ja lauhdutusprosessi (mukaiillen Saksa 2020, 22).

Kuvassa 9 on esitetty savukaasujen pesu- ja lauhdutusprosessi. **Savukaasut kattilasta (1)** saavat savukaasukanavaa pitkin tuloyhteen kautta savukaasupesurin pesuvaiheeseen. **Savukaasujen tuloyhteessä (2)** savukaasujen sekaan suihkutetaan alakierrossa kiertoliuosta, joka koostuu veden ja lipeän

(NaOH) seoksesta. Kiertoliuoksen seurauksena saadaan savukaasut jäähtymään märkälämpötilaan. Märkälämpötilalla tarkoitetaan lämpötilaa, jossa savukaasut jäähtyvät lisättävän kiertoliuoksen seurauksena. Märkälämpötilassa kiertoliuos ja savukaasut ovat tasapainossa. Tuloyhteessä savukaasujen sisältämät happamat kaasut lauhtuvat. (Saksa 2020, 38–43.)

Pesuvaiheessa (3) savukaasut virtaavat nestesuihkun läpi välikartioon. Virtaus tapahtuu alhaalta ylöspäin. Pesurissa syntyvä lauhde johdetaan alakierroon lauhteenkäsittelyyn. Lauhteenkäsittelyssä syntyy puhdasta vettä, joka johdetaan mereen. **Välikartiossa (4)** sijaitsee pisaranerotin. Välikartioon valuu lämmöntalteenottovaiheesta aiheutunut vesi, joka johdetaan lämmönvaihtimelle. (Saksa 2020, 38–43.)

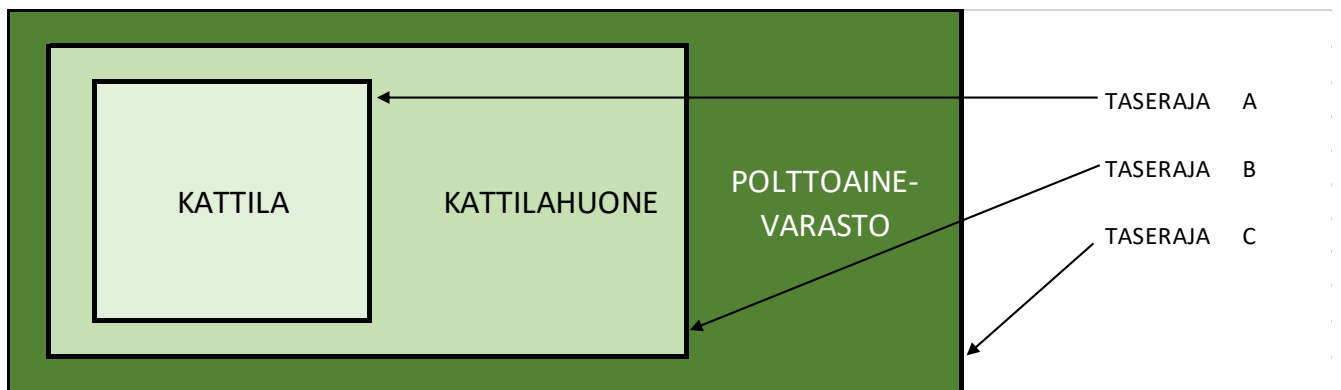
Lämmöntalteenottovaiheessa (5) savukaasut virtaavat täytekappalepedille. Täytekappalepedin tarkoituksena on tarjota suuri pinta-ala nesteen ja kaasun tehokkaalle kohtaamiselle. Täytekappalepedillä savukaasuihin suihkutetaan vettä. Täytekappalepedillä savukaasut lauhtuvat veden avulla. Täytekappalepediltä savukaasut kulkeutuvat yläkartioon. **Yläkartiossa (6)** sijaitsee toinen pisaranerotin. Pisaranerotin tuottama vesi johdetaan kaukolämmönvaihtimiin. **Piipussa (7)** sijaitsevat lauhteenkeräyskourut. Lauhteenkeräyskouruihin muodostuva lauhde johdetaan takaisin pesuriin. Savukaasut kulkeutuvat piipun kautta ulos. (Saksa 2020, 38–43.)

5 KATTILAN HYÖTYSUHTEEN MÄÄRITTÄMINEN

Voimalaitoksen hyötysuhdetta voidaan tarkastella joko (1) suoralla laskentamenetelmällä tai (2) epäsuoralla laskentamenetelmällä. Höyryvoimalaitoksen perusprosessissa hyötysuhde riippuu kattilan jälkeisen höyryn alkutilasta ja loppupaineesta. (Wikstén 2009, 58). Tässä luvussa käydään läpi taserajat, hyötysuhteen laskeminen suoralla menetelmällä ja hyötysuhteen laskeminen epäsuoralla menetelmällä.

5.1 Taseraja

Taseraja määrittelee tarkasti taserajojen yli menevät energiavirrat. Hyötysuhteita laskiessa on määriteltävä alkuun tarkat ja laskennassa muuttumattomat taserajat. Taserajoja ovat kattilan seinät, kattilahuoneen seinät ja kattilahuoneen seinät sekä polttoainevarasto (KUVA 10). (Tolonen 2012, 29.)



KUVA 10. Kattilan taserajat (mukaiillen Tolonen 2012, 29).

5.2 Hyötysuhde suoralla menetelmällä

Kattilan hyötysuhteella tarkoitetaan kaavan 1 mukaisesti kattilasta hyödyksi saadun lämpövirran suhdetta kattilaan tuotuun energiavirtaan.

$$\eta = \frac{Q_{hyöty}}{Q_{tuotu}} \quad (1)$$

jossa η = kattilan hyötysuhde,
 $Q_{hyöty}$ = kattilasta hyödyksi saatu lämpövirta [kW] ja
 Q_{tuotu} = kattilaan tuotu energiavirta [kW].

Kaavan 1 mukaista hyötysuhdetta, joka saadaan mittaamalla kattilasta suoraan saatu hyötylämpövirta sekä kattilaan tuotu energiavirta, sanotaan suoralla menetelmällä määritetyksi hyötysuhteeksi. Hyödyksi saatu lämpövirta tarkoittaa prosessista saatavaa hyödykettä, joka on lämmintä/kuumaa vettä tai höyryä.

Kattilaan tuotu energiavirta voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen, joita ovat

- polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia H_u
- polttoaineen esilämmitykseen sitoutunut energia Q_{pa}
- palamisilman esilämmitykseen sitoutunut energia Q_i

(Huhtinen ym. 2004, 101.)

Useassa tapauksessa hyötysuhteen laskutoimituksissa voidaan riittävällä tarkkuudella käyttää pelkästään polttoaineeseen sitoutunutta kemiallista energiaa H_u . Tällä tavoin menetetään tarkkuudesta hyvin vähän laskennan helpottuessa huomattavasti, sillä polttoaineen ja ilman esilämmityksessä sitoutunut lämpömäärä on erittäin pieni polttoaineen kemialliseen energiaan nähden. Mikäli halutaan huomioida kattilaan tuotu energiavirta kokonaisuudessaan, missä huomioidaan myös muut kattilaan tuodut energiavirrat, voidaan tämä laskea kaavalla 2.

$$Q_{tuotu} = H_u + Q_{muut} \quad (2)$$

jossa Q_{tuotu} = kattilaan tuotu energiavirta [kW],
 H_u = polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia [kW] ja
 Q_{muut} = muut kattilaan tuodut energiavirrat [kW].

Muilla kattilaan tuoduilla energiavirroilla tarkoitetaan esimerkiksi polttoaineen- ja palamisilman esilämmitykseen sitoutunutta energiaa. (Tolonen 2012, 26–27). Tunnettaessa ainevirrat, ominaislämpökapasiteetti ja lämpötilat, voidaan laskea polttoaineen ja palamisilman esilämmityksen mukaan kattilaan tuodut energiavirrat kaavalla 3.

$$Q_i = m_i \cdot c_{p(i)} \cdot (t - t_0) \quad (3)$$

jossa Q_i = ilman polttoaineen esilämmitystä kattilaan tuoma energiavirta [kW],
 m_i = palamisilmavirta [kg/s],
 $c_{p(i)}$ = ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK],
 t = aineen lämpötila kattilaan tullessa [°C] ja
 t_0 = vertailulämpötila [°C].

Tapauksessa, jossa polttoaineen ja ilman lämpötila on sama kuin vertailulämpötila t_0 , on polttoaineen ja palamisilman mukana tuotu energiavirta sama kuin polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia H_u kerrottuna polttoaineen massavirralla. (Huhtinen ym. 2004, 102–103).

5.2.1 Hyödyksi saatu lämpöteho

Kattilaan tuotua energiaa käytetään osittain hyödyksi syöttöveden lämmittämisessä, höyrystymisessä ja tulistamisessa eli tuorehöyryn tuottamiseen ja tämän lisäksi välitulistushöyryn tulistamiseen. Nämä huomioiden voidaan laskea hyödyksi saatavan lämmön määrä kaavoilla 4 ja 5.

$$Q_H = m_{th} \cdot (h_{th} - h_{sv}) \quad (4)$$

$$Q_{VT} = m_{vt} \cdot (h_{jvt} - h_{evt}) \quad (5)$$

jossa Q_H = teho syöttöveden lämmittämiseen, höyrystämiseen ja tulistamiseen [kW],
 Q_{VT} = teho höyryn välitulistukseen [kW],
 m_{th} = tuorehöyryvirta [kg/s],
 h_{th} = tuorehöyryn entalpia [kJ/kg],
 h_{sv} = syöttöveden entalpia [kJ/kg],
 m_{vt} = välitulistushöyryn massavirta [kg/s],
 h_{jvt} = höyryn entalpia välitulistimen jälkeen [kJ/kg] ja
 h_{evt} = höyryn entalpia ennen välitulistusta [kJ/kg].

Kattilatyypistä riippuen tietyissä kattiloissa osa tuodusta energiasta menetetään ulospuhallusveden mukana. Useimmiten kuitenkin käytännön hyötysuhdemittauksissa ulospuhallus pidetään suljettuna. Ulospuhallusveden lämmittämiseen käytetty teho voidaan laskea kaavalla 6.

$$Q_{UP} = m_{UP} \cdot (h_{UP} - h_{sv}) \quad (6)$$

jossa Q_{UP} = ulospuhallukseen sitoutuva lämmitysteho [kW],
 m_{UP} = ulospuhalluksen massavirta [kg/s],
 h_{UP} = ulospuhallusveden entalpia [kJ/kg] ja
 h_{sv} = syöttöveden entalpia [kJ/kg].

Kaavojen 1–6 perusteella saadaan muodostettua hyötysuhteen suoralle menetelmälle kaava 7. (Huhtinen ym. 2004, 103–104).

$$\eta = \frac{Q_H + Q_{VT} + Q_{UP}}{Q_{tuotu} + Q_i} \quad (7)$$

jossa η = kattilan hyötysuhde,

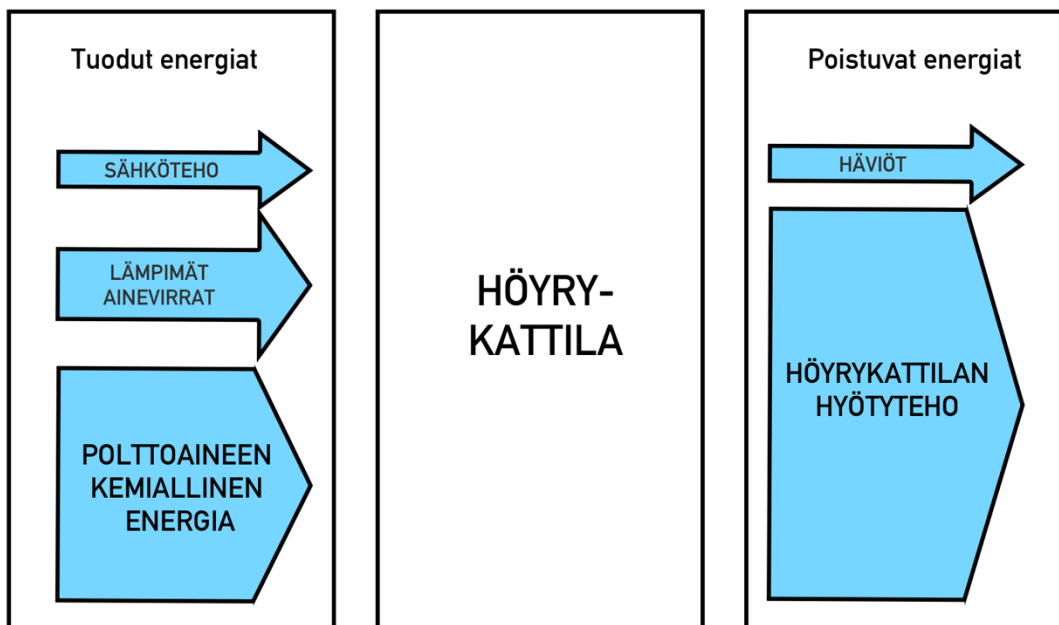
Q_H = teho syöttöveden lämmittämiseen, höyrystämiseen ja tulistamiseen [kW],

Q_{VT} = teho höyryn välitulistukseen [kW],

Q_{UP} = ulospuhallukseen sitoutuva lämmitysteho [kW],

Q_{tuotu} = kattilaan tuotu energiavirta [kW] ja

Q_i = ilman polttoaineen esilämmitystä kattilaan tuoma energiavirta [kW].



KUVA 11. Kattilan energiavirrat hyötysuhteen suoralla menetelmällä (mukaillen Tolonen 2012, 27).

Hyötysuhteen suorassa laskentamenetelmässä tarkastellaan pelkästään kattilasta hyödyksi saatavia energiavirtoja. Useassa tapauksessa suora laskentamenetelmä omaa riittävän tarkkuuden hyötysuhteen määrittämiseen. Suoralla laskentamenetelmällä ei kuitenkaan saada tietoa prosessissa syntyvistä eri häviöistä perusteellisesti, joten kattilan häviöitä ei pystytä suoralla menetelmällä määrittelemään. Mikäli suoralla laskentamenetelmällä saadaan tulokseksi huono hyötysuhde, ei se anna tietoa toimenpiteistä, joilla voitaisiin parantaa hyötysuhdetta. (Huhtinen ym. 2004, 101).

5.3 Hyötysuhde epäsuoralla menetelmällä

Kattilan epäsuorassa laskentamenetelmässä huomioidaan kattilaan tuodut energiavirrat. Tuoduista energiavirroista vähennetään määriteltyjen häviöiden summa kaavan 8 mukaisesti.

$$\eta = \frac{Q_{tuotu} - \Sigma Q_{häviö}}{Q_{tuotu}} \quad (8)$$

jossa η = kattilan hyötysuhde,
 Q_{tuotu} = kattilaan tuotu energiavirta [kW] ja
 $\Sigma Q_{häviö}$ = kattila häviöiden summa [kW].

Epäsuorassa laskentamenetelmässä määritellään kattilan häviöt, joita ovat savukaasuhäviöt (KAAVA 9), palamattomien kiintoaineiden häviöt (KAAVA 10), lämpöhäviöt (KAAVA 11) ja säteilyhäviöt (KAAVA 12). Edellä mainittujen häviöiden lisäksi kattilan hyötysuhteeseen vaikuttaa niin sanotut epäsuorat häviöt, joita ovat käynnistyshäviöt, pysäytyshäviöt ja läpivirtaushäviöt. (Huhtinen ym. 2004, 104–105.) Tässä opinnäytetyön teoriaosuudessa ei käsitellä hyötysuhteeseen vaikuttavia epäsuoria häviöitä.

5.3.1 Savukaasuhäviöt

Savukaasuhäviöt tarkoittavat häviöitä, jotka poistuvat kuumien savukaasujen mukana voimalaitoksen savupiipusta. Kattilan suurimmat häviöt syntyvät yleensä savukaasuhäviöistä. Savukaasuhäviöiden suuruus riippuu savukaasujen loppulämpötilasta ja savukaasujen määrästä. Mahdollisimman pieni savukaasuhäviö saavutetaan poistamalla kattilasta savukaasut mahdollisimman kylminä. Savukaasujen määrään ei pystytä vaikuttamaan kovin paljon ilman, että niiden pienentämisestä seuraa muita haittoja. Kattilaan syötettävän palamisilman määrän tulisi olla mahdollisimman lähellä teoreettista minimiarvoa. Mikäli palamisilman virtaus on teoreettista minimiarvoa suurempi, palamisprosessissa ilman kierrätys kattilan läpi lisää savukaasuvirtausta ja tämän seurauksena savukaasuhäviöitä. Jokainen happimolekyylä ei kuitenkaan löydä itselleen polttoainemolekyylä, joten käytännössä palamisilmaa pitää syöttää aina jonkinlainen ylimäärä suhteessa polttoaineeseen. Voimalaitoskäyttäjien kielellä puhutaan ilma- tai yli-ilmaker-toimesta, joka on suurempi kuin 1. Kattilan lämpöpintojen likaisuus vaikuttaa myös savukaasuhäviöihin. (Huhtinen ym. 2004, 108). Kaavalla 9 voidaan laskea savukaasuhäviöt.

$$q_{savuk} = (1 - q_p) \cdot \frac{m_{sk} \cdot c_{sk} \cdot (t_{sk} - t_o)}{m_{pa} \cdot Q_{tuotu} + Q_{pa} + Q_i} \quad (9)$$

jossa

- q_{savuk} = savukaasuhäviö [kW],
- q_p = savukaasuja muodostamattoman polttoaineen osuus,
- m_{sk} = savukaasun massavirta [kg/s],
- c_{sk} = savukaasun ominaislämpö [kJ/kgK],
- t_{sk} = savukaasun loppulämpötila [°C],
- t_o = vertailulämpötila [°C],
- m_{pa} = polttoaineen massavirta [kg/s],
- Q_{tuotu} = kattilaan tuotu energiavirta [kW],
- Q_{pa} = polttoaineen esilämmitykseen sitoutunut energiavirta [kW] ja
- Q_i = palamisilman esilämmitykseen sitoutunut energiavirta [kW].

5.3.2 Palamattomien kiintoaineiden häviöt

Palamattomien kiintoaineiden häviöt jäävät kattilassa palamatta. Kiintoaineiden häviöt koostuvat lentotuhkasta ja/tai kattilan pohjatuhkasta. Kattilassa palamatta jäänyt polttoaine muodostuu kiintoaineeksi. Pohjatuhkan mukana poistuva palamatta jääneen kiintoaineen aiheuttama häviö voidaan laskea kaavalla 10. (Huhtinen ym. 2004, 106–107).

$$q_{ka} = \frac{m_{pal} \cdot H_t}{m_{pa} \cdot Q_{tuotu} + Q_{pa} + Q_i} \quad (10)$$

jossa

- q_{ka} = palamatta jääneen polttoaineen häviö, kiintoainehäviö [kW],
- m_{pal} = palamatta jäänyt kiintoaineena poistuva polttoaine [kg/s],
- H_t = tuhka, palamattoman polttoaineen lämpöarvo [MJ/kg],
- m_{pa} = polttoaineen massavirta [kg/s],
- Q_{tuotu} = kattilaan tuotu energiavirta [kW],
- Q_{pa} = polttoaineen esilämmitykseen sitoutunut energiavirta [kW] ja
- Q_i = palamisilman esilämmitykseen sitoutunut energiavirta [kW].

5.3.3 Lämpöhäviöt

Savukaasujen lisäksi kattilasta syntyy lämpöhäviöitä tuhkan mukana. Tuhkan mukana syntyvät lämpöhäviöt ovat yleensä pieniä. Tuhkan lämpöhäviön vaikutus kattilan kokonaishyötysuhteeseen on yleensä vähäistä, hiukan samaan tapaan kuin polttoaineen lämpötilan muutoksessa. Tuhkan mukana poistuvat lämpöhäviöt saadaan selville kaavan 11 mukaisesti. (Huhtinen ym. 2004, 108–109.)

$$q_{\text{lämpö}} = \frac{m_t \cdot c_t \cdot (t_t - t_o)}{m_{pa} \cdot Q_{\text{tuotu}} + Q_{pa} + Q_i} \quad (11)$$

jossa

- $q_{\text{lämpö}}$ = tuhkan lämpöhäviö [kW],
- c_t = tuhkan ominaislämpö [kJ/kgK],
- t_t = tuhkan lämpötila [°C],
- t_o = vertailulämpötila [°C],
- m_{pa} = polttoaineen massavirta [kg/s],
- Q_{tuotu} = kattilaan tuotu energiavirta [kW],
- Q_{pa} = polttoaineen esilämmitykseen sitoutunut energiavirta [kW] ja
- Q_i = palamisilman esilämmitykseen sitoutunut energiavirta [kW].

5.3.4 Säteilöhäviöt

Säteilöhäviöt syntyvät kattilan seinästä. Kattilat ovat hyvin lämpöeristettyjä, mutta siitä huolimatta osa kattilan tuottamasta säteilylämmöstä vapautuu säteilöhäviönä ympäristöön. Kattilan lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin kattilahuoneen lämpötila. Suurien kattiloiden suhteelliset säteilöhäviöt ovat suhteellisesti pienemmät kuin pienien kattiloiden. Kattilan koko kasvaa kolmanteen potenssiin verrannollisena pinta-alan kasvaessa vain toiseen potenssiin nähden, joten pinta-alaan suhteessa olevat säteilöhäviöt kattilasta pienenevät suhteellisesti ottaen kattilan koon kasvaessa. Tämä on yksi syy siihen, että kattilat ovat voimalaitoksissa usein todella suuria. Kattiloiden lämpöhäviö vaihtelee 1,6–0,2 % välillä, riippuen kattilatehosta ja käytössä olevasta polttoaineesta. Säteilöhäviöt voidaan laskea kaavalla 12, mikäli tiedetään kattilan lämmönsiirtopinta-alat, lämpötilat sekä lämmönsiirtokerroimet. (Huhtinen ym. 2004, 110).

$$q_{\text{säteily}} = (a_k + a_r) \cdot A \cdot (t_s - t_y) \quad (12)$$

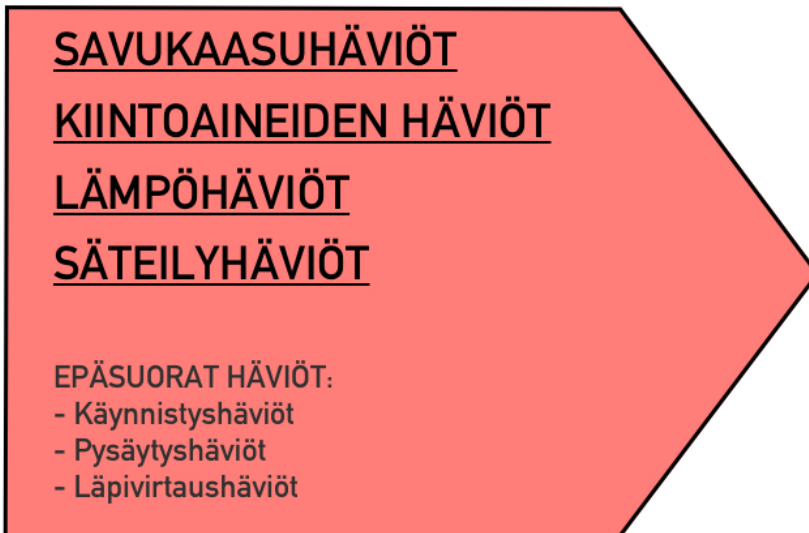
jossa $q_{\text{säteily}}$ = säteilyhäviö [kW],
 a_k = konvektiivinen lämmönsiirtokerroin [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$],
 a_r = säteilyn lämmönsiirtokerroin [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$],
 A = kattilan ulkoseinän pinta-ala [m^2],
 t_s = kattilan ulkoseinän lämpötila [$^{\circ}\text{C}$] ja
 t_y = ympäristön (kattilahuoneen) lämpötila [$^{\circ}\text{C}$].

5.3.5 Hyötysuhde

Kaavojen 8–12 perusteella saadaan määriteltyä hyötysuhteen epäsuoralle menetelmälle laskentakaava 13.

$$\eta = \frac{Q_{\text{tuotu}} - (q_{\text{savuk}} + q_{\text{ka}} + q_{\text{lämpö}} + q_{\text{säteily}})}{Q_{\text{tuotu}}} \quad (13)$$

jossa η = kattilan hyötysuhde,
 Q_{tuotu} = kattilaan tuotu energiavirta [kW],
 q_{savuk} = savukaasuhäviö [kW],
 q_{ka} = palamatta jääneen polttoaineen häviö, kiintoainehäviö [kW],
 $q_{\text{lämpö}}$ = tuhkan lämpöhäviö [kW] ja
 $q_{\text{säteily}}$ = säteilyhäviö [kW].



KUVA 12. Hyötysuhteeseen vaikuttavat häviöt (Huhtinen ym. 2004, 104–105).

Hyötysuhteen epäsuoran laskentamenetelmän hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että prosessista ilmenee helposti häviöt (KUVA 12), kun hyötysuhde määritellään häviöiden kautta. Epäsuora laskentamenetelmä vaatii huomattavasti erilaista tietoa prosessin eri vaiheista suoraan laskentamenetelmään nähden. Epäsuora laskentamenetelmä antaa hyvän kuvan tarvittavista toimenpiteistä, joilla pystytään parantamaan hyötysuhdetta. (Huhtinen ym. 2004, 104.)

6 KOKKOLAN ENERGIA: KIERTOLEIJUPETIKATTILA C5

Luku 6 käsittelee tämän opinnäytetyön toiminnallista osuutta. Luvussa käydään läpi kiertoleijupetikattilan teknisiä tietoja ja tarkastellaan kattilan energiatehokkuutta hyötysuhdelaskelmien kautta.

6.1 Kattilan tekniset tiedot

Taulukosta 6 ilmenevät Kokkolan Energian kiertoleijupetikattila C5:n keskeisimmät tekniset tiedot.

TAULUKKO 6. C5-kiertoleijupetikattilan tekniset tiedot (Ahlstrom 1995a, kappale 2.)

KOKKOLAN ENERGIAN POWER -VOIMALAITOS	
KIERTOLEIJUPETIKATTILA C5	
Toimittaja:	A. Ahlstrom Corporation, Ahlstrom Boilers, Varkaus
Malli:	Pyroflow Compact
Toimitusvuosi:	1994
Polttoaine:	Turve
Polttoainetehto:	108 MW
Tuorehöyryvirta:	33+17 kg/s
Tulistetun höyryn lämpötila:	510 °C
Tulistetun höyryn paine:	61 bar
Omakäyttösähkön kulutus:	940 kW

Kiertoleijupetikattilan tuorehöyryvirtaus kokonaisuudessaan on 50 kg/s, kun polttoaineena käytetään kattilassa pääsääntöisesti käytettävää turvetta polttoaineena. Kattilan maksimihöyrystymisteho on 33 kg/s ja kattilassa tulistetaan lisäksi sinkkitehtaan (Boliden Kokkola) tuottamaa prosessihöyryä 17 kg/s. Tulistetun höyryn lämpötila viimeisen tulistajan jälkeen on 510 °C ja tulistetun höyryn paine 50 kg/s tuorehöyryvirralla on 61 bar. Omakäyttösähkön kulutuksessa huomioidaan niin sanotut kattilalaitteet. Kattilalaitteiksi määritellään polttoaineen syöttölaitteet, pohjatuhkakuljettimet ja ilmapuhaltimet. (Ahlstrom 1995a, kappale 2.)

6.2 Kattilan hyötysuhde

Kiertoleijupetikattila C5:n hyötysuhdetta laskiessa täytyy huomioida laskentamenetelmä, analysoida luotettava mittausmenetelmä, huomioida millaisella teholla voimalaitoksen prosessia ajetaan ja määritellä yksikäsitteinen taseraja.

6.2.1 Lähtötiedot

Kattilan hyötysuhde lasketaan suoralla laskentamenetelmällä. Tässä tapauksessa suora laskentamenetelmä antaa riittävän tarkkuuden hyötysuhteen määrittämiselle. Häviöistä huomioidaan erikseen jatkuvan ulospuhalluksen aiheuttamat häviöt. Jatkuvan ulospuhalluksen häviöt ovat opinnäytetyön tavoitteen kannalta olennaista laskea.

Suoran laskentamenetelmän lähtötietojen hankkimiseen hyödynsin Kokkolan Energian automaatiokuvia. Automaatiokuvissa lukuarvot ovat prosessissa sijaitsevien mittalaitteiden tuottamia lukuarvoja. Automaatiokuvien lukuarvot ovat tarpeeksi luotettavia hyötysuhteen laskemiselle, kun oletetaan, että ne ovat riittävän tarkasti ajasta riippumattomia. Voimalaitoksen operaattorit hallinnoivat kyseisen automaatiojärjestelmän avulla koko voimalaitoksen prosessia. Automaatiokuvat ovat Kokkolan Energian digitaalisesta arkistosta. Laitosvierailuni yhteydessä kiertoileijupetikattila C5:lla suoritettiin huoltoseisokkia ja kattila oli alas ajettuna. Kattilan hyötysuhdetta määritellessäni käytin lähteenä automaatiokuvien lukuarvoja, jotka ovat päivätty 22.11.2019, klo 15:59. (Similä 2021.) Kyseisenä ajankohtana voimalaitoksen sähköteho tavoitteeksi oli asetettu 18,3 MW ja nettoteho oli 18,4 MW. (C5 kattila). Hyötysuhteen laskemista varten asetin taserajaksi kattilahuoneen (KUVA 10.) Hyötysuhteen laskennassa huomioidaan pelkästään kattilahuoneessa kulkevat energiavirrat.

6.2.2 Tuodut energiavirrat

Tuoduissa energiavirroissa huomioidaan polttoaineen- ja palamisilman esilämmitykseen sitoutunut energia. Lisäksi huomioidaan myös sinkkitehtaalta (Boliden Kokkola) tuotetun prosessihöyryn energiavirta. Palamisilmaan sitoutunut energia huomioidaan primääri- ja sekundääri ilmasta. Primääri- ja sekundääri ilmaan sitoutunut energia lasketaan kaavalla 3.

Primääri-ilman virtaus on 15,79 kg/s, primääri-ilman lämpötila kattilaan tullessa 183 °C ja vertailulämpötila 28 °C. (C5 kattila). Ilman ominaislämpökapasiteettina käytetään lämpötilojen keskiarvon lukuarvoa 1,009 kJ/kgK. Joka on likiarvo koska ominaislämpökapasiteetti ei ole täysin lineaarinen funktio.

$$Q_{i(pri)} = 15,79 \text{ kg/s} \cdot 1,009 \text{ kJ/kgK} \cdot (183^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}) = 2469,48 \text{ kW} = \mathbf{2,47 \text{ MW}} \quad (14)$$

Sekundääri-ilman virtaus on 19,02 kg/s, aineen lämpötila kattilaan tullessa 183 °C ja vertailulämpötila 29 °C. (C5 kattila).

$$Q_{i(sek)} = 19,02 \text{ kg/s} \cdot 1,009 \text{ kJ/kgK} \cdot (183^\circ\text{C} - 29^\circ\text{C}) = 2955,44 \text{ kW} = \mathbf{2,96 \text{ MW}} \quad (15)$$

Sinkkitehtaalta tulevan kylläisen höyryn lämpötila ennen kattilaa on 276 °C, paine 61,3 bar ja massavirtaus 11,2 kg/s. Kattilassa kylläinen höyry tulistetaan loppulämpötilaan 510 °C. (C5 kattila). H_s -piirroksista saadaan höyryn entalpiaksi tulistuksen jälkeen 3450 kJ/kg. TVL: Entalpia laskurilla lukuarvo saadaan tarkemmaksi 3447 kJ/kg. Ennen tulistusta höyryn entalpiaksi saadaan 2771 kJ/kg. (TVL). Sinkkitehtaalta tulevaan höyryyn sitoutunut energia voidaan laskea kaavalla 5.

$$Q_{zn} = 11,2 \text{ kg/s} \cdot \left(3447 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2771 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 7571,2 \text{ kW} = \mathbf{7,57 \text{ MW}} \quad (16)$$

Polttoaineeseen sitoutuneen kemiallisen energian (H_u) määrä ilmenee Kokkolan Energian automaatiokuvasta. Automaatiokuvan lukuarvo on laskennallinen arvio. Polttoaineeseen sitoutuneen energian määrä automaatiokuvan mukaan on **99 MW** (C5 turpeen käsittely).

6.2.3 Hyödyksi saatu lämpöteho

Lasketaan syöttöveden lämmittämiseen, höyryttämiseen ja tulistamiseen menevä teho kaavalla 4. Tuorehöyryvirtaus on 38 kg/s, paine 59 bar ja lämpötila 510 °C. (C5 kattila). Tuorehöyryn entalpia on 3447 kJ/kg (TVL). Syöttöveden virtausnopeus on 27,5 kg/s. Syöttöveden lämpötila sen saapuessa kattilaan on 191 °C ja paine 87 bar. Syöttöveden entalpiaksi saadaan TVL: Entalpia laskurilla 812 kJ/kg.

$$Q_{TH} = 38 \text{ kg/s} \cdot \left(3447 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 812 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 100130 \text{ kW} = \mathbf{100,1 \text{ MW}} \quad (17)$$

Ulospuhallusveden massavirtaus on 0,55 kg/s ja lieriön paine on 65 bar. (C5 kattila). Ulospuhallusveden entalpiaksi saadaan TVL: Entalpia laskurilla 1246 kJ/kg. (TVL). Lasketaan ulospuhallukseen sitoutuva lämmitysteho kaavalla 6.

$$Q_{UP} = 0,55 \text{ kg/s} \cdot \left(1246 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 812 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 238,7 \text{ kW} = \mathbf{0,24 \text{ MW}} \quad (18)$$

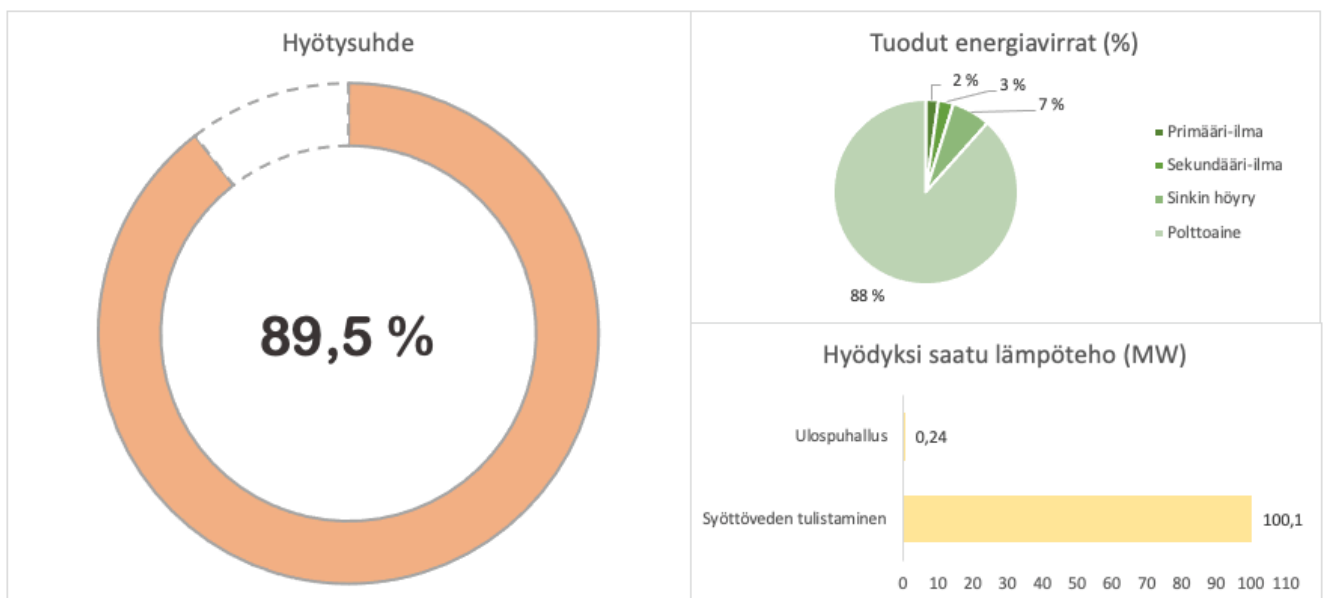
Laskentakaavojen 14–18 tulosten perusteella saadaan laskettua kattilan hyötysuhde kaavalla 7. Kattilan hyötysuhteen kaavan asettelu ilmenee kaavasta 19.

$$\eta = \frac{Q_{TH} + Q_{UP}}{Q_{i(pri)} + Q_{i(sek)} + Q_{zn} + H_u} \quad (19)$$

Kiertoleijupetikattila C5:n hyötysuhde lasketaan kaavalla 20.

$$\eta = \frac{100,1 \text{ MW} + 0,24 \text{ MW}}{2,47 \text{ MW} + 2,96 \text{ MW} + 7,57 \text{ MW} + 99 \text{ MW}} = 0,895 = \mathbf{89,5 \%} \quad (20)$$

Kiertoleijupetikattila C5:n hyötysuhteeksi saadaan 89,5 %. Hyötysuhteen tulos on hyvä. Tyypillisen turvepölykattilan hyötysuhde on 88 %. (Huhtinen ym. 2004, 104). Kuvasta 13 nähdään kierteleijupetikattila C5:seen tuotujen energiavirtojen prosentuaalinen osuus.



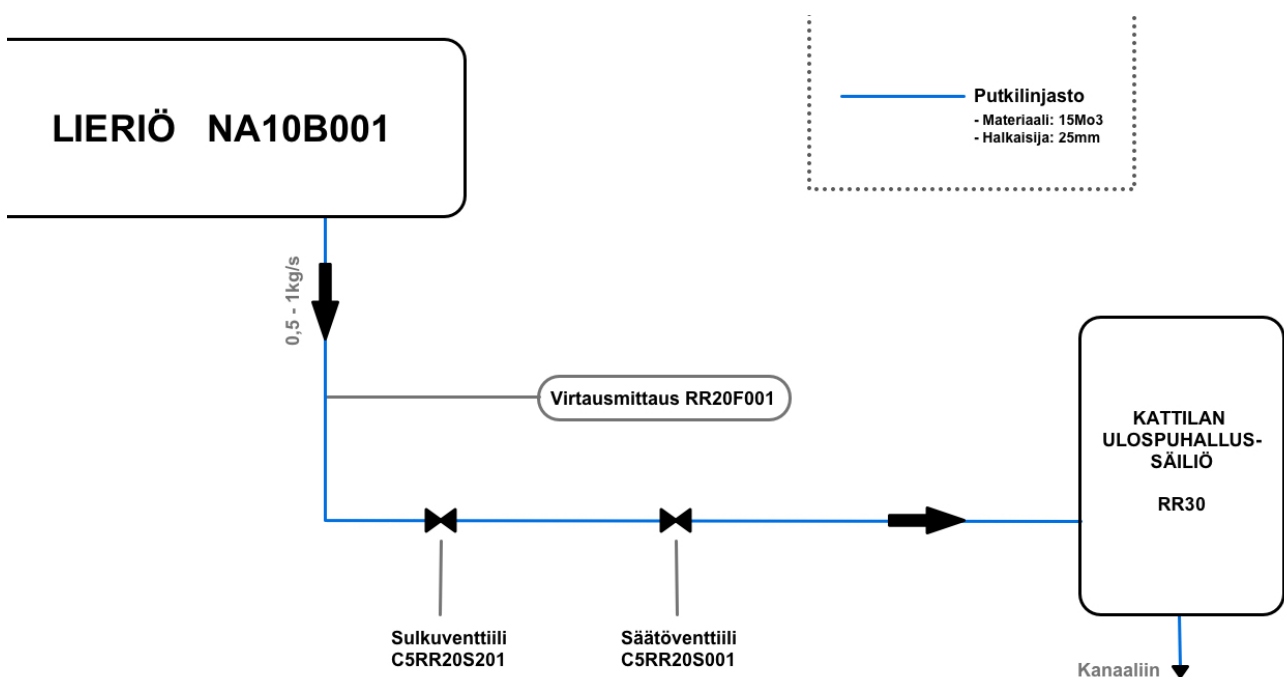
KUVA 13. Hyötysuhde laskennan yhteenveto

7 KOKKOLAN ENERGIA: KIERTOLEIJUPETIKATTILA C5:N JATKUVAN ULOSPUHAL- LUKSEN ENERGIAN JA VEDEN HYÖDYNTÄMINEN

Luvussa käydään läpi kierto-leijupetikattila C5:n jatkuvan ulospuhalluksen entalpian hyödyntämistä. Aluksi tarkkaillaan nykytilannetta, minkä jälkeen esitetään vaihtoehtoja jatkuvan ulospuhalluksen hyödyntämiseen.

7.1 Nykyinen tilanne

Syöttövesisäiliöiden ja muiden kulutuskohteiden ollessa täynnä vesi/höyry energiaa johdetaan lieriössä oleva ylimääräinen veden ja höyryn sisältämä energia säätöventtiilin kautta ulospuhalluksena ulos. Kattilan höyrystin tuottaa noin 3 % ulospuhallusvettä syöttöveden määrästä. Ulospuhalluksen virtaus on 0,5–1 kg/s. (Similä 2021.) Ulospuhalletun syöttöveden lämpötila vastaa lieriössä olevaa veden lämpötilaa. Ulospuhalletun veden lämpötila on noin 250 °C. (C5 kattila). Kuvasta 14 ilmenee ulospuhallus energian kulku ja putkistossa olevat toimilaitteet. Ulospuhallussäiliöstä vesi johdetaan häviönä kanaaliin (KUVA 14).



KUVA 14. Jatkuvan ulospuhalluksen PI-kaavio (mukailten IVO International Oy, 1995a)

Vesihöyrytaulukon perusteella ulospuhallusveden entalpian suuruus on 1085 kJ/kg. Ulospuhallusenergiassa olevan kylläisen höyryn entalpia on 2800 kJ/kg. Ulospuhalluksen aiheuttamia häviöiden suuruus voidaan laskea kaavalla 21.

$$Q = h \cdot m \quad (21)$$

jossa Q = energiasisältö sekunnissa (kJ/s),
 h = veden tai kylläisen höyryn entalpia [kJ/kg] ja
 m = ulospuhallusveden massavirta (kg/s).

Kaavasta 22 ilmenee ulospuhallus energian sisältämän veden energiasisällön suuruus, kun ulospuhalluksen virtaus on 0,55 kg/s. (C5 kattila).

$$Q = 1085 \text{ kJ/kg} \cdot 0,55 \text{ kg/s} = 596,75 \text{ kJ/s} = \mathbf{596,75 \text{ kW}} \quad (22)$$

Tehon yksikkö J/s voidaan ilmaista myös yksiköllä W ja sen kerrannaisina. Kertomalla wattimäärä (W) yhden tunnin sekunneilla saadaan yksiköksi energian yksikkö wattitunti (Wh). (Mäkelä, Soinen, Tuomola & Öistämö 2013, 111). Taulukosta 7 ilmenee ulospuhalluksen aiheuttamien häviöiden suuruus eri ajanjaksoilla tarkasteltuna. Laskut ovat laskettu arvoilla, jossa massavirtaus = 0,55 kg/s, veden entalpia = 1085 kJ/kg ja höyryn entalpia = 2800 kJ/kg.

TAULUKKO 7. Jatkuvan ulospuhalluksen häviöt

Kiertoleijupetikattila C5			
Jatkuvan ulospuhalluksen häviöt			
Aikajakso	Veden energiasisältö (MWh)	Höyryn energiasisältö (MWh)	Energiasisältö yhteensä (MWh)
Tunnissa	2,15	5,54	7,7
Vuorokaudessa	51,6	132,96	184,6
Kuukaudessa	1548	3988,8	5537
Vuodessa (*)	12384	31910,4	44294

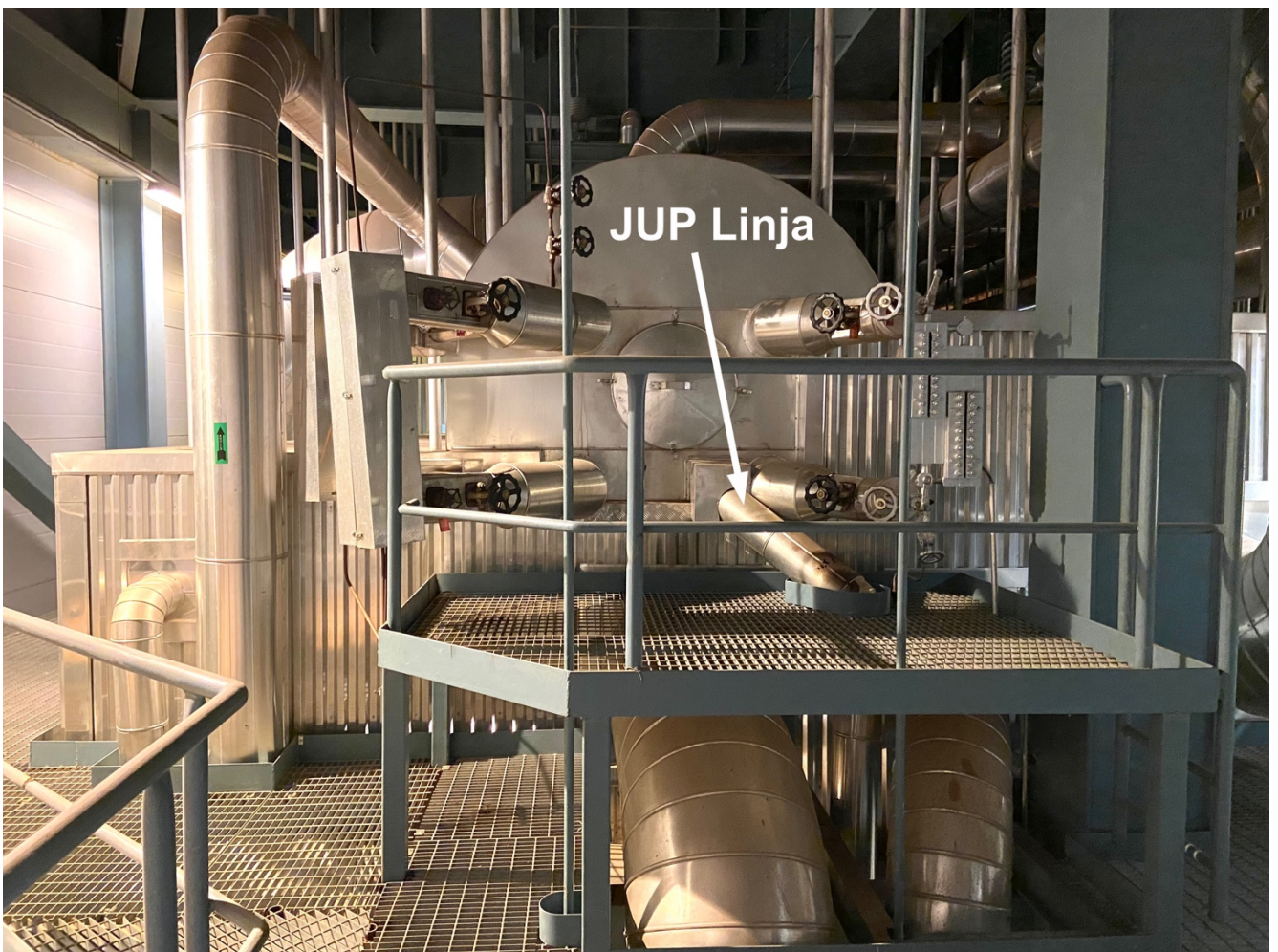
* Kattilan vuosittainen käynnissäoloaika 8 kuukautta

Jos kaukolämpöä myydään esimerkiksi 44 €/MWh (alv.0 %) hinnalla, on ulospuhalluksen energiahäviön taloudellinen potentiaali 44294 MWh · 44 €/MWh = **1 948 936 €** eli lähes kaksi miljoonaa euroa vuodessa. (Kokkolan Energia Oy 2021b).

7.1.1 Kokoonpano kattilahuoneessa

Tutustuin kiertoleijupetikattilan C5 rakenteeseen laitosvierailun avulla. Laitosvierailu suoritettiin yhdessä vuoromestari Oskari Soinin opastuksella. Laitosvierailun tavoitteena oli selvittää jatkuvan ulospuhalluksen putkistojen sekä toimilaitteiden todelliset sijainnit ja etäisyydet kattilahuoneessa. Pelkäämään PI-kaavioita tarkastelemalla etäisyyksiä ei pystytä selkeästi hahmottamaan.

Kattilahuoneen kerroksien korkeudet ilmoitetaan merenpinnan korkeuden mukaan. Yksikkönä korkeuden ilmoituksessa käytetään metriä. Kattilahuoneen alin taso sijaitsee korkeudessa +2,8 m. Lieriö sijaitsee kattilahuoneen yläosassa korkeudessa +33,7 m. Lieriöstä lähtevä jatkuvan ulospuhalluksen putkilinjasto alkaa kattilan etuosasta katsottuna lieriön takaosasta. (Soini 2021.) Kuvasta 15 ilmenee koteloitu lieriö ja jatkuvan ulospuhalluksen putkilinjaston lähtö lieriöstä.



KUVA 15. Lieriö ja putkilinjasto

Jatkuvan ulospuhalluksen putkilinjaston ensimmäinen kattilahuoneen kerroksia koskeva läpivienti sijaitsee korkeudessa +33,7 m. Läpiviennin jälkeen, alemmalla kerroksella (korkeudella +28,2 m) jatkuvan ulospuhalluksen putkilinjasto kulkeutuu vaakasuorassa kiertoileijupetikattilan takaseinämän läheisyydessä. Kattilahuoneen toisessa päässä jatkuvan ulospuhalluksen putkilinjaston suunta vaihtuu pystysuoraan. (Soini 2021.) Pystysuorassa jatkuvan ulospuhalluksen putkilinjasto kulkeutuu toiseen kerroksen väliseen läpivientiin (KUVA 16.)



KUVA 16. JUP-putkilinja vaakasuorassa ja toinen läpivienti korkeudessa +28,2 m

Jatkuvan ulospuhalluksen putkilinjasto kulkee pystysuorassa toisen läpiviennin jälkeen useamman kattilahuoneen kerroksen lävitse alempiin kerroksiin. Putkilinjasto kulkee korkeudesta +28,2 m korkeuteen +7,1 m. Korkeudessa +7,1 m sijaitsevat jatkuvan ulospuhalluksen putkilinjaston sulku- ja säätöventtiilit. Kuvassa 17 näkyvät jatkuvan ulospuhalluksen sulkuventtiili C5RR20S201 ja säätöventtiili C5RR20S001.



KUVA 17. JUP-putkilinjan venttiilit

Sulku- ja säätöventtiilien jälkeen jatkuva ulospuhallus johdetaan kattilan ulospuhallussäiliöön. Ulospuhallussäiliö sijaitsee kattilahuoneen alimmassa kerroksessa, korkeudessa +2,8 m. Kuvassa 18 on kattilan ulospuhallussäiliö, jonka alaosasta lähtevä putki johtaa ulospuhallusenergian kanaaliin. (Soini 2021.) Jatkuvan ulospuhalluksen putkilinjaston pituus kattilahuoneessa on tällä hetkellä kokonaisuudessaan noin 50 metriä. Jatkuvan ulospuhalluksen putkilinja ja kaikki putkilinjaan liittyvät toimilaitteet sekä komponentit sijaitsevat C5-kiertoleijupetikattilan kattilahuoneessa.



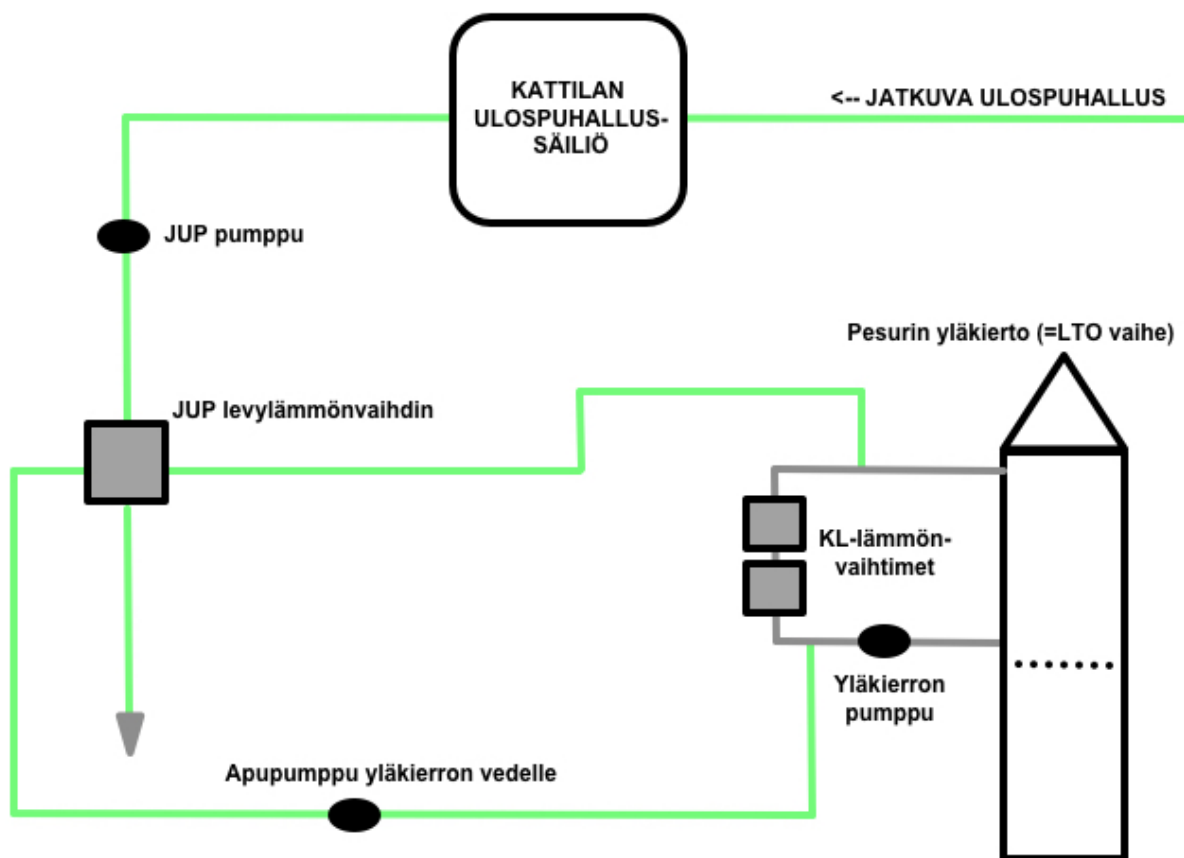
KUVA 18. Kattilan ulospuhallussäiliö

7.2 Vaihtoehto A: Savukaasupesuri

Kuvaus

Jatkuva ulospuhallusenergia johdettaisiin savukaasupesurin lämmöntalteenottovaiheen vesikiertoon. Jatkuvan ulospuhallusenergian tulolämpötila olisi suurempi kuin savukaasupesurin lämmöntalteenottovaiheen vesikierron lämpötila. Jatkuvan ulospuhalluksenenergia saataisiin johdettua savukaasupesurin yläkiertoon levylämmönvaihtimen avulla. Levylämmönvaihdin lämmittäisi kaukolämpövedtä. (Saksa 2021.)

Layout



KUVA 19. Savukaasupesuri Layout (mukaillen Saksa 2021)

Jatkuva ulospuhalluksen sisältämä energia hyödynnettäisiin savukaasupesurin yläkiertoon. Savukaasupesurin yläkierrosta otettaisiin pieni sivuvirta, yläkierron pumpun jälkeen JUP-levylämmönvaihtimelle. JUP-levylämmönvaihtimen toisella puolella virtaisi jatkuvan ulospuhalluksen höyry/vesi energia. Sivuvirta palautettaisiin yläkiertoon savukaasupesurin kaukolämmönvaihtimien jälkeiseen putkilinjaan. (KUVA 19)

Vaatimukset

Vaihtoehdon toteutus vaatisi JUP-levylämmönvaihtimen, uutta putkilinjastoa ja pumpun (apupumppu yläkierron vedelle tai JUP-pumpun). Pumpun valintaan vaikuttaa painetaso ja painehäviöt. Jatkuvan ulospuhalluksen energian johdattaminen tarvitsee painetta JUP-levylämmönvaihtimen painehäviön ja putkistohäviöiden verran. Mikäli painetaso on liian matala, vaatii toteutus JUP-pumpun. Yläkierrosta otettavan sivuvirran paine tulisi olla sama tai suurempi kuin savukaasupesurin yläkierrossa oleva paine. Yläkierron apupumpulla saataisiin painetaso asetettua savukaasupesurin yläkierrossa olevaan virtaukseen sopivaksi. (KUVA 19) Mikäli sivuvirran määrää haluttaisiin säätää, voitaisiin se toteuttaa esimerkiksi taajuusmuuttajalla tai säätöventtiilillä. (Saksa 2021.)

Toteutuksen vaativuus

Savukaasupesurin koko prosessi sijaitsee erillisessä rakennuksessa. Rakennus sijaitsee kiertoleijupetikattila C5:n välittömässä läheisyydessä. C5-kiertoleijupetikattilan kattilahuoneesta johdetaan jo putkilinjastoja putkisiltoja pitkin savukaasupesurin rakennukseen. Kyseisiä putkisiltoja voitaisiin hyödyntää toteutuksessa. JUP-levylämmönvaihdin, -pumppu ja yläkierron apupumppu kannattaisi sijoittaa savukaasupesuri rakennukseen. Lyhyiden etäisyyksien kannalta toteutus olisi suhteellisen helppo tehdä. (Soini 2021.)

Hyödyt ja haitat

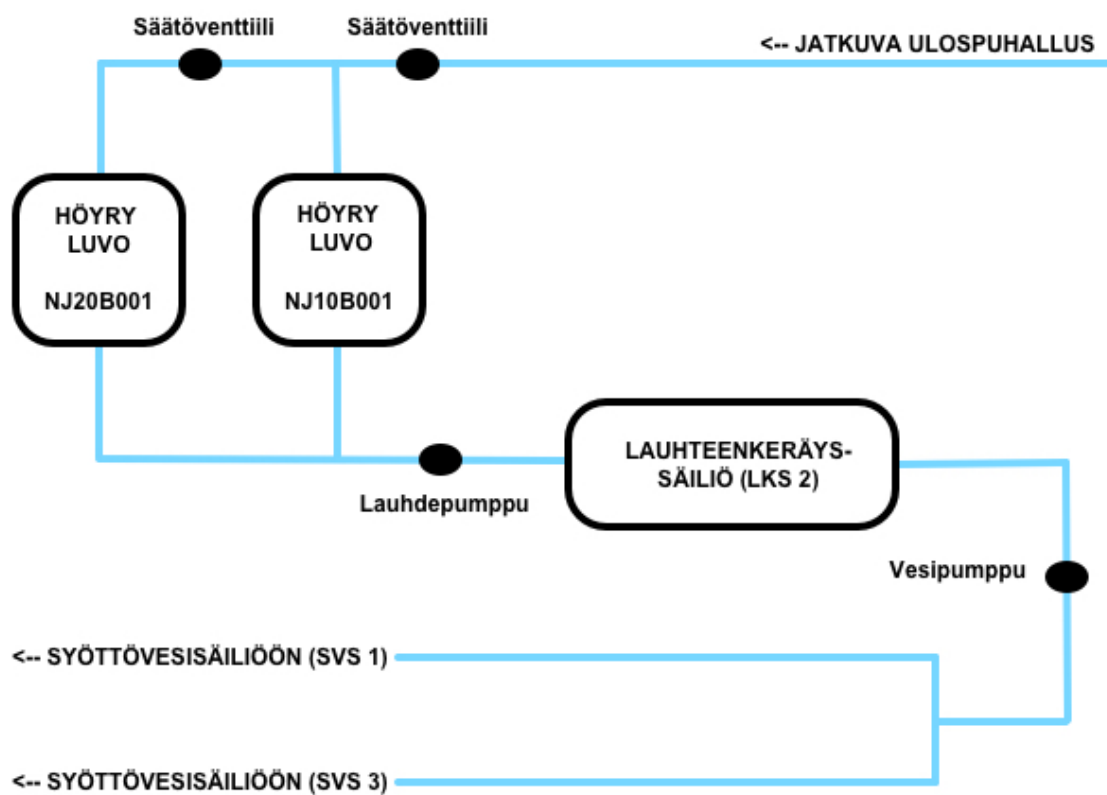
Toteutus olisi suhteellisen helppo tehdä. Jatkuvan ulospuhalluksenenergiasta saataisiin kuitenkin hyödynnettyä pelkästään höyryn sisältämä energia. Kannattavuutta ajatellen haittapuolena voidaan pitää kiertovirtauksia. Savukaasupesurin kiertovirtaus on huomattavasti suurempi kuin jatkuvan ulospuhalluksen kiertovirtaus. Lisäksi jatkuvan ulospuhallusenergian lämpöä ei välttämättä aina saada otettua savukaasupesurilla talteen. (Saksa 2021.)

7.3 Vaihtoehto B: Höyry LUVO

Kuvaus

Jatkuvan ulospuhalluksen energia johdettaisiin palamisilman höyryluvoille. Höyryluvoilla lämmitetään kattilaan syötettävää polttoilmaa matalapaineisella höyryllä. (Ahlstrom 1995a, kappale 9). Höyryluvoissa ulospuhallus energian sisältämä höyry lämmittäisi polttoilmaa ja vesi johdettaisiin lauhteenkeräyssäiliöön (LKS 2). Lauhteenkeräyssäiliöstä vesi kulkeutuu syöttövesisäiliöön.

Layout



KUVA 20. Höyry LUVO Layout (mukailten IVO International Oy, 1995b)

Jatkuva ulospuhallusenergia johdettaisiin säätöventtiilien kautta höyryluvoille. Höyryluvo NJ20B001 esilämmittää primääri-ilmaa ja höyryluvo NJ10B001 esilämmittää sekundääri-ilmaa. Lauhdepumpulla pumpattaisiin höyryluvoilla syntyvä vesi lauhteenkeräyssäiliöön. Lauhteenkeräyssäiliöstä vesi pumpattaisiin syöttövesisäiliöihin SVS 1 ja SVS 3. (KUVA 20). Syttövesisäiliöistä vesi lähtisi voimalaitoksen vesikiertoon.

Vaatimukset

Vaihtoehdon toteutus vaatisi uutta putkilinjastoa ja säätöventtiilit. Putkilinjaston materiaali, koko, virtaus ja kulkukanavat tulisi suunnitella ennakkoon. Säätöventtiilien osalta pitäisi valita oikean tyyppiset säätöventtiilit tähän käyttökohteeseen.

Toteutuksen vaativuus

Höyryluvot sijaitsevat kiertoleijupetikattila C5:n kattilahuoneessa. Höyryluvojen yläosa sijaitsee korkeudessa +12,9 m. Kohtalaisen pienillä putkistomuutoksilla saataisiin johdettua jatkuvan ulospuhalluksen energia höyryluvoille kattilahuoneen sisäpuolella. Höyryluvojen lauhteet kulkeutuvat nykyään lauhdepumpun avulla lauhteenkeräyssäiliöön (LKS 2), joten tähän putkilinjastoon ei tarvitsisi tehdä muutoksia. Kuvasta 21 nähdään höyryluvojen yläosat ja lauhteenkeräyssäiliö (LKS 2). Lauhteenkeräyssäiliö (LKS 2) sijaitsee turbiinisalin alaosassa, suhteellisen kaukana kiertoleijupetikattila C5:sen kattilahuoneesta. (Soini 2021.)



KUVA 21. Höyryluvot ja lauhteenkeräyssäiliö

Hyödyt ja haitat

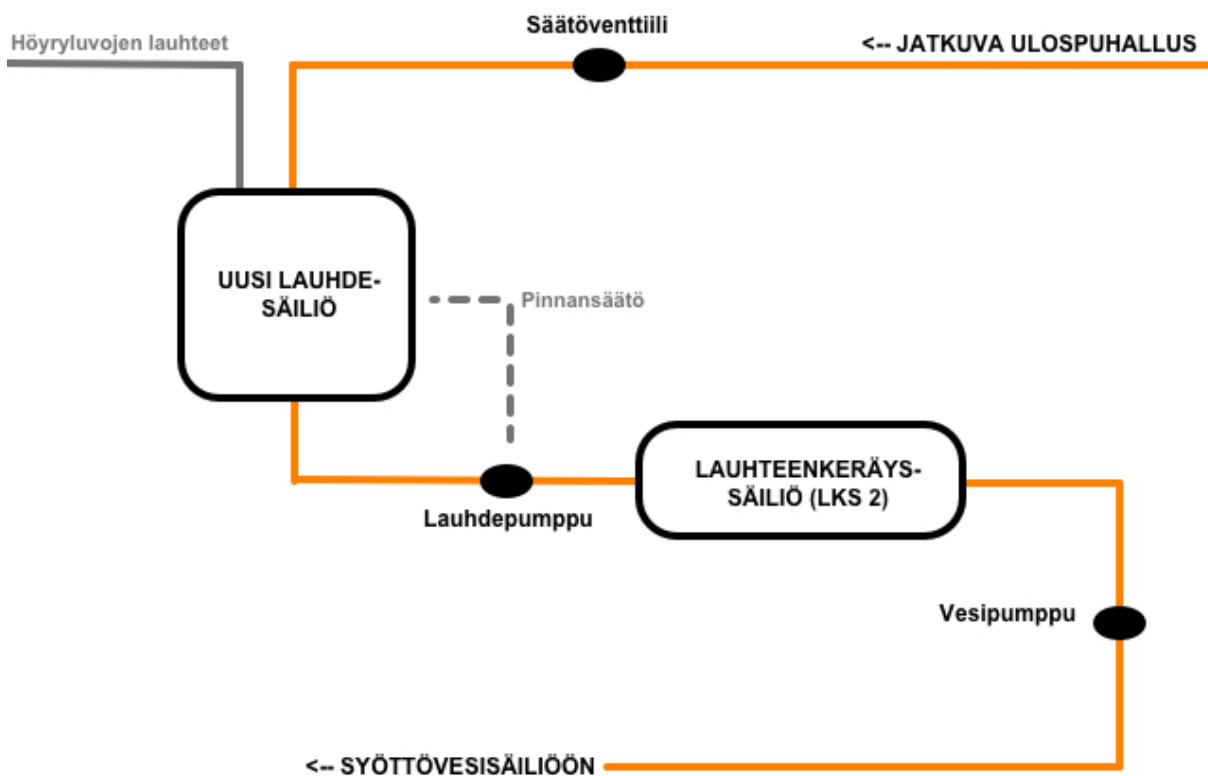
Kyseinen vaihtoehto tuo huomattavasti hyötyjä. Kyseisellä menetelmällä säästettäisiin prosessihöyryä. Säästetty prosessihöyry voitaisiin hyödyntää kaukolämmön tuotantoon. Kattila tuottaisi samalla polttoaineen kulutuksella enemmän lämpöenergiaa kaukolämpövaihtimille. Lisäksi säästettäisiin ulospuhallussäiliön jäähdtyksessä käytettävää pintavettä. Nykyään ulospuhallussäiliöön johdettava jatkuvan ulospuhalluksen lämpötila on noin 250 °C ja se jäähdtytetään pintavedellä 60 °C:een loppulämpötilaan. Veden saavuttaessa loppulämpötilan se johdetaan viemäriin. (C5 kattila).

7.4 Vaihtoehto C: Lauhdesäiliö

Kuvaus

Jatkuva ulospuhallusenergia otettaisiin talteen uuteen lauhdesäiliöön. Lauhdesäiliöstä ulospuhallus energia pumpattaisiin lauhteenkeräyssäiliöön (LKS 2). Lauhteenkeräyssäiliöstä vesi syötettäisiin syöttövesisäiliöön.

Layout



KUVA 22. Lauhdesäiliö Layout (mukaiillen IVO International Oy, 1995c)

Jatkuva ulospuhallusenergia johdettaisiin säätöventtiiliin kautta uuteen lauhdesäiliöön. Uuteen lauhdesäiliöön voisi johtaa myös höyryluvojen tuottamat lauhteet. Uudesta lauhdesäiliöstä energiasisältö johdettaisiin lauhdepumpulla lauhteenkeräyssäiliöön (LKS 2). Lauhdepumpun ja -säiliön välillä tulisi olla pinnankorkeuden tarkkailu. Lauhteenkeräyssäiliöstä vesi pumpattaisiin syöttövesisäiliöihin. (KUVA 22). Syöttövesisäiliöstä vesi virtaa voimalaitoksen vesikiertoon.

Vaatimukset

Vaihtoehdon toteutus vaatisi uutta putkilinjastoa, uuden lauhdesäiliön ja lauhdepumpulle lauhdesäiliön pinnansäädön toimilaitteen. Mikäli höyryluvojen lauhteet johdettaisiin uuteen lauhdesäiliöön, tulisi huomioida kummankin putkilinjaston materiaali, koko, virtaus ja kulkukanavat. Myös lauhdesäiliön koko, rakenne ja sijainti tulisi suunnitella. Lisäksi olisi määriteltävä oikean tyyppinen pinnankorkeuden toimilaitte lauhdepumpulle.

Toteutuksen vaativuus

Uusi lauhdesäiliö olisi järkevintä sijoittaa kiertoleijupetikattila C5:n kattilahuoneen alatasolle. Jatkuvan ulospuhalluksen putkilinjasto kulkeutuu nykyisellä kokoonpanolla kattilahuoneen alatasolle. Uudesta lauhdesäiliöstä vesi voitaisi johdattaa höyryluvojen pumppua ja putkilinjastoa hyväksi käyttäen lauhteenkeräyssäiliöön (LKS 2). (Soini 2021.) Nykyisen lauhdepumpun mitoitus, uuden lauhdesäiliön rinnalla tulisi tarkastaa etukäteen.

Hyödyt ja haitat

Jatkuvan ulospuhalluksen energiasta saataisiin hyödynnettyä veden sisältämä energia syöttövesisäiliöön. Lisäksi kyseisellä vaihtoehdolla säästettäisiin nykyisen ulospuhallussäiliön jäähdytykseen käytettävän pintaveden määrää. Syöttövesisäiliön lisäveden tarve myös vähenisi. Haittapuolena kyseisessä vaihtoehdossa jatkuvan ulospuhalluksen sisältämä energian hyödynnettäisiin pelkästään vetenä. Jatkuvan ulospuhalluksen sisältämä höyry ei suoranaisesti tulisi käyttöön. (IVO International Oy, 1995c.)

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1 C5 Kiertoleijupetikattilan energiatehokkuus

Hyötysuhdelaskelmien avulla selvisi C5-kiertoleijupetikattilan hyötysuhde. Hyötysuhdelaskelmien alkutiedoiksi olisi ollut hyvä mitata prosessia esimerkiksi 30 minuutin ajanjaksolla. Hyötysuhdelaskelmien lukuarvoina olisi voinut käyttää kyseisen ajanjakson mittaustiedon keskiarvoa. Laajemman mittaustiedon keskiarvolla hyötysuhdelaskelmista olisi saatu vieläkin luotettavampi tulos. Käytännön rajoitteista johtuen tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista, kun kiertoleijupetikattila C5 oli alas ajettuna. Hyötysuhdelaskemissa oli syytä käyttää h,s-piirroksen lisäksi entalpia laskuria josta ilmenee tarkka entalpia arvo. Hyötysuhdelaskujen aikana on syytä käyttää samaa h,s-piirrosta ja laskuria koko laskutoimituksen ajan, sillä nollapiste on erilainen eri laskureissa ja taulukoissa. Hyötysuhdelaskemat osoittivat C5-kiertoleijupetikattilan omaavan vastapainevoimalaitokselle ominaisen kattilahyötysuhteen.

Pyroflow Compact -kattilat ovat suunniteltu toimivan energiatehokkaasti jo kattilan toimitusvaiheessa. Kattilan tuottamia häviöitä pystytään kuitenkin minimoimaan energiatehokkuutta edesauttavilla toiminilla. Viimeisimpänä C5-kiertoleijupetikattilaan energiatehokkuutta edesauttava toimi on ollut Valmetin savukaasupesurin hankinta. Häviöistä suurin osa syntyy savukaasuhäviöistä. Savukaasupesurin hankinta C5-kiertoleijupetikattilan yhteyteen on ollut järkevä toimi. Kattilan häviöiden hyödyntäminen ei välttämättä paranna suoraan kattilan hyötysuhdetta. Häviöitä voidaan hyödyntää muuhun kuin kattilaan. Häviöt hyödynnetään voimalaitosprosessiin, minkä seurauksena koko voimalaitoksen hyötysuhdetta saadaan parannettua. Savukaasupesurin ansiosta voimalaitoksen kokonaishyötysuhdetta saatiin parannettua noin 20 %.

Laitosvierailuni yhteydessä ja savukaasupesurin toimintaan tutustuessani huomioin savukaasupesurin myös tuottavan häviöitä. Osa puhdistetusta lauhdesta johdetaan mereen. Tässä työssä ei tarkemmin perehdytty savukaasupesurin häviöön, mutta tulevaisuutta ajatellen olisi syytä tarkastella savukaasupesurin tuottamia häviöitä. Häviöt hyödyntämällä saataisiin parannettua voimalaitoksen hyötysuhdetta entisestään. Savukaasupesurin kemikaaliannostusjärjestelmän seurauksena puhdistettu lauhde voi sisältää haitallisempia kemikaaleja kuin jatkuvan ulospuhalluksen vesi/höyry. Savukaasupesurin puhdistetun lauhteen hyödyntäminen voisi vaatia kemikaalien kestäviä (titaani)lämmönvaihtimia, ym. komponentteja. Näiden hankintakustannukset ovat huomattavasti suuremmat kuin perinteisten komponenttien.

8.2 C5 Kiertoleijupetikattilan ulospuhallus entalpian hyödyntäminen

Taulukkoon 8 on koottuna yhteenvedona kiertoleijupetikattila C5:n jatkuvan ulospuhalluksen entalpian hyödyntämisen vaihtoehdot. Taulukossa on huomioituna jatkuvan ulospuhalluksen kohdennus, hyödyt, toteutuksen vaativuuden taso ja missä muodossa entalpia hyödynnettäisiin.

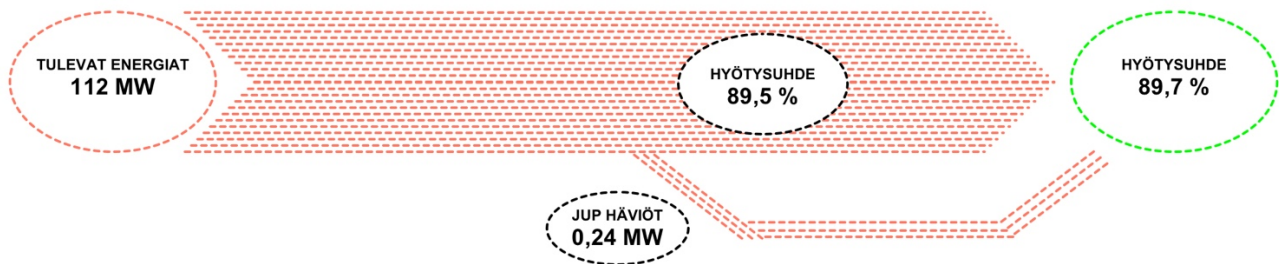
TAULUKKO 8. Yhteenvetotaulukko

YHTENVETO-TAULUKKO	Vaihtoehto A: Savukaasupesuri	Vaihtoehto B: Höyry LUVO	Vaihtoehto C: Lauhesäiliö
JUP kohdennettaisiin:	Kaukolämpöveden lämmitykseen	Polttoilman lämmitykseen & syöttövesisäiliöön	Syöttövesisäiliöön
Suorat hyödyt:	Lämmittäisi kaukolämpövettä	Lämmittäisi polttoilmaa	Voimalaitoksen vesikiertoon
Sivulliset hyödyt:		Vähemmän prosessihöyryä & jäähdytyksen pintavettä Enemmän lämpöenergiaa KL-vaihtimille	Vähemmän jäähdytyksen pintavettä Vähemmän syöttöveden lisävettä Höyryluvojen lauhteet talteen
Toteutuksen vaativuus:	Keskivaikea	Helppo	Helppo
JUP Hyödynnetään:	Höyrynä	Vetenä ja höyrynä	Vetenä
JUP Häviö:	Vesi	Ei häviöitä	Höyry

Minun näkemykseni jatkuvan ulospuhalluksen entalpian hyödyntämisestä olisi vaihtoehdon B toteutus. Kyseinen toteutus olisi helppo tehdä kiertoleijupetikattila C5:n kattilahuoneessa. Höyryluvojen lauhteet johdetaan jo nykyään toiminnassa olevaa putkilinjastoa pitkin lauhteenkeräyssäiliöön (LKS 2), joten kyseistä putkilinjastoa olisi helppo hyödyntää tässä vaihtoehdossa. Vaihtoehto B:llä saataisiin jatkuvan ulospuhalluksen entalpia hyödynnettyä kokonaisuudessa.

Toinen potentiaalinen vaihtoehto jatkuvan ulospuhalluksen entalpian hyödyntämiselle olisi vaihtoehto A:n ja C:n yhdistäminen. Yhdistämällä nämä vaihtoehdot voitaisiin jatkuvan ulospuhalluksen höyryenergialla lämmittää kaukolämpövettä silloin, kun savukaasupesurilla on mahdollista ottaa jatkuvan ulospuhalluksen höyryenergia talteen. Lisäksi uuden lauhesäiliön avulla saataisiin jatkuvan ulospuhalluksen vesi hyödynnettyä voimalaitoksen vesikiertoon. Vaihtoehtojen A:n ja C:n toteutuksien toteuttaminen on kuitenkin vaativampaa.

Hyödyntämällä C5-kiertoleijupetikattilan ulospuhallus energian kokonaisuudessaan kasvaisi kiertoleijupetikattilan hyötysuhde 0,2 % (KUVA 23). Kiertoleijupetikattilan hyötysuhde ei suhteessa kasva kovin paljoa. Kuitenkin ulospuhalluksen energiahäviön taloudellinen potentiaali on suuri, lähes kaksi miljoonaa euroa.



KUVA 23. Energiavirrat

8.3 Yhteenveto

Tässä työssä toimeksiantajan organisaatioon tutustuminen antoi hyvän perustan opinnäytetyön aloitukselle. Teoriaosuudessa vastapainevoimalaitoksen toimintaperiaatteeseen, komponentteihin, polttoaineisiin, päästöihin, sähkön sekä kaukolämmön tuotantoon ja voimalaitoksen energiatehokkuuteen oli syytä syventyä työn tavoitteiden kannalta hyvin. Kiertoleijupetikattilan toimintaperiaate, rakenne, komponentit, vesihöyrypiiri ja savukaasupesurin toiminta selvisivät teoriaosuudessa minulle todella hyvin. Oppimiseni kannalta oli erittäin hienoa saada hyödynnettyä Kokkolan Energian arkistosta löytyvää lähdemateriaalia tässä työssä, joka käsitteli kiertoleijupetikattilaa ja savukaasupesuria. Teoriassa kattilan hyötysuhteen määrittäminen suoralla ja epäsuoralla laskentamenetelmällä oli syytä käydä läpi perusteellisesti, koska työssä laskettiin kiertoleijupetikattila C5:n kattilahyötysuhde suoralla laskentamenetelmällä.

Kiertoleijupetikattila C5:n hyötysuhdetta oli mielenkiintoista laskea ja laskennan tuloksena huomata kiertoleijupetikattilan omaavan hyvän hyötysuhteen. Jatkuvan ulospuhalluksen entalpian hyödyntämisen vaihtoehtoja oli kiinnostavaa kartoittaa PI-kaavioiden, laitosvierailuiden, asiantuntijoiden ja Kokkolan Energia Oy:n henkilökunnan kanssa. Jatkuvan ulospuhalluksen entalpian hyödyntämiselle sain lopputulokseksi kolme eri vaihtoehtoa. Opinnäytetyössä oli mahtavaa syventyä voimalaitostekniikkaan. Sillä voimalaitostekniikka on kiinnostanut minua pitkään. Opinnäytetyöni aihe oli mielestäni erittäin ajankohtainen sekä kiinnostusta herättävä. Opinnäytetyötä oli erittäin mukava tehdä.

Kiitos kaikille opinnäytetyöprosessin aikana minun kanssani yhteistyötä tehneille henkilöille. Erityiset kiitokset Kokkolan Energian kunnossapitoinsinööri Sami Similälle erittäin esimerkillisesti hoidetusta toimeksiantajan tehtävästä. Kiitos myös Valmetin energiayksikön asiantuntijalle Tuomas Saksalle hyvästä yhteistyöstä sekä Centria Ammattikorkeakoulun yliopettaja Aki Suokolle erinomaisesta opinnäytetyön ohjauksesta. Opinnäytetyön ohjauksessa olen saanut rakentavaa palautetta ja erittäin asiantuntevaa energia-alan tietoa koko opinnäytetyöprosessin aikana.

LÄHTEET

- Ahlstrom. 1995a. Järjestelmäkuvaukset. Kansio 1/2, mappi A50. Kokkolan Energian voimalaitoksen arkisto.
- Ahlstrom. 1995b. Järjestelmäkuvaukset. Kansio 2/2, mappi A51. Kokkolan Energian voimalaitoksen arkisto.
- Ahlstrom. 1995c. Pyroflow-koulutus. Kansio 1/2, mappi A52. Kokkolan Energian voimalaitoksen arkisto.
- Ahlstrom. 1995d. Pyroflow-koulutus. Kansio 2/2, mappi A53. Kokkolan Energian voimalaitoksen arkisto.
- Cambridge University Press. 2014. Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. Verkkosivut. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf. Viitattu 12.6.2021.
- C5 kattila. 22.11.2019. Automaatiokuva. Kokkolan Energian voimalaitoksen digitaalinen arkisto.
- C5 turpeen käsittely. 22.11.2019. Automaatiokuva. Kokkolan Energian voimalaitoksen digitaalinen arkisto.
- Energiavirasto. 2021. Energiatehokkuus. Verkkosivut. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/energiatehokkuus>. Viitattu 22.5.2021.
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2004. Höyrykattilatekniikka. Painos 6. Helsinki: Opetushallitus.
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T. & Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus.
- IVO International Oy. 1995a. Syöttövesi PI-kaavio. Kokkolan Energian voimalaitoksen arkisto.
- IVO International Oy. 1995b. Ilma- ja savukaasu PI-kaavio. Kokkolan Energian voimalaitoksen arkisto.
- IVO International Oy. 1995c. Apuhöyry ja lauhde PI-kaavio. Kokkolan Energian voimalaitoksen arkisto.
- Kokkolan Energia Oy. 2021a. Historia. Verkkosivut. Saatavissa: <https://www.kokkolanenergia.fi/fi/yri-tys/historia>. Viitattu 5.5.2021.
- Kokkolan Energia Oy. 2021b. Kaukolämpöhinnasto Kokkolan alueella 1.5.2021 alkaen. Verkkosivut. Saatavissa: https://www.kokkolanenergia.fi/application/files/2616/2202/1532/Kaukolampohinnasto_1.5.2021_Synerall.pdf. Viitattu 25.8.2021.
- Kokkolan Energia Oy. 2021c. Yritys. Verkkosivut. Saatavissa: <https://www.kokkolanenergia.fi/fi/yri-tys/>. Viitattu 5.5.2021.
- Kokkolan Energia Oy. 2018. Yritysesittely. PowerPoint-esitys.

- Kokkolan Energia Oy. 2020. Tilinpäätös. Verkkosivut. Saatavissa: https://www.kokkolanenergia.fi/application/files/1316/2028/0396/2020_KE_tilinpaaotos.pdf. Viitattu 18.5.2021.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2021. Puupolttoaineet energian tuotannossa. Verkkosivut. Saatavissa: <https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/puun-energiakaytto>. Viitattu 5.6.2021.
- Motiva Oy. 2021. Energian kokonaiskulutus. Verkkosivut. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/energian_kokonaiskulutus. Viitattu 5.6.2021.
- Motiva Oy. 2019. Energiatehokkuuden oheishyödyt kunnissa ja kuntayhtymissä. Verkkosivut. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/16968/Energiatehokkuuden_oheishyodyt_kunnissa_ja_kuntayhtymissa.pdf. Viitattu 22.5.2021.
- Motiva Oy. 2020. Voimalaitoksen energia-analyysi. Verkkosivut. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/energiakatselmusmallit/voimalaitoksen_energia-analyysi. Viitattu 22.5.2021.
- Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2013. Tekniikan kaavasto. Painos 11. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- Saksa, T. 2020. Lauhduttava savukaasupesuri ja lauhteenkäsittely. Valmet. Kokkolan Energian voimalaitoksen arkisto.
- Saksa, T. 2021. JUP-hyödyntäminen. Yksityinen sähköposti. 21.7.2021. Viestin saaja Joni Virkkala.
- Similä, S. 2021. Henkilökohtainen tiedonanto, opinnäytetyöpalaveri. 7.7.2021.
- Soini, O. 2021. Laitosvierailu Kokkolan Energian voimalaitoksella. 17.7.2021.
- TLV. 2021. Calculator: Superheated Steam Table. Verkkosivut. Saatavissa: <https://www.tlv.com/global/ME/calculator/superheated-steam-table.html>. Viitattu 5.9.2021.
- Tolonen, J. 2012. Lassilan huippu- ja varalämpökeskuksen energiatehokkuus kaasukäytöllä. Insinööri-työ. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40123/Lassilan%20huippu-%20ja%20varalampokeskuksen%20energiatehokkuus%20kaasukaytolla.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Viitattu 6.6.2021.
- Vastuullisuusvideo Kokkolan Energia Oy. (Kokkola Industrial Park - KIP) 2021. Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=YJpYpMtr17c>. Viitattu 20.5.2021.
- Wikstén, R. 2009. Lämpövoimaprocessit. Painos 4. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press, Oy Yliopistokustannus.

