

Tero Furu

Prosessiuunien energiatehokkuusmittaroinnin kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

25.4.2016

Tekijä(t) Otsikko	Tero Furu Prosessiuunien energiatehokkuusmittaroinnin kehittäminen
Sivumäärä Aika	35 sivua 25.4.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Jari Olli DI Esa Tamminen
<p>Opinnäytetyö on tehty Neste Oyj:n öljynjalostamolle Porvoossa. Työn tarkoituksena oli selvittää simulointimallin soveltuvuutta prosessiuunien energiatehokkuusoptimointiin. Jalostamon eri uunien operointi ei ole ollut kovinkaan tasalaatuista, johtuen mm. uunien mekaanisesta kunnosta. Myöskään jo olemassa olevia seurattavia tavoitteita ei ole käytetty tehokkaasti.</p> <p>Teoriaosuudessa käytiin läpi uunien eri laitteita sekä tutustuttiin niiden periaatteelliseen toimintaan. Myös palamisen perusteita käsiteltiin ja haluttiin tuoda esiin vähemmän esillä oleva osa-alue, liekin teoreettinen lämpötila. Mittaustekniikkaa ja sen aiheuttamaa virhettä pyrittiin avaamaan yleisimpien mittauslaitteiden kautta. Oli myös perusteltua käsitellä savukaasuja, koska ne muodostavat nykyisin pienen osan poltosta aiheutuvista kustannuksista päästökaupan kautta.</p> <p>Soveltavassa osuudessa käsiteltiin normaalioperoinnin mukaisia ajotilanteita. Selvitettiin tyypillisiä tapahtumia, jolloin oli syytä olettaa, että uuni ei toiminut optimaalisella operointialueella. Tätä tilannetta pyrittiin mallintamaan simulointiohjelmalla ja tekemällä vertaava malli optimaalisesta tilanteesta.</p> <p>Tulosten valossa on selvää, että uunien energiatehokkuus ei välttämättä ole hyvällä tasolla, varsinkaan uuneilla, joilla syöttökuormat tai syötön laatu vaihtelee usein. Simulointimallin käyttöä operointia tukevana työkaluna tulisi harkita varsinkin uusimmilla uuneilla.</p>	
Avainsanat	uuni, optimointi, energiatehokkuus, simulointi

Author(s) Title Number of Pages Date	Tero Furu Development of Energy Efficiency Monitoring for Process Furnaces 35 pages 25 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Jari Olli, Senior Lecturer Esa Tamminen, MSc (Tech)
<p>This Bachelor's thesis was made for Neste Oyj's Porvoo refinery. The purpose of the thesis was to examine the feasibility of simulation models to enhance the energy efficiency of process furnaces. Furnace operation has not been very consistent, e.g. due to different mechanical conditions of the furnaces. Also the monitored operational objectives have not been used effectively.</p> <p>The theory section introduces furnaces and their associated equipment and shows the operational principles. Also the basis of combustion was presented and in addition, a less known topic, theoretical flame temperature was discussed. The most common flow measurement instruments were presented to highlight them as a source of measurement error. Flue gases were discussed because they have an impact on the costs of gas firing through emissions trade.</p> <p>Different basic operational situations with furnaces were studied. The objective was to find out what kind of situations drive process furnaces away from their best efficiency level. These operating situations were modelled with FRNC5 simulation software. The operating situations were then compared to optimized furnace operation.</p> <p>As a result, it was discovered that energy efficiency of process furnaces is not necessarily at its peak level, especially with furnaces which have significant variations on the feed flow or their composition of feed is not constant. It can be recommended that the use of a simulation model as a supporting tool for operations should be considered, especially for the newest furnaces.</p>	
Keywords	furnace, optimization, energy efficiency, simulation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Opinnäytetyön tausta	1
1.2	Polttoaineiden käyttö jalostamolla	2
1.3	Tavoitteet	2
1.4	Prosessioperoinnin motivointi	3
2	Prosessiuunit	4
2.1	Rakennekuvaus	5
2.1.1	Polttimet	6
2.1.2	Säteilyosa	7
2.1.3	Shokkiosa	7
2.1.4	Konvektio-osa	7
2.1.5	Puhaltimet	7
2.1.6	Savukanava ja piippu	8
2.2	Savukaasupuoli	8
2.2.1	Energiatase	9
2.2.2	Hyötysuhde	11
2.3	Teoreettinen liekin lämpötila	11
2.4	Virtausmittaukset	15
2.4.1	Mittalaippa	15
2.4.2	Coriolis-mittaus	16
2.4.3	Vortex-mittaus	17
2.4.4	Venturiputki	18
2.5	Virheanalyysi	19
2.6	Savukaasu	21
2.6.1	Hiilidioksidi, CO ₂	21
2.6.2	Happi, O ₂	22
2.6.3	Typhen oksidit, NO _x	22
2.6.4	Analysaattorit	22
3	Mittarin rakentaminen	24
3.1	FRNC5-simulaattori	24

3.2	Mittaukset	24
3.2.1	Syötön määrän muutos (pakkoveto)	25
3.2.2	Polttokaasun muutos (pakkoveto)	27
3.2.3	Syötön laadun muutos (pakkoveto)	29
3.2.4	Tuotelaadun muutos (pakkoveto)	31
4	Yhteenveto	33
	Lähteet	35

Lyhenteet

NExtBTL	Uuden sukupolven biodiesel
TL	Tuotantolinja
PINCH	Jalostamoanalyysi
JPÖZ	Raskas polttoöljy
KTY	Kaasuöljyntislausyksikkö
Low-NO _x	Typen oksideja vähentävä polttotekniikka
DCS	Automaatiojärjestelmä
VWF	Höyrystymisosuus
Steady state	Ajasta riippumaton mallinnus
Wobbe	Kaasun lämpöarvon määrittäminen

1 Johdanto

Neste Oil Oyj:n Porvoon öljynjalostamo käyttää Suomen mittakaavassa suuren määrän energiaa loppukäyttäjille tarkoitettujen tuotteiden valmistukseen. Porvoon jalostamo on nykyaikainen kompleksijalostamo, joka pystyy valmistamaan laadukkaita tuotteita erilaisista komponenteista koostuvista syöttöaineista. Öljytuotteet on Neste Oilin suurin liiketoiminta-alue. Se myy huippulaatuisia liikennepolttoaineita ja muita korkeamman lisäarvon öljytuotteita. Sen laaja tuotevalikoima sisältää bensiinejä, dieselpolttoaineita, lentolaivaliikenteen polttoaineita, kevyitä ja raskaita polttoöljyjä, perusöljyjä, bensiinikomponentteja, erikoispolttoaineita, liuottimia, nestekaasuja ja uuden sukupolven biodieselin, NExtBTL. Vuonna 2013 Porvoon jalostamon kokonaistuotanto oli 12,0 miljoonaa tonnia. Jalostamon jalostusprosessit jakautuvat neljään tuotantolinjaan. TL1 on jalostamon vanhin tuotantolinja. Tuotanto aloitettiin vuonna 1965 ja TL2:lla 1972. Vuonna 1973 rakennettiin TL3, jossa vuonna 2007 aloitettiin biodieselin tuotanto. TL4, joka käynnistyi 2006, on jalostamon uusin ja nykyaikaisin tuotantolinja, jonka avulla jalostamo pystyy käsittelemään rikkipitoista raakaöljyä. Tuotteena on mm. Neste Pro Diesel. Lisäksi alueella on oma voimalaitos, joka toimittaa höyryä ja sähköä jalostamon tarpeisiin. Jätevesilaitoksella toiminta perustuu jätevesien käsittelyyn ja NExtBTL-laitoksen syöttöjen esikäsittelyyn. [1.]

1.1 Opinnäytetyön tausta

Vuonna 2010 yhtiössä lähdettiin rakentamaan energiaorganisaatiota ja miettimään, mikä on energian ja käyttöhyödykkeiden asema öljynjalostuksessa. Yhtenä selvänä kehityskohteena on parantaa Porvoon jalostamon energiatehokkuutta kestäväällä tavalla. Jalostamolla on muodostunut vahva käsitys siitä, että energiatehokkuus ei parane pelkästään investointien kautta. On nähty, että jalostuskulttuurin ohjaaminen energiatehokkuutta tukevalla tavalla auttaa ymmärtämään prosesseja paremmin. Prosessien tarkka ajo vaatii yhtenäistä kokonaiskuvaa tavoitteista, joiden mukaan voidaan luoda yhtenäiset toimintatavat. Tätä kuvaa vasten on haluttu kehittää prosessiuunien mittarointi, jonka rakenne on helposti ymmärrettävä. Mittarointi on tarkoitus tehdä henkilökohtaiseksi, jolloin operaattorille tulee kuva, että hän itse voi vaikuttaa omalla tekemisellään jalostamon energiatehokkuuteen ja antaa seuraavan vuoron operaattorille hyvät edellytykset tehdä samoin.

Jalostusprosessien kehittäminen on ollut Neste Oil Oyj:n menestyksen kulmakiviä. Vuosien varrella voimakkaan kehitystyön ansiosta prosessiyksiköiden käyttövarmuutta ja saantoja on saatu merkittävästi parannettua. Tämä on taas osaltaan johtanut siihen, että käyttöhyödykkeiden seuranta ja arvostus on jäänyt heikommalle huomiolle varsinkin operointimielessä. Kehityskohteet ovat yleensä kompleksisia ja vaativat eri ammattialojen asiantuntemusta. Näissä suurena voimavarana toimii Neste Oil Oyj:n tytäryhtiö suunnittelutoimisto Neste Jacobs. Yhteistyö Neste Jacobsin kanssa ilmenee monin eri muodoin. Heidän kauttaan jalostamo on voitu kehittää niin rakennusteknisesti kuin myös prosessiteknisesti. Myös erilaisia tutkimuksia on voitu teettää tekemällä yhteistyötä heidän kanssaan. Pinch-tutkimus on jalostamoanalyysi, joka on laaja ja yksityiskohtainen ohjeistettu menettely lämmön ja höyryn mahdollisimman tehokkaan käytön hyödyntämiseksi jalostamon prosesseissa. Tutkimus vaatii hyvän ymmärryksen jalostamon kompleksisuudesta ja integraatiosta, joiden avulla prosessien simulointi saadaan mahdollisimman todenmukaiseen muotoon.

1.2 Polttoaineiden käyttö jalostamolla

Porvoon jalostamolla prosessiuunit ovat suurin polttoaineiden kuluttajaryhmä. Uunit käyttävät pääpolttoaineenaan polttokaasua, joka koostuu pääosin vedystä ja metaanista, sisältäen myös muita jalostusprosesseista pursutettavia nestekaasuja. Pilot-polttimilla polttoaineena on metaani. Lisäksi jalostamolla on kaksi vedyn reformointiuunia, jotka käyttävät suuren määrän metaania reagenssina. Uunien yhteenlaskettu polttoteho on noin 8 440 GWh/a ja tästä hyödyksi saatu absoluuttinen teho on noin 6 420 GWh/a.

Voimalaitoksella sähkön ja höyryntuotannon polttoainepaletti koostuu polttoöljystä (JPÖZ), maakaasusta, polttokaasusta, pyrolyysiöljystä ja kevyestä polttoöljystä.

1.3 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda uunien käytön energiatehokkuuteen kannustava kumulatiivinen vuorokohtainen mittarointi, joka kertoo ohjaamohenkilökunnalle uunin energian käytön vuoron alusta lähtien, laskien jokaiselle tunnille keskiarvoenergiakulutuksen (MWh). Toinen mittaus ennustaa 12 h vuoronaikaisen kokonaiskulutuksen, vuoron alusta asti laskettujen keskiarvokulutuksien mukaan. Mittarista pyritään tekemään proto-

tyyppi, jonka avulla uunien simulointia ja todellista tilannetta vertaamalla saadaan todellinen kuva, miten hyvin malli tukee käytäntöä. Tämän perusteella mallia on mahdollista harkita käyttöönotettavaksi päivittäisen operoinnin tueksi.

Operaattorin tulee pystyä ymmärtämään ja havainnoimaan uunin energian käyttöön vaikuttavat muuttujat, kuten syötön tiheys, tislusalue tai ylimäärähappi. Muuttujien oikealla tunnistamisella ja niihin reagoimalla uunia pystytään ajamaan lähellä optimia. Mittarin tulee olla yksiselitteinen, ja laskennan perusteiden tulee olla jäljitettävissä ja tarpeen tullen modifioitavissa.

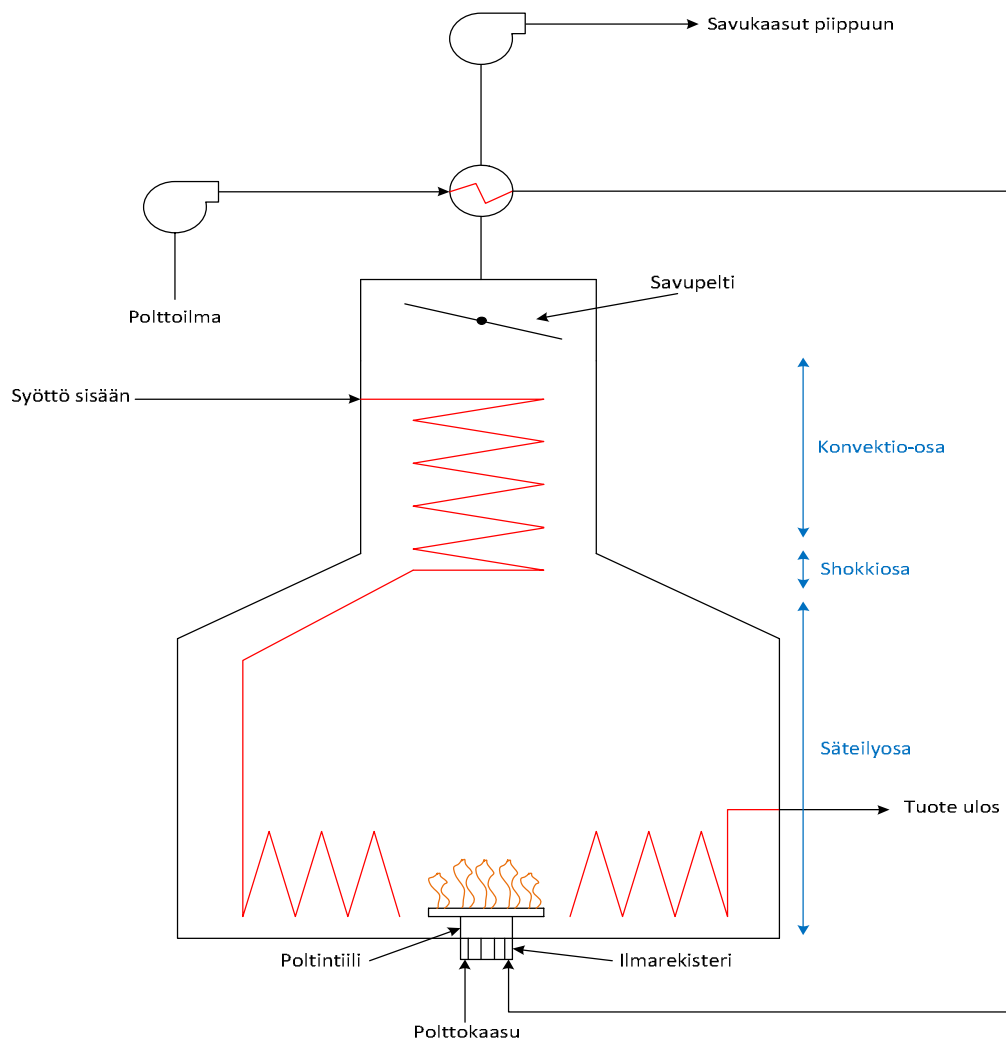
1.4 Prosessioperoinnin motivointi

Mittaroinnin lähtökohtana voidaan pitää uunien hyötysuhteiden pitämistä maksimaalisella tasolla, niin tasaisella ajolla kuin prosessiolosuhteiden vaihdellessa. Esimerkiksi polttokaasun tiheyden muutoksissa uunien savukaasujen happitaso lähtee heittelemään, mikä taas näkyy polttokaasun kulutuksessa. Operaattorin näkökannalta katsottuna uunien seurattavuus helpottuu merkittävästi. Muuttujat tulevat helpommin esiin, ja vuorovaikutus yli tuotantolinjojen lisääntyy. Kunnossapitoa vaativat toimet tulevat tarkasteltavaksi, jos asettuja tavoitteita ei pidemmällä aikajaksolla tavoiteta. Näitä voi olla esim. poltinten karstoittuminen tai tuubistojen likaantuminen.

Eri vuorojen operaattoreiden prosessin ajotavat voivat erota toisistaan jonkin verran, kuten syöttö- ja poistovaihtimien säätöjen käyttö, konvektio-osan hyödyntäminen ja höyryn kehittäminen. Palkiston avulla kaikkien vuorojen on mahdollista löytää ne parhaat ja yhteiset käytännöt, jolla uunin optimitasolla operointi olisi helppoa, luontevaa ja turvallista. Yhteinen operointikäytäntö on tärkeää, eikä prosessien dynaaminen ajaminen saa jäädä vain oman tuotantolinjan sisälle, vaan ottaa myös huomioon operoinnin vaikutuksen yli tuotantolinja rajojen. Suuren integraation takia on vaara, että pieni säästö yhdessä yksikössä on suuri kulu toisessa prosessiyksikössä.

2 Prosessiuunit

Öljynjalostusteollisuudessa prosessiuunien malli on yleisesti joko sylinteri tai kaappi/laatikkouuni, kuvassa 1 on laatikkouuni. Sylinteriuuneja käytetään, kun uunilta ei vaadita suurta tehoa. Sylinteriuunin maksimitehoa voidaan pitää 30 MW. Laatikkouunien tehoalueen maksimi on noin 60 MW. Molemmissa uunityypeissä yleisin tuubikonstruktio on pystysuuntainen, mutta laatikkouuneissa käytetään myös vaakasuuntaista tuubistoa. Taulukko 1:ssä on esitelty uunien käyttötarkoitukset. Uunien suunnittelun peruslähtökohta käyttökohteessa on, että tuubiston sisällä kulkevaan fluidiin absorboituu oikea määrä lämpöenergiaa sopivan viipymäajan ja lämpötilarajojen mukaan. Tämä saavutetaan tuubiston oikeanlaisella sijoituksella ja tarkalla polttotehon ja fluidin virtausnopeuden valinnalla. [2, s.15 ; 3, s.12.]



Kuva 1. Pakkovetouuni

Taulukko 1. Uunien yleisimmät käyttötarkoitukset

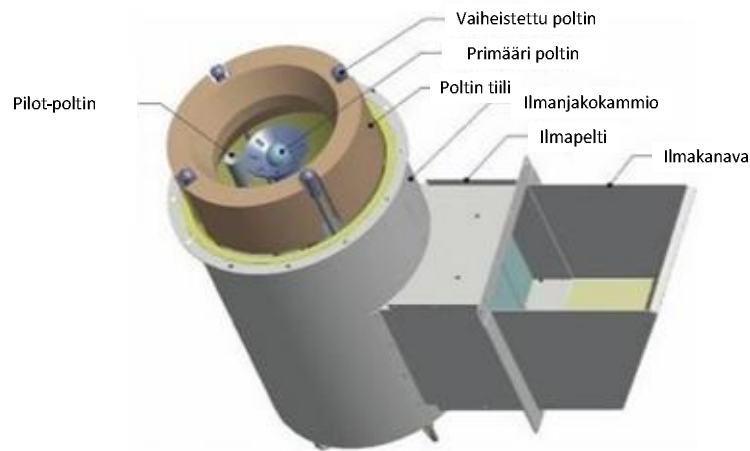
Tarkoitus	Olomuoto	Tehtävä
Prosessiuuni	Neste/kaasu, 2-faasi	Höyrystää nestemäisestä syötöstä osan tai kokonaan, seuraavaa prosessivaihetta varten.
Reformeriuuni	Kaasu	Lämmön, höyryn ja maakaasun avulla tuotetaan vetyä.
Krakkeriuuni	Neste	Pilkkaa pitkäketjuisia molekyylejä lyhyemmiksi.
Käynnistysuuni	Neste/kaasu	Kuivattaa prosessiyksikköä käynnistyksen aikana.
Claus-uuni	Kaasu	Erottaa rikin hapankaasuista (terminen krakkaus).

2.1 Rakennekuvaus

Prosessiuunien muoto, instrumentointi ja konstruktiio vaihtelevat käyttötarkoituksesta riippuen. Esimerkiksi uunien pohjaosaan sijoitetut polttimet voivat olla joko pysty tai vaaka-asennettuja. Polttimille syötettävä polttoilma on perinteisillä luonnonvetouuneilla kylmää ulkoilmaa. Uudemmissa, paremman hyötysuhteen omaavilla pakkovetouuneilla käytetään puolestaan savukaasujen hukkalämpöä hyväksi. Näin saadaan polttoilma esilämmitettyä, jolloin polttoilmassa olevan typpi-inertin jäähdyttävä vaikutus palotapahtumassa minimoituu. Uunien perusrakenne on samankaltainen valtaosalla uuneista.

2.1.1 Polttimet

Prosessiuunien energiatehokkuuden ja päästöjen kannalta tärkeät polttimet, joita on yleensä yksi tai useampia, sijaitsevat uunien alaosassa. Polttimia on monenlaisia, ja yleisin nykyajan malli on Low-NO_x -poltin (kuva 2). Uuneilla polttimet asennetaan joko pystyyn tai vaakaan. Polttimet voidaan jakaa neljään osaan, jotka ovat suutin, pilot-poltin, ilmarekisteri ja poltintiili. Yhdellä polttimella voi olla useampi suutin, joiden tehtävä on sumuttaa polttoaine omalla paineellaan polttoilman sekaan, jotta saadaan haluttu liekki. Tämän liekin sytyttää polttimon vierellä oleva pilot-poltin, joka on jatkuvatoiminen sytytyspoltin. Liekin ilmamäärää säädetään luonnonvetouuneilla primäärisesti ilmarekistereillä kun taas pakkovetouuneilla primääripolttoilmana on polttoilmapuhaltimelta tuleva ilma ja sekundääri-ilmana rekistereillä säädettävä ulkoilma. Poltintiili on muotoiltu niin, että se auttaa liekkiä pysymään halutussa muodossaan ja myös suojaamaan uunin alaosaa suoralta lämpösäteilyltä. Näiden kaikkien osa-alueiden oikein suunnittelu ja käyttö luo perustan uunin optimaaliselle toiminnalle.



Kuva 2. Low-NO_x poltin [3, s.1]

2.1.2 Säteilyosa

Uunien suurinta lämpöenergiaa absorboivaa osaa kutsutaan säteilyosaksi, koska kaasun palaessa liekki muodostaa säteilyenergiaa, jota tuubit vastaanottavat ja siirtävät tuubien sisällä liikkuvaan virtaan. Myös tulipesänäkin tunnettu säteilyosa sijaitsee uunin alaosassa, jossa myös suurin osa lämmönsiirrosta eli noin 60-70 % tapahtuu. Osa säteilyenergiasta osuu uunin seinämään, jonka vieressä tuubistot sijaitsevat. Seinämämuraus on ns. heijastava pinta, josta energia säteilee takaisin tuubeihin ja edelleen absorboituu tuubeissa virtaavaan fluidiin. [2, s.12]

2.1.3 Shokkiosa

Shokki- tai kilpiosan tehtävä on suojella konvektio-osan tuubeja suoralta säteilylämmöltä. Shokkiosan sileiden tuubien materiaali on paremmin lämpöä kestävä kuin konvektio-osan tuubit. Tämä osa on ideaalinen paikka monille uunin instrumenteille, kuten painemittaukselle ja savukaasuanalysaattorille, josta voidaan mitata esimerkiksi ylimäärä happi ja palamattomat hiilivedyt. [2, s.15]

2.1.4 Konvektio-osa

Uunin yläosassa sijaitsevan konvektio-osan päätarkoitus on esilämmittää konvektiolla säteilyosasta nousevan kuumen savukaasun energian avulla syöttöä ennen sen siirtymistä säteilyosaan. Jos savukaasun lämpötila laskee liikaa, se on merkki liian suuresta vedosta uunissa. Konvektiota pyritään parantamaan tuubien erilaisilla pinnoitteilla, jotta saataisiin mahdollisimman suuri lämmönsiirtopinta-ala. Yleisesti käytetään tappipinnoitusta. Perinteisissä heikon hyötysuhteen omaavissa luonnonvetouuneissa konvektio-osa on yleensä viimeinen paikka, jossa savukaasujen sisältämä lämpöenergia on mahdollista ottaa talteen ennen kuin se menee piippuun. [2, s.15]

2.1.5 Puhaltimet

Pakkovetouuneilla käytetään yleensä savukaasu- ja polttoilmapuhaltimia. Savukaasupuhaltimen tehtävä on imeä konvektio-osan jälkeinen kuuma savukaasu savupellin ohi, polttoilman esilämmittimen läpi, josta puolestaan puhallin painaa suuren osan energiasaan luovuttaneen savukaasun piippuun. Polttoilmapuhallin ottaa imunsa ulkoilmasta. Ilma siirtyy esilämmittimellä vastavirtaan toisella puolella olevan savukaasun kanssa.

Ilma lämpenee savukaasuista saadun lämpöenergian avulla, jonka jälkeen se virtaa uunin polttimelle primääri-ilmaksi. Puhaltimien sähkömoottoreita ohjataan usein taajuusmuuttajilla.

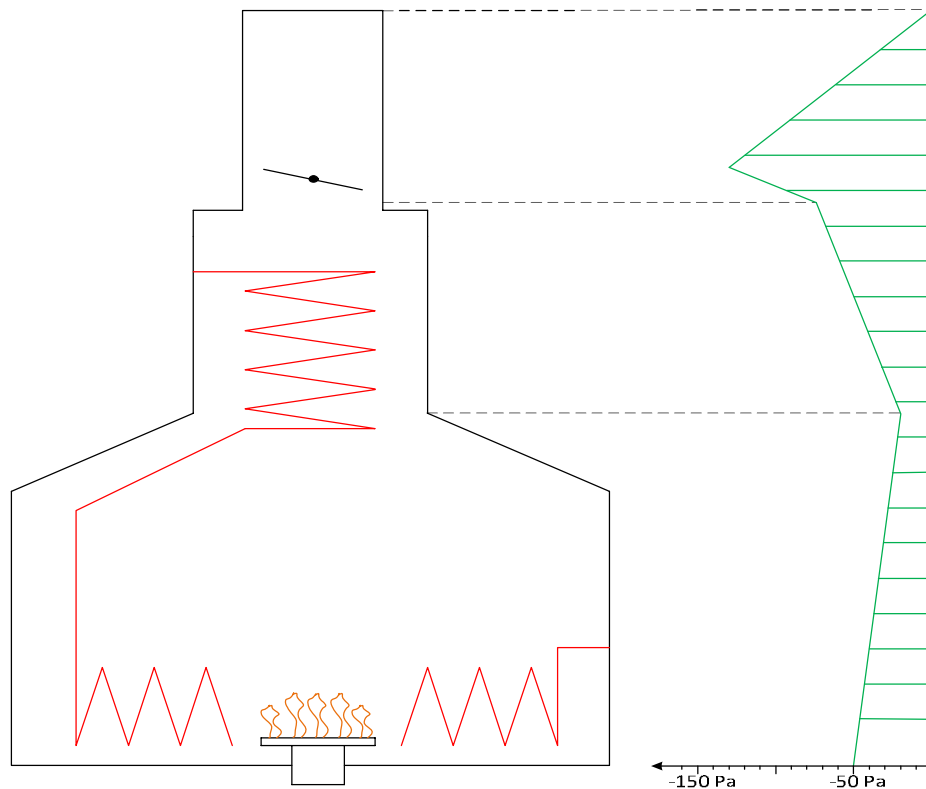
2.1.6 Savukanava ja piippu

Konvektio-osan jälkeen on savupelti, jolla pyritään säätämään uunin vetoa. Savupellin jälkeen kaasu ohjautuu savukanavaan, joka voi olla myös yhteinen muiden prosessiuunien kanssa. Ennen savukaasujen piippuun johtamista kaasut voidaan ohjata polttoilman esilämmittimelle. Osa pakkovetouunien energiatehokkuudesta perustuu kaasun kykyyn luovuttaa energiaa uunilla käytettävään polttoilmaan. Esilämmittimen jälkeen savukaasupuhallin painaa kaasut piippuun. Usein käytössä on teräsvaippainen piippu, jonka takia rikkiyhdisteitä sisältävän kaasun lämpötila ei saisi laskea alle kastepisteen. Tällä toimenpiteellä varjellaan savukanavaa ja piippua mahdolliselta korroosiolta.

2.2 Savukaasupuoli

Prosessiuuni on prosessilaite, jonka palamistuotteena syntyvä savukaasu täytyy saada siirrettyä piippuun. Tämä tehdään pakkovetouuneilla savukaasupuhaltimien avulla. Syy tähän on se, että pakkovetouuneilla on polttoilmalle esilämmitysjärjestelmä, joka aiheuttaa merkittävää virtausvastusta savukaasulle. Puhaltimien taajuusmuuttajasäädön avulla uunin veto saadaan tarkasti säädettyä myös vaihtelevissa prosessiolosuhteissa. Luonnonvetouuneilla säätäminen on haastavampaa, koska veto perustuu uunin sisällä ja piipussa olevan kuumen savukaasupatsaan ja kylmän ulkoilmapatsaan painoeroon. [4, s.263]

Uunin vedon säätämiseen vaikuttavat kaksi osa-aluetta. Uunin polttimoiden palamista säädetään polttoilman määrällä. Näin tapahtuessa muuttuu savukaasun virtausmäärä, jolloin uunin alipainetta ohjataan savukanavassa olevalla savupellillä. Liiallinen veto aiheuttaa pysyviä, ylimääräisiä ilmavuotoja uunin rakenteisiin (kuva 3). Kun ilmarekisterien kautta ohjattava ilma ei pääse osalliseksi polttimoilla tapahtuvaan palamisreaktioon, sillä on uunia jäähdyttävä vaikutus. Myös uunin optimointi hankaloituu savukaasusta mitatun happiyliäärän korkean arvon takia. [4, s.266]



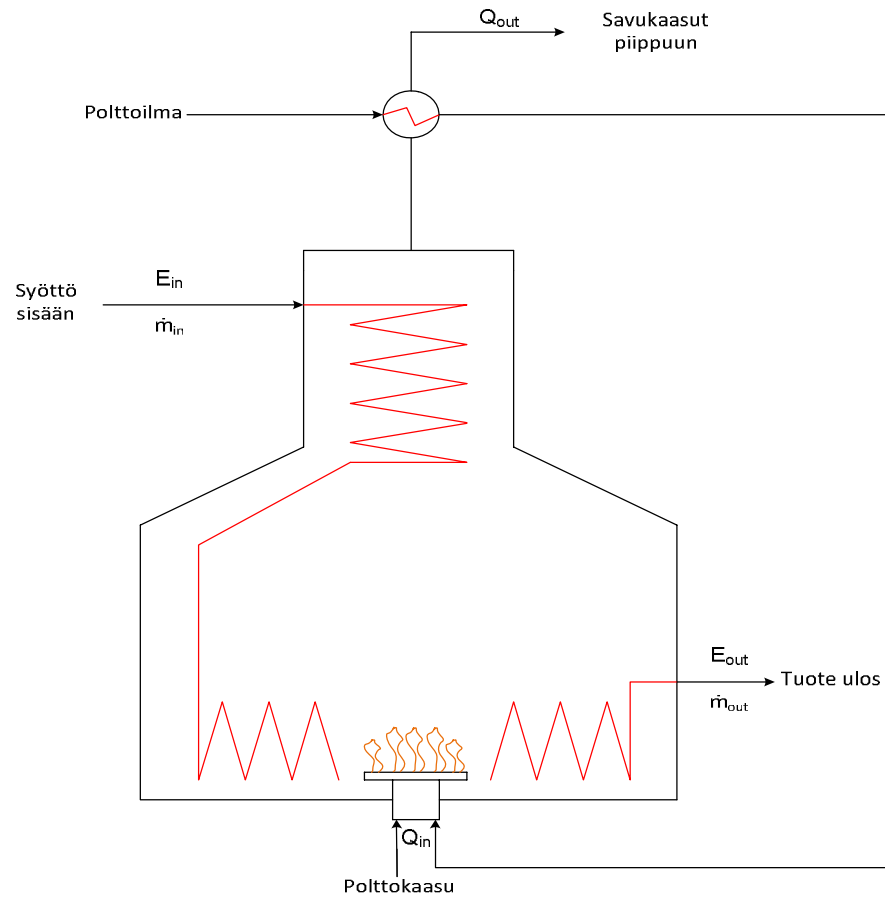
Kuva 3. Vetoprofiili

2.2.1 Energiatase

Uunien energiataase koostuu yksinkertaisuudessaan niihin syötettävien energioiden summasta eli

- syötön sisältämästä sisäenergian ja massavirran suhteesta
- polttoaineina käytettävästä polttokaasun ja polttoilman muodostamasta lämpötehosta
- energiaa luovuttaneesta savukaasusta ja
- lämpöenergiaa absorboineesta prosessifluidista.

Uuniin syötettävä lämpöteho absorboituu konvektio- ja säteilyosan kautta syötettävään aineeseen, joiden jälkeen savukaasussa olevaan energiaa on mahdollista hyödyntää esimerkiksi polttoilman esilämmittimessä. Näin savukaasuista saadaan absorboitua mahdollisimman suuri osa uunille tuodusta energiasta, mikä tarkoittaa maksimaalista uunin hyötysuhdetta, jos mahdollisia lämpöhäviöitä ei oteta huomioon. [5, s.25]



Kuva 4. Energiatase

Uunin energiataase voidaan laskea kaavalla (kuva 4),

$$\sum_{i=1}^N E_{in,i} \dot{m}_{in,i} + Q_{in} - \sum_{i=1}^N E_{out,i} \dot{m}_{out,i} = Q_{out} \quad (1)$$

jossa

E_{in} = syötön mukana oleva sisäenergia, J/kg

\dot{m}_{in} = massavirta sisään, kg/s

Q_{in} = polttoaineiden energiasisältö, J/s

E_{out} = ulostulon sisältämä sisäenergia, J/kg

\dot{m}_{out} = ulostulon massavirta, kg/s

Q_{out} = piippuun menevän savukaasun sisältämä energiamäärä, J/s.

2.2.2 Hyötysuhde

Uunien hyötysuhdetta määritettäessä tarkasteltavana on periaatteessa kaksi asiaa. Polttoteho määrittää uuniin syötettävän energiamäärän, jota verrataan lämmönsiirtotehoon. Uunin lämmönsiirtoteho käsittää kaikki uunin osat, joilla on kyky absorboida savukaasuissa olevaa lämpöenergiaa. Toisin sanoen hyötysuhdetta voidaan verrata näin: mistä maksetaan, mitä saadaan. On huomioitava, että kuumana piippuun ohjattava energiapiipoinen savukaasu ei ole aina talteenotettavissa, esimerkiksi savukaasuista lauhtuessa lähellä kastepistettä muodostuvien korrodoivien yhdisteiden takia, mutta tätä ei hyötysuhdetta laskiessa oteta huomioon. Myös yksikön Pinch-piste on otettava huomioon, kun suunnitellaan savukaasuista energian talteenottoa. [6, s.77]

Hyötysuhde voidaan määrittää kaavalla,

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_{fg} + Q_{air}} \quad (2)$$

jossa

η = hyötysuhde, %

Q_{abs} = absorboitunut lämpöteho, kW

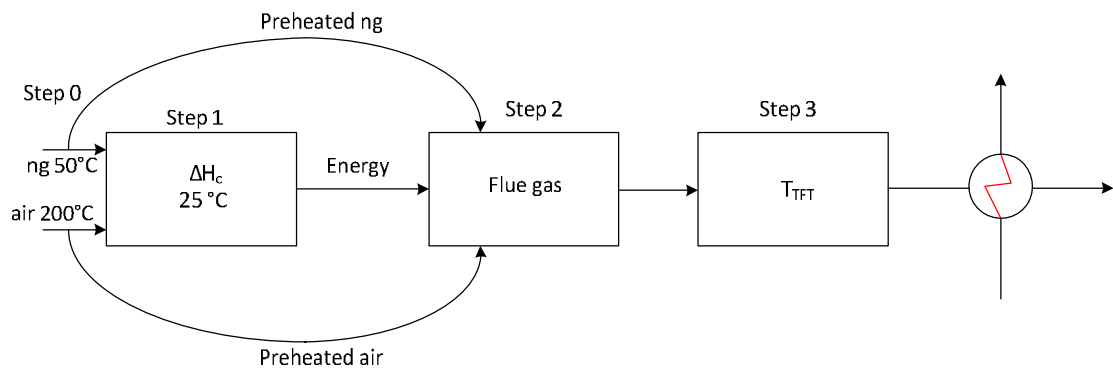
Q_{fg} = syötetyn polttoaineen lämpöteho, kW

Q_{air} = syötetyn ilman lämpöteho, kW

2.3 Teoreettinen liekin lämpötila

Liekin teoreettisen lämpötilan käsite on syytä ymmärtää, koska sillä on suuri vaikutus uunin optimaalisen palamisen perusteisiin (kuva 5). Vaikkakin kyseessä on fiktiivinen

arvo, niin se kuvaa hyvin, kuinka paljon palamisreaktiossa on saatavilla energiaa (taulukko 2). [7]



Kuva 5. T_{tft} laskentakaavio

- Saadaan tieto, paljonko kaasuissa on energiaa (kuva 5, Step 0)

$$Q_{ng} = \dot{m}_{ng} C_{p_{ng}} (T_2 - T_1) \quad (3)$$

$$Q_{air} = \dot{m}_{air} C_{p_{air}} (T_2 - T_1) \quad (4)$$

Kaavassa

Q_{ng} = maakaasun lämpösisältö, kW

\dot{m}_{ng} = maakaasun massavirta, kg/s

$C_{p_{ng}}$ = maakaasun ominaislämpökapasiteetti, J/(kg·K)

T_1 = lämpötila ennen, K

T_2 = lämpötila jälkeen, K

\dot{m}_{air} = ilman massavirta, kg/s

$C_{p_{air}}$ = ilman ominaislämpökapasiteetti, J/(kg·K)

- Lasketaan palamisenergiamäärä NTP-olosuhteissa (kuva 5, Step 1)

$$Q_c = \dot{m}_{ng} \Delta H_{c,ng} \quad (5)$$

Kaavassa,

Q_c = kokonaispalamisenergia, kW

$\Delta H_{c,ng}$ = maakaasun palamisesta vapautuva lämpö, kW

- Lasketaan energiamäärä savukaasussa (kuva 5, Step 2)

$$Q_{flg} = Q_c + Q_{ng} + Q_{air} \quad (6)$$

Kaavassa,

Q_{flg} = savukaasun lämpösisältö, kW

- Lasketaan liekin teoreettinen lämpötila (kuva 5, Step 2)

$$T_{tft} = (Q_{flg} / \dot{m}_{total} \overline{Cp}_{flg}) - T_{ntp} \quad (7)$$

Kaavassa,

T_{tft} = liekin teoreettinen lämpötila, °C

\dot{m}_{total} = kokonaismassavirta, kg/s

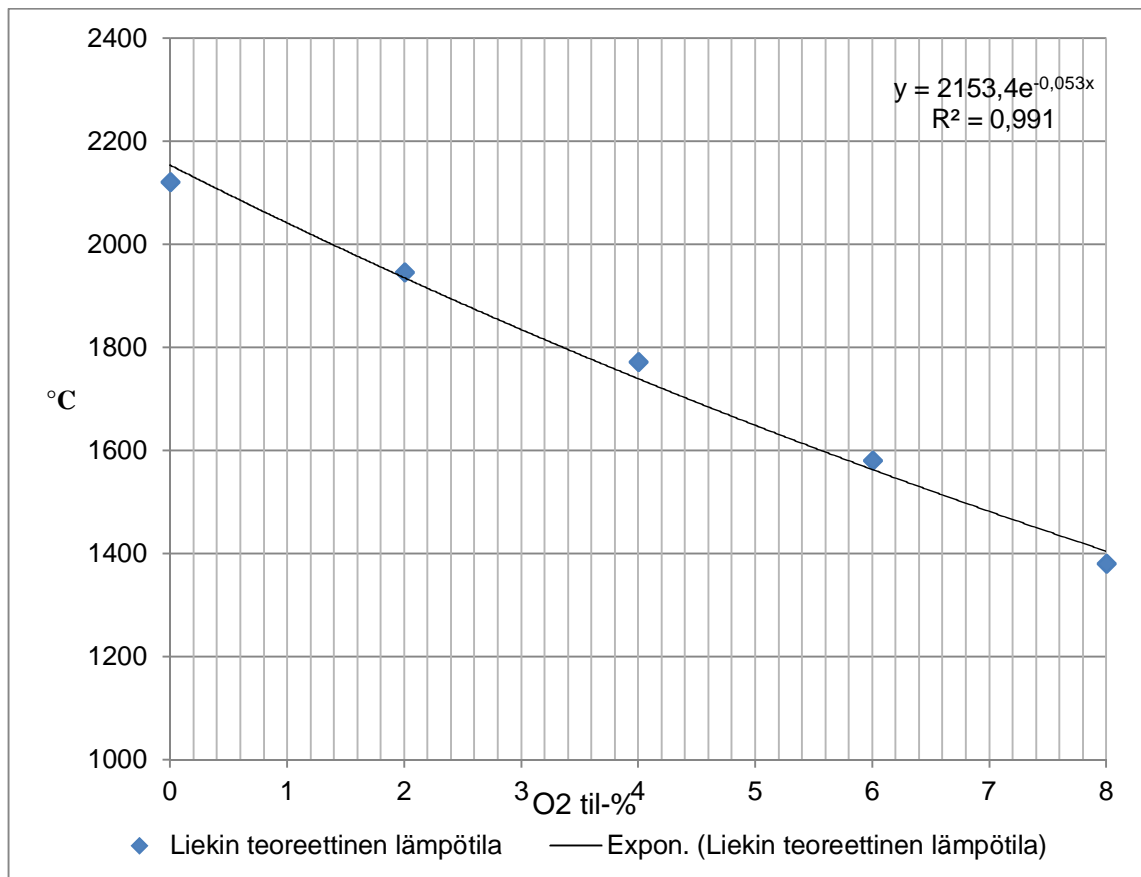
\overline{Cp}_{flg} = keskiarvotettu savukaasun ominaislämpökapasiteetti, J/(kg·K)

T_{ntp} = lämpötila NTP-olosuhteissa, °C

- Lasketaan savukaasun energiamäärä iteroimalla savukaasun Cp-arvo ja liekin teoreettinen lämpötila määritetään trial and error -menetelmällä (Step 3). Savukaasun energiamäärän tulisi olla sama kuin Step 2:ssa (kuva 5).

$$Q_{flg} = \dot{m}_{flg} C_{pflg} (T_{ft} - T_{ntp}) \quad (8)$$

Taulukko 2. Liekin teoreettinen lämpötila

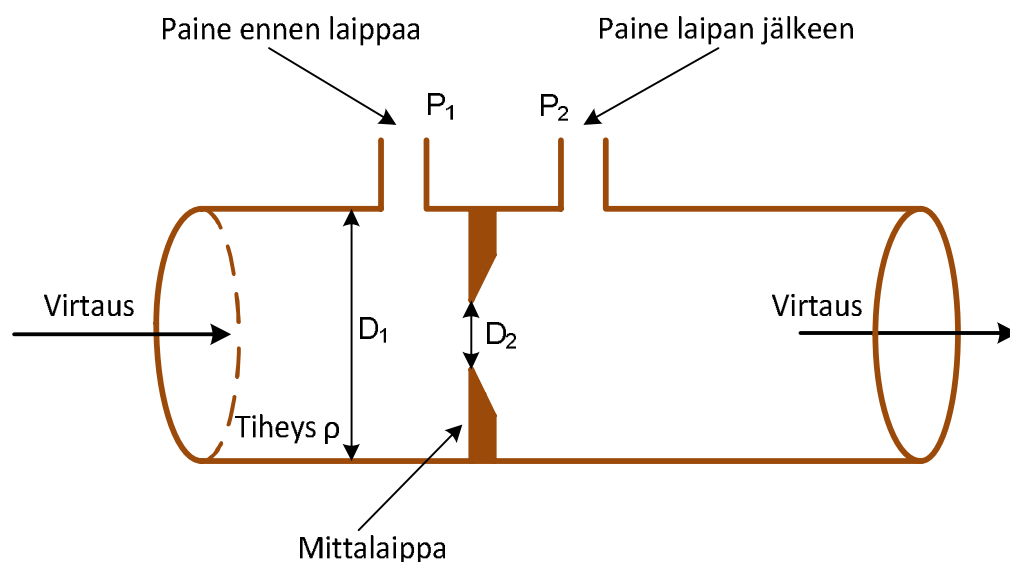


2.4 Virtausmittaukset

Jalostamolla virtausmittauksilla on suuri merkitys niin saantojen kuin turvallisuudenkin kannalta. Mittauksia kalibroidaan usein. Syitä tähän ovat mm. viranomaisvaatimukset, epäilyksittömyys mittauksen luotettavuudesta tai määräaikaikalibrointi. Jalostamolla on monia erityyppisiä virtausmittauksia. Eroavaisuudet liittyvät usein niiden mittausperiaatteisiin ja näin ollen myös huoltoon ja ylläpitoon.

2.4.1 Mittalaippa

Yleisin virtausmittaus kaasuille ja myös nesteille on painehäviöön perustuva mittalaippa (kuva 6). Mittalaippa tarjoaa myös mahdollisuuden pudottaa prosessin painetta, koska laipan rakenteen ominaisuus synnyttää pysyvän painehäviön. [8]



Kuva 6. Mittalaippa

Massavirta määritetään Bernoullin kaavalla,

$$\dot{m} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (9)$$

jossa

ΔP = paine-ero, Pa

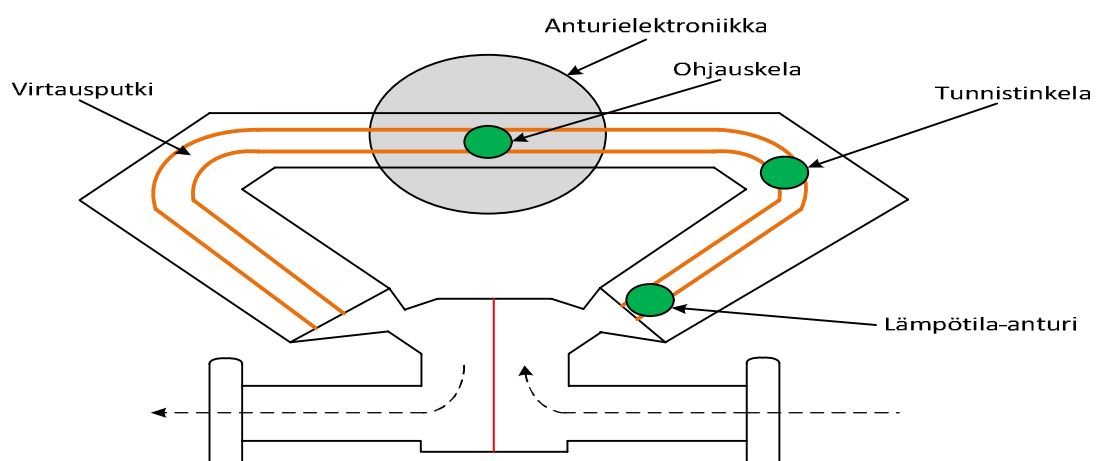
ρ = tiheys, kg/m³

A_1 = putken poikkipinta-ala, m²

A_2 = kuristusosan poikkipinta-ala, m².

2.4.2 Coriolis-mittaus

Coriolis-voimaan perustuva virtausmittaus perustuu virtausputken värähtelyjen mittaamiseen (kuva 7). Mittarityypin ominaisuutena on sen lineaarisuus, sillä toiminta perustuu Newtonin toiseen lakiin, jossa voima on yhtä suuri kuin massa kerrottuna kiihtyvyydellä. Tällöin mitattava virtausputken värähtely on suoraan verrannollinen virtaavaan massavirtaan. Coriolis-mittarilla saadaan mittaustuloksena suoraan virtaava kokonaismassavirta, sillä mittaustulos on yhtä suuri kuin väliaineen virtaava massa kerrottuna virtausnopeudella. Coriolis-massavirtamittarin tärkein ja paras ominaisuus on sen kyky mitata kolmea suuretta yhtä aikaa. Mitattavia suureita ovat massavirta, tiheys ja lämpötila. Mittarityypillä on ominaisuus määrittää virtaavan massan tiheys omien fyysisten mittatietojen perusteella varsin tarkasti. [9, s.182]



Kuva 7. Coriolis-mittaus

Coriolis voimaa voidaan mitata kaavalla

$$F = -2m \Omega V \quad (10)$$

jossa

F = Coriolis voima, N

m = väliaineen massa, kg

Ω = kulmanopeus, rad/s

V = virtausnopeus, m/s

2.4.3 Vortex-mittaus

Pyörrevanamittaus hyödyntää ultraääniteknologiaa, jonka avulla mittauksessa olevan virtauseste minimoi pyörteiden synnyttämiseen tarvittavan painehäviön (kuva 8). Pyörteiden taajuus on suoraan verrannollinen virtausnopeuteen, josta putken halkaisijan avulla voidaan laskea tilavuusvirta. Vortex-mittaus soveltuu moniin käyttökohteisiin ja on rakenteeltaan yksinkertainen. [10]

$$\dot{m} = AV_{avg} = \frac{fdA}{S_t} \quad (11)$$

jossa

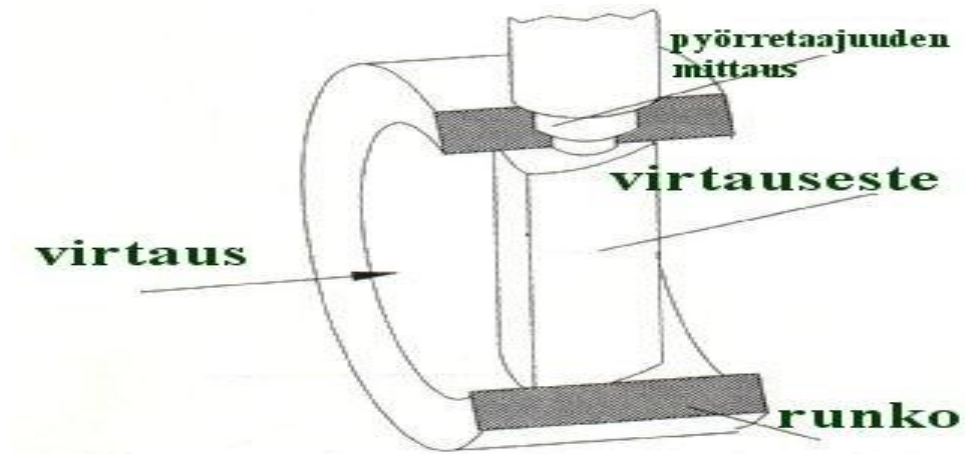
A = rungon poikkipinta-ala, m²

V_{avg} = keskimääräinen virtausnopeus, m/s

f = pyörteiden taajuus, 1/s

d = virtausesteen leveys, m

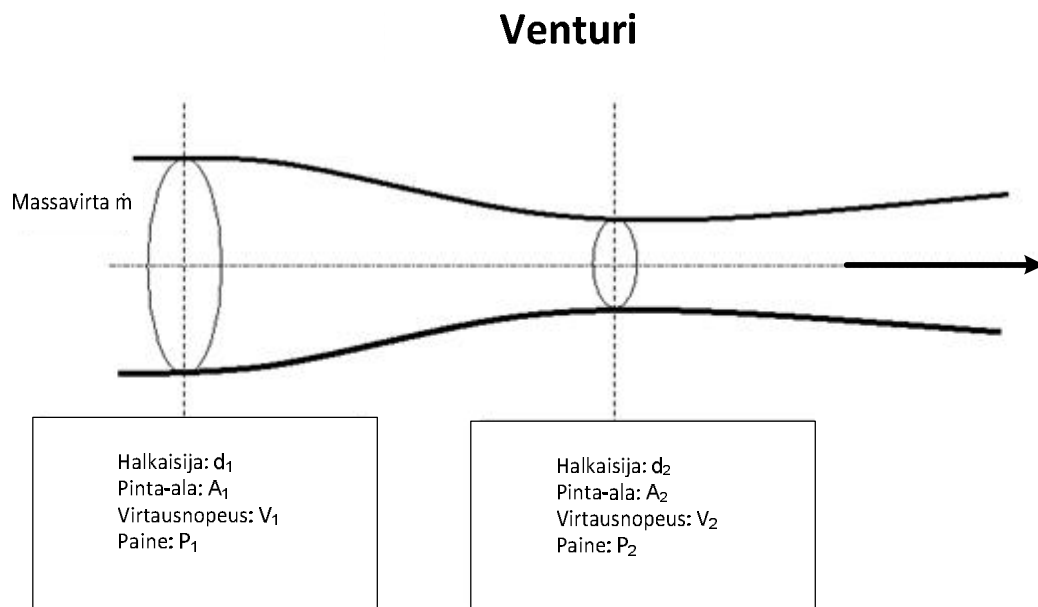
S_t = Strouhalin numero, -



Kuva 8. Vortex-mittaus [10]

2.4.4 Venturiputki

Bernoullin yhtälöön perustuva venturiputki on paine-eromittaus, jonka suuri kapasiteetti ja pieni pysyvä paine-ero sopivat hyvin suurten tilavuusvirtojen mittaamiseen (kuva 9). Sovelluskohteena voi olla esimerkiksi uunien polttoilman mittaus. [8]



Kuva 9. Venturi-mittaus

Massavirta lasketaan kaavalla

$$\dot{m} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (12)$$

2.5 Virheanalyysi

Palamisolosuhteiden täytyy olla optimaaliset, jolloin on mahdollista pyrkiä energiatehokkaampaan ajomalliin. Palamisolosuhteiden hallinnassa virtausmittauksilla on suuri rooli. Virtausmittausten eri ominaisuudet luovat virhettä, joka on pystyttävä huomioimaan mallia kehitettäessä. Mittalaitteiden epävarmuutta voidaan arvioida valmistajien laitteilleen määrittämän nolapisteen pysyvyyserin avulla 95 %:n luottamusvälillä.

$$U_m = \pm 0,5 + \frac{ZS}{\dot{m}} 100 \quad (13)$$

kaavassa

U_m = mittalaitteen epävarmuus, %

ZS = nolapisteen pysyvyys, kg/s.

Mittalaitteen kokonaisvirhe ei ole ainut virhettä aiheuttava epävarmuus, kun ajatellaan koko mittausketjua. Myös DCS-tulo, signaalin käsittely, parametointi, likaantuminen, viiritys ja mahdollinen tiheyskompensointi tuovat mittausketjuun lisää epävarmuutta (taulukko 3).

Yhdistetty standardiepävarmuus lasketaan kaikkien epävarmuuksien summalla

$$U_c = \sqrt{\sum_p U_p^2} \quad (14)$$

jossa

U_c = standardiepävarmuus, -

U_p = standardiepävarmuuskomponentti, -

Taulukko 3. Epävarmuustekijät

	Coriolis	Mittalaippa	Vortex
Toistettavuus	x		x
Lineaarisuus	x		x
Hystereesi	x		x
Nollavirhe	x		
Kennon suorituskyky		x	
Stabilisuus		x	
Staattinen paine		x	
Ympäristön lämpötila		x	

2.6 Savukaasu

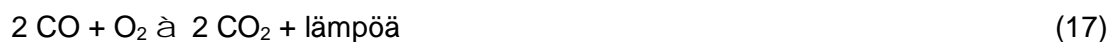
Erilaisia hiilivety-yhdisteitä sisältävää polttokaasua poltettaessa palamistuotteena syntyvä savukaasu koostuu useista eri kemiallisista yhdisteistä (taulukko 4).

Taulukko 4. Savukaasuanalyysi [11]

Mittauspaikka	KTY	
Päivämäärä	3.7.2013	
Klo	13.30-15.30	
Prosessiolosuhteet*)		
– polttokaasumäärä (kg/h), FCA555	1335	
– polttoilma (t/h), FCZ559	20,0	
– O ₂ -pitoisuus (til.-%, kostea), ACA508	7,6	
Savukaasu ennen piippua		±
– lämpötila (°C)	226	2
– vesisisältö (til.-%)	9,5	1,2
– O ₂ -pitoisuus (til.-%, kuiva)	10,9	1,1
– CO ₂ -pitoisuus (til.-%, kuiva)	6,0	0,6
– CO -pitoisuus (ppm , kuiva)	5	3
Rikin oksidit		±
– SO ₂ -pitoisuus (ppm , kostea)	< 1	4
– pitoisuus (mg/m ³ n, kuiva), red.O ₂ =3 %	5	23
Typen oksidit		±
– NO _x -pitoisuus (ppm , kostea)	41	10
– pitoisuus (mg/m ³ n, kuiva), red.O ₂ =3 %	165	45

2.6.1 Hiilidioksidi, CO₂

Fossiilista polttoainetta käytettäessä hiilidioksidi on palamisprosessissa syntyvä primäärinen kasvihuonekaasu. Jalostamon hiilidioksidipäästöt ovat lähes 3 Mt/a. Hiilidioksidista käydään päästökauppaa, minkä takia se on yksi uunien käytön kustannustekijä. On oletettu, että vuodesta 2013 vuoteen 2020 päästöoikeuksista maksettavat hinnat nelinkertaistuvat. CO₂-päästöjä voidaan hallita uuneilla puhtaammilla polttoainelaaduilla, kuten metaanin tai vedyn käytöllä. Myös uunien kunto ja käyttö on vaikuttavana tekijänä, koska jos palamisprosessi joka palaa epätäydellisesti, saa happea poltinpesän ulkopuolella, syntyy hiilidioksidia.



2.6.2 Happi, O₂

Ilman hapen läsnäoloa ei palamista tapahdu, joten se on tärkeä osa palamisprosessia. Hapella voidaan hallita CO-päästöjä ja muuntaa ne hiilidioksidiksi. Hiilivetyjä poltettaessa uuneilla palaminen on täydellistä, jos palamisessa jää happea yli. Jos taas happi ei paikallisesti riitä, syntyy hiilimonoksidia eli häkää, joka voi aiheuttaa mm. likaantumista tuubeissa rajoittaen lämmönsiirtoa. Pahimmassa tapauksessa likaantuminen voi aiheuttaa uunin sisällä koksipalon. Hapen riittävän suuri määrä ja hyvä sekoittuminen polttimilla auttaa vähentämään päästöjä.

2.6.3 Typen oksidit, NO_x

Palamisreaktioissa syntyy ihmiselle ja eliöille vaarallisia typpiyhdisteitä, joiden syntyä pyritään minimoimaan. Premix-polttimilla korkea ilmapitoisuus vähentää NO_x-yhdisteiden syntyä, koska polttoaineesta tulee köyhempää, mikä taas tarkoittaa, että liekin lämpötila laskee. Low-NO_x-polttimilla, joissa on vaiheistettu polttoilman syöttö, tilanne on erilainen. Polttimilla on ilmankuristuspellit, joiden avulla niiden läpi virtaava polttoilma pidentää liekkiä, jolloin myös liekin lämpötila laskee. Näin terminen NO_x-kaasujen muodostuminen vähenee.

2.6.4 Analysaattorit

Savukaasuanalysointilaitteilla on mahdollista mitata kaasusta useita erilaisia komponentteja ja niiden konsentraatioita. Prosessista riippuen mitattavia aineita ovat mm. O₂, NO_x, CO, CO₂ ja partikkelit eli analysaattorit sopivat niin emissiohallintaan kuin myös tuottavuuden kasvattamiseen. Analysointilaitteiden mittauspisteet sijaitsevat yleensä savusolan alkupäässä.

Prosessiuuneissa poltettavan kaasun palamistehokkuutta valvotaan jatkuvatoimisilla analysointilaitteilla. Jokaisella uunilla on oma happimittaus, jonka tuloksien avulla uunia

pyritään optimoimaan. Tämä tapahtuu säätämällä poltettavan kaasun ja polttoilman välistä suhdetta. Pakkovetoisilla uuneilla analysoijalle määritetään asetusarvo, jonka avulla uunin säätimet pitävät asetetun ilma-kaasusuhteen mahdollisimman vakiona, prosessin heilunnasta huolimatta. Luonnonvetoisilla uuneilla ilma-kaasusuhteen säätö tapahtuu käsin, säätämällä uunin ilmarekistereitä. Myös tämän takia luonnonvetouunit ovat epätarkempia säätää, koska prosessien heilahteluiden myötä uuni täytyy aina säätää uudelleen.

3 Mittarin rakentaminen

Konsepti mittarin rakentamisen perusteisiin luodaan tarkastelemalla uunia ja sen eri muuttujia operaattorin näkökulmasta. Kaikkia muuttujia ei ole helppo hallita tai niiden huomioon ottaminen voi olla hankalaa, esimerkiksi puutteellisen instrumentoinnin tai näytteiden hitaan analysoinnin takia.

3.1 FRNC5-simulaattori

Uunien mallintamiseen jalostamalla on käytössä PFR Engineering Systems:n FRNC5-uunisimulaattori. Ohjelmiston avulla on mahdollista tarkastella uunin lukuisia eri muuttujia prosessin muuttuessa. Simulaattorin laskenta perustuu siihen syötettyyn spesifiseen dataan, kuten uunin geometriaan, polttodataan ja prosessin tilaan. Käyttötarkoituksena voi olla mm. kapasiteetin nosto, saantojen lisääminen, seisokkiajan minimointi, opetuskäyttö tai operointikustannusten optimointi.

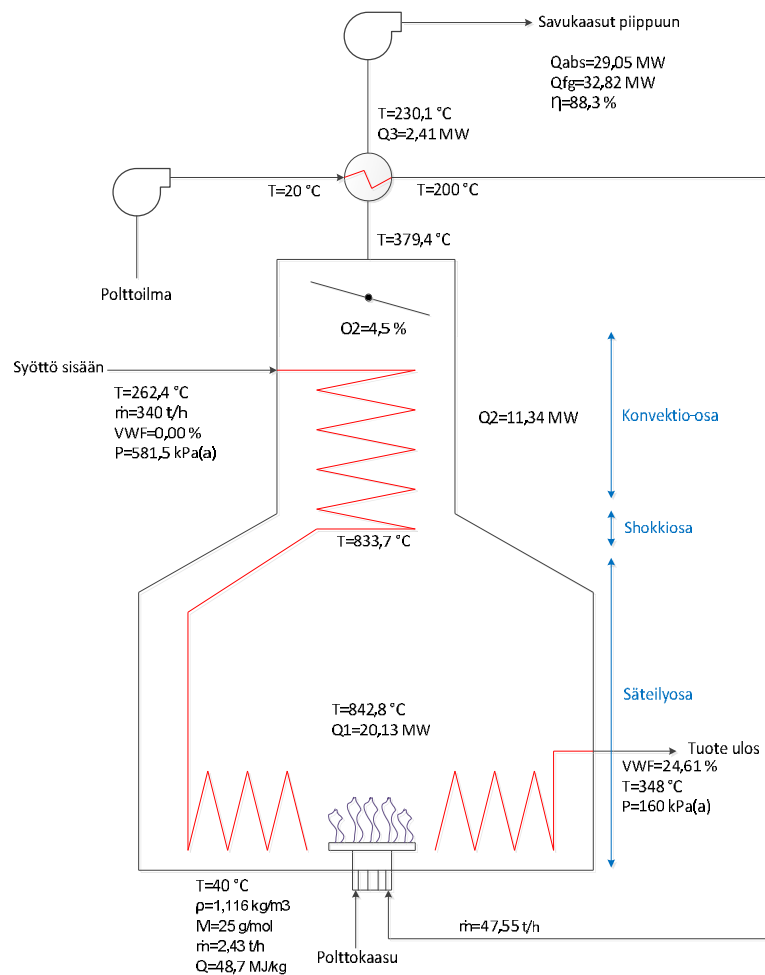
3.2 Mittaukset

Simulaattori mahdollistaa laskennan tekemisen prosessimuuttujien tai polttotapahtuman muuttujien avulla. Tässä työssä laskenta suoritetaan palamisolosuhteita muuttamalla, pitäen varsinaisen prosessipuolen vakiona. Tämä on myös todellinen ja yleinen tilanne jalostamon uuneilla. Prosessien tila pidetään mahdollisimman vakaana uunien käytön kustannuksella. Näin uunien optimaalinen energiatehokkuus kärsii, koska uunien säätämien vaste ei korreloi täydellisesti prosessin muutoksen vauhdissa.

Tapauksen mallintamisessa käytettiin kaasuöljyntislaus – yksikön BA-501-uunia. Prosessin tila mallinetaan ensin oletettuun optimiin, jota verrattiin 12 h:n aikaiseen operointiin. Malli mittaa käytetyn energian kulutuksen tunti tunnilta koko vuoron ajan. Tätä mallia verrataan todellisen operoinnin malliin, johon on rakennettu todenmukainen operoitava muutos. Tapauksesta riippuen muutos voi vaatia kenttä- tai ohjaamo-operointia tai molempia.

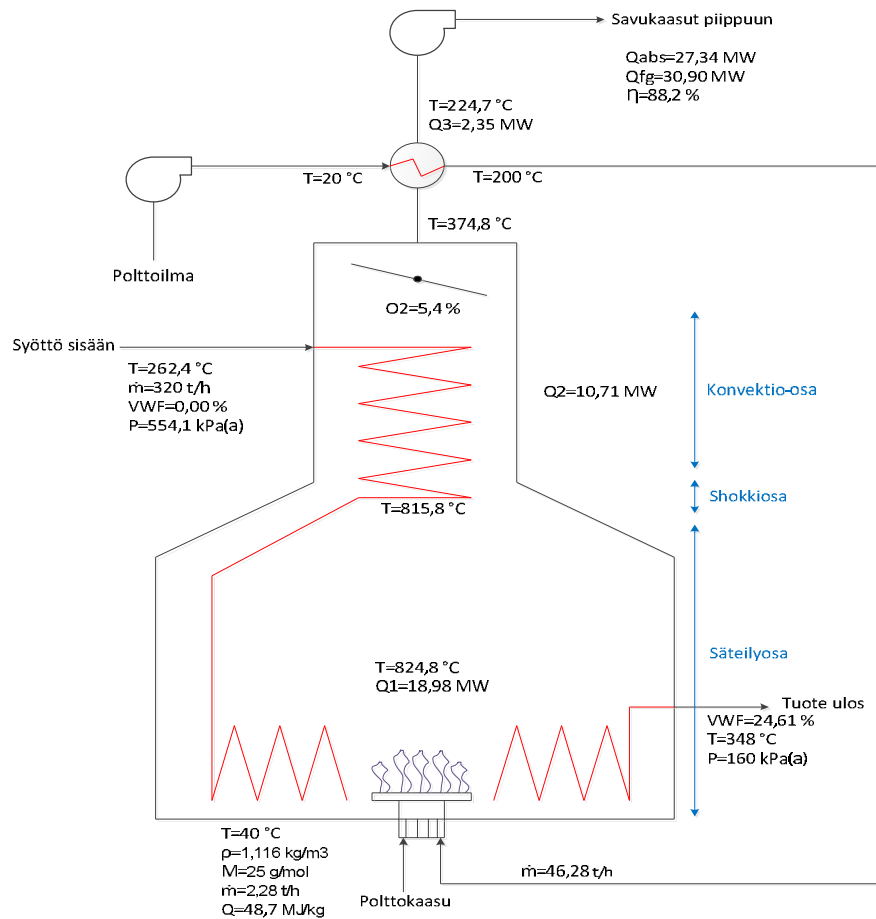
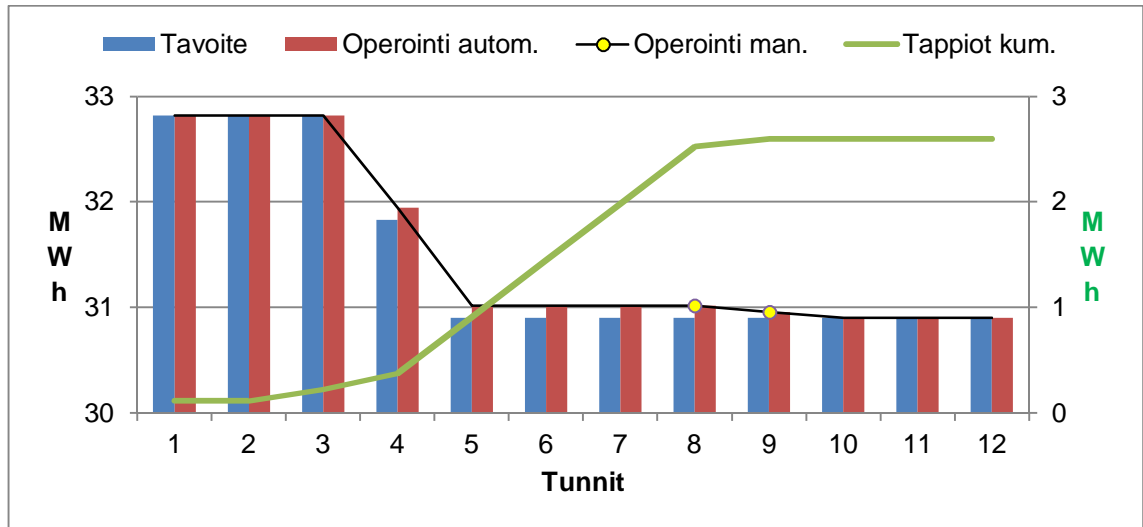
3.2.1 Syötön määrän muutos (pakkoveto)

Yksikön syöttötasona on käytetty 340 t/h, uunin savukaasun happipitoisuuden ollessa 4,5 vol-% (kuva 10). Syöttöä on hallitusti laskettu tasolle 330 t/h ja edelleen tasolle 320 t/h (tunnit 3 ja 4). Uunilta sammutetaan polttin, mutta ilmarekisteriä ei suljeta. Tämä aiheuttaa tilanteen, jossa uuniin virtaa sammutetun polttimen kautta ilmaa (tunti 4) ja happisäädin alkaa rajoittamaan. Uunin savukaasun happi nousee arvoon 6 vol-%. Vasta tuntien 8 ja 9 aikana uunin ilmavuodot korjataan manuaalisesti eli suljetaan kentältä sammutetun polttimen ilmarekisteri, jolloin uunin happisäädin pääsee asetusarvoonsa 5,4 vol-%. Loppuajan vuorosta uuni suoriutuu tavoitteessaan (taulukko 5). Kuvassa 11 lopputilanne.



Kuva 10. Tunti 1.

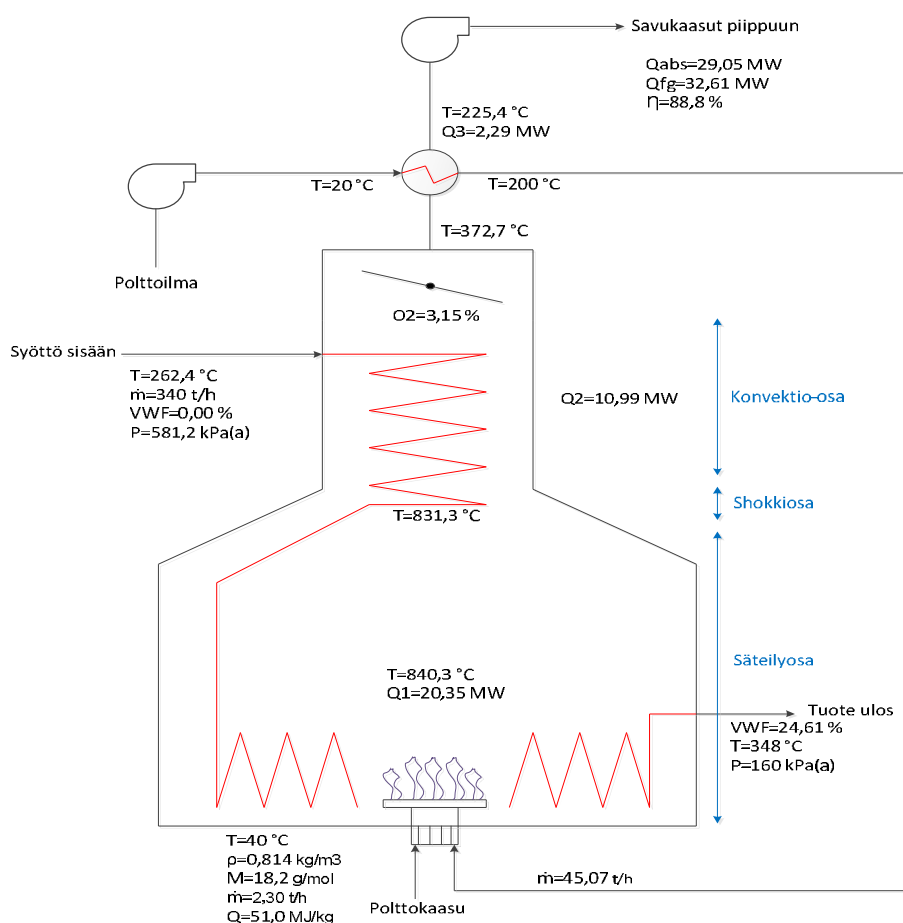
Taulukko 5. Energian kulutus



Kuva 11. Tunti 12.

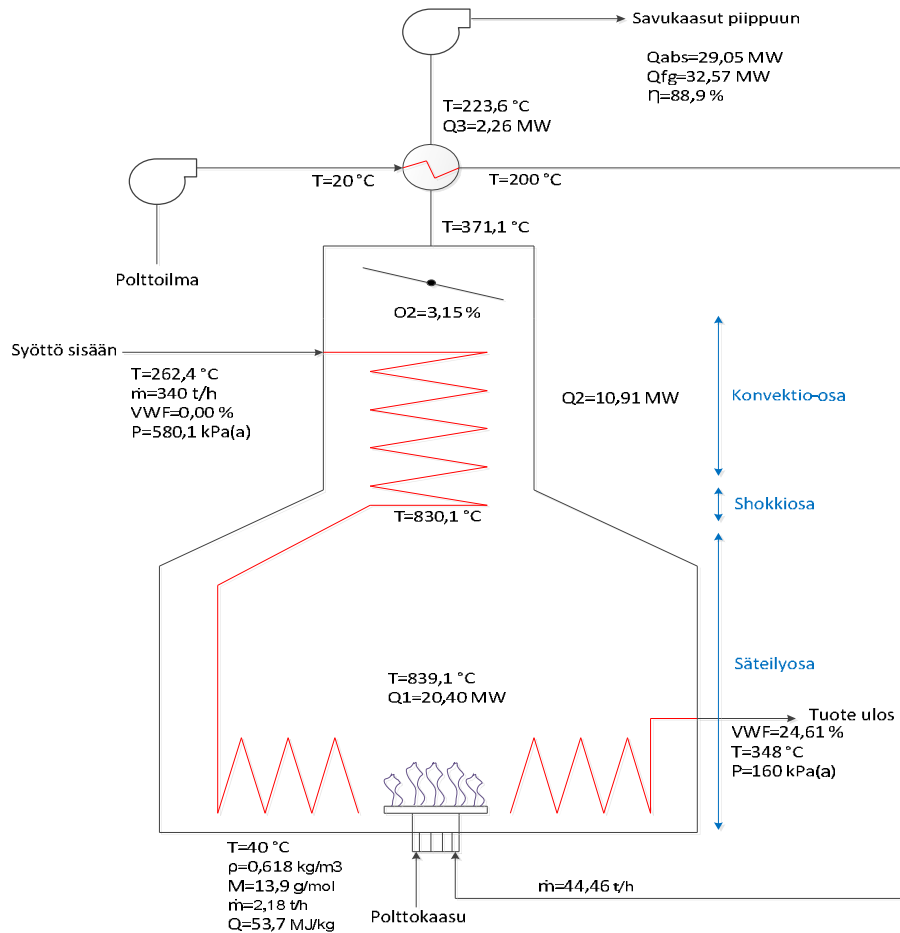
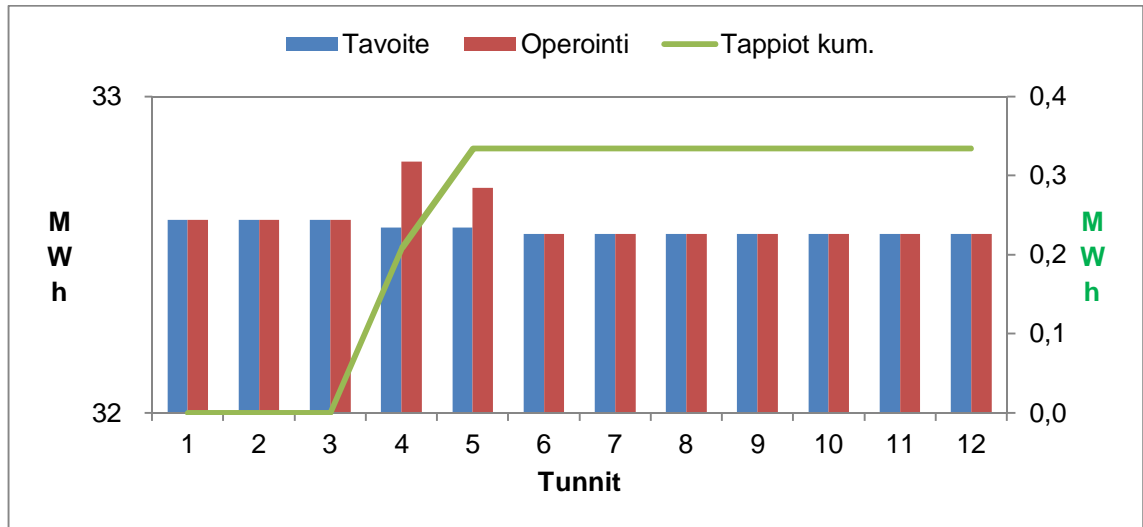
3.2.2 Polttokaasun muutos (pakkoveto)

Vuoron alussa uunin polttoaineena käytettävän polttokaasun komponenttiosuudet mooliprosentteina ovat seuraavat: hiilivedyt 52 mol-% ja vety 48 mol-%, uunin ylimäärähapen ollessa 3,15 % (kuva 12). Polttokaasun sekaan virtaa nopeasti suuri määrä vetyä keventäen polttokaasun tiheyttä; hiilivedyt 38 mol-% ja vety 62 mol-%. Uunin säätimet pyrkivät muutoksen tapahtuessa pitämään tuotteen ulostulolämpötilan asetusarvossaan. Tällöin säätimien, varsinkin polttoilmasäätimen, suuret liikkeet aiheuttavat uunilla huojuntaa, joka korjaantuu vasta parin tunnin kuluessa. Tuntien 4 ja 5 aikana polttokaasun lämpöarvo nousee vetyosuuden kasvaessa, mutta samanaikaisesti polttoilma lisääntyy (taulukko 6). Tämä hetkellinen korjausliike johtuu siitä, että vedyn palamiseen tarvittava ilmamäärä on noin puolet enemmän kuin kevyillä hiilivedyillä. Kuvassa 13 lopputilanne. Jos uunin säätöpiiriin olisi kytkettyä polttokaasun lämpöarvon huomioiva Wobbe-analysaattori, tämän kaltainen tilanne olisi helpommin hallittavissa.



Kuva 12. Tunti 1.

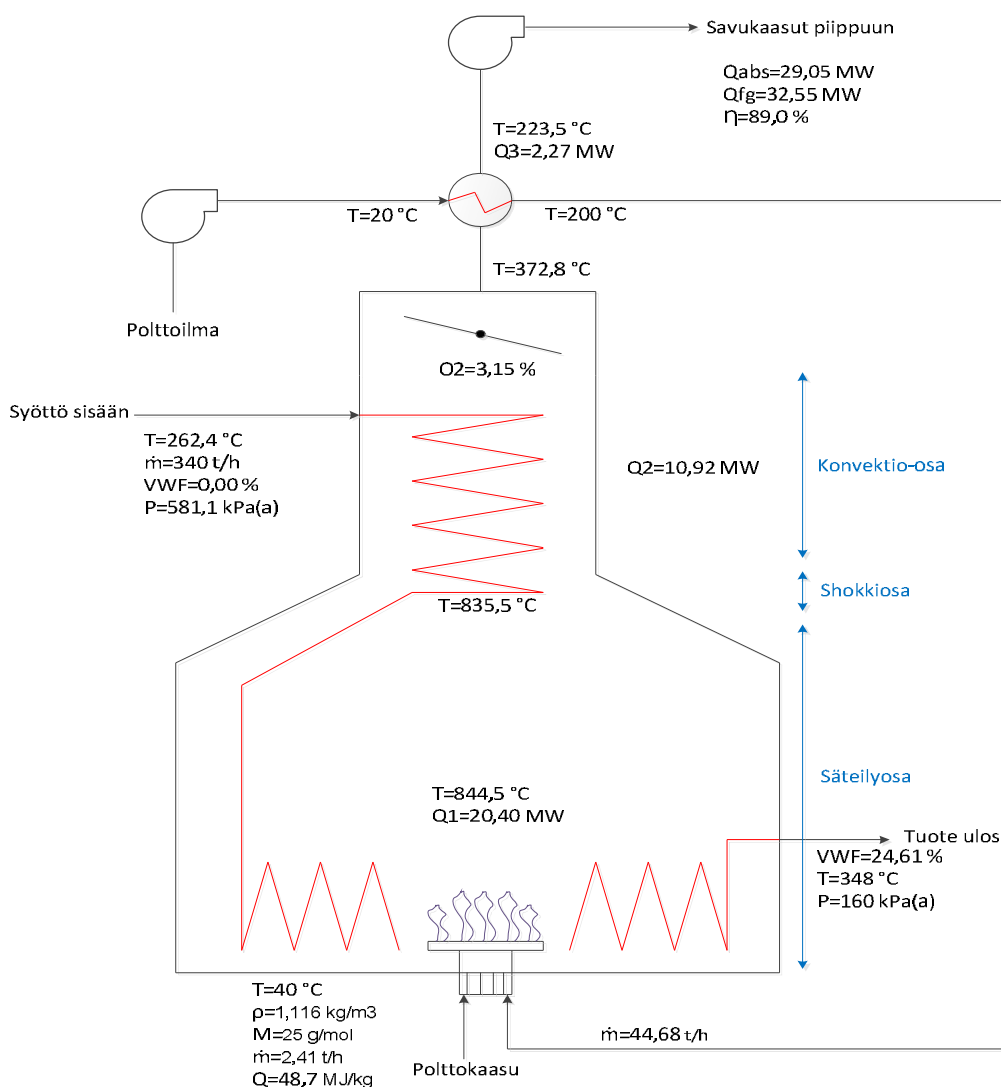
Taulukko 6. Energian kulutus



Kuva 13. Tunti 12.

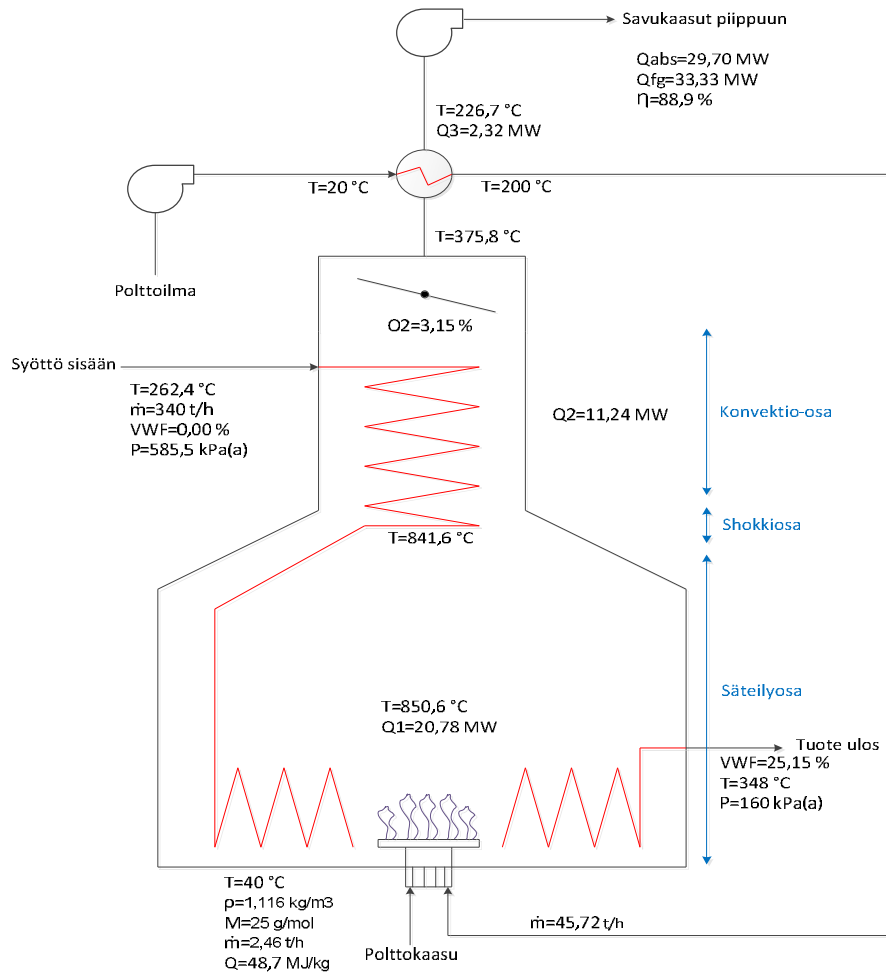
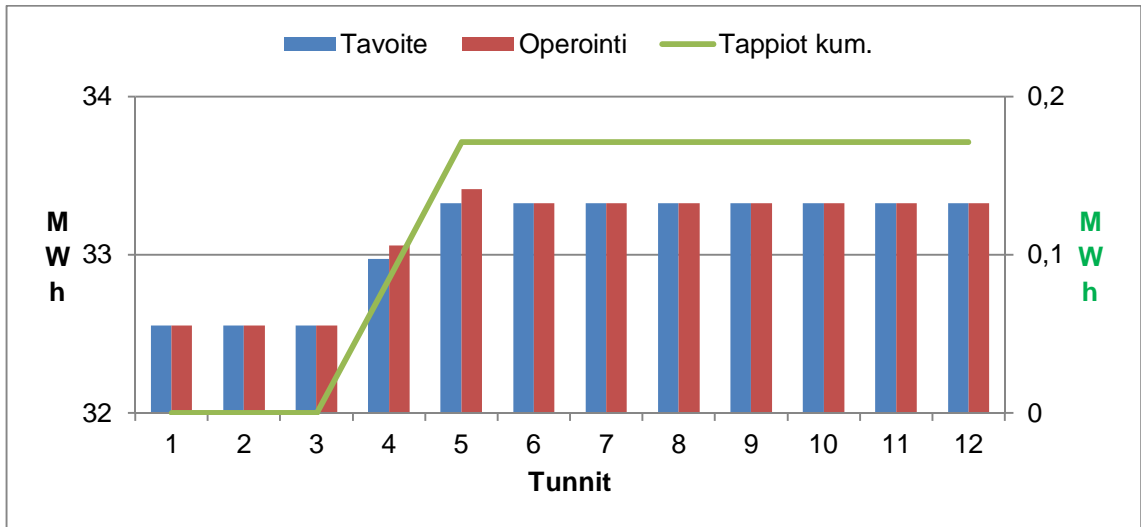
3.2.3 Syötön laadun muutos (pakkoveto)

Yksikköön syötettävän öljyn tiheys muuttuu 882 kg/m^3 :sta 860 kg/m^3 :een (tunnit 4 ja 5). Tämä tarkoittaa sitä, että keveiden komponenttien osuus syöttöaineessa kasvaa. Koska uunin ulostulolämpötila pidetään samana, polttokaasuvirtaus uunille lisääntyy, mikä taas johtaa höyrystymisasteen nousuun (kuva 14). Tiheysmuutoksen alkaessa uunin säätimet säätävät uunille polttoilmaa ja polttokaasua liiallisesti. Virtausmuutosten vakiintuessa säätimet normalisoituvat (taulukko 7). Säätimien ylimääräinen toiminta rauhoittuisi jatkuvatoimisella analysaattorilla, joka analysoisi prosessivirtaa. Simulointimallin avulla pystyttäisiin hallitsemaan paremmin uunin jälkeen kolonnille syötettävän prosessivirran höyrystymisosuutta. Kuvassa 15 lopputilanne.



Kuva 14. Tunti 1.

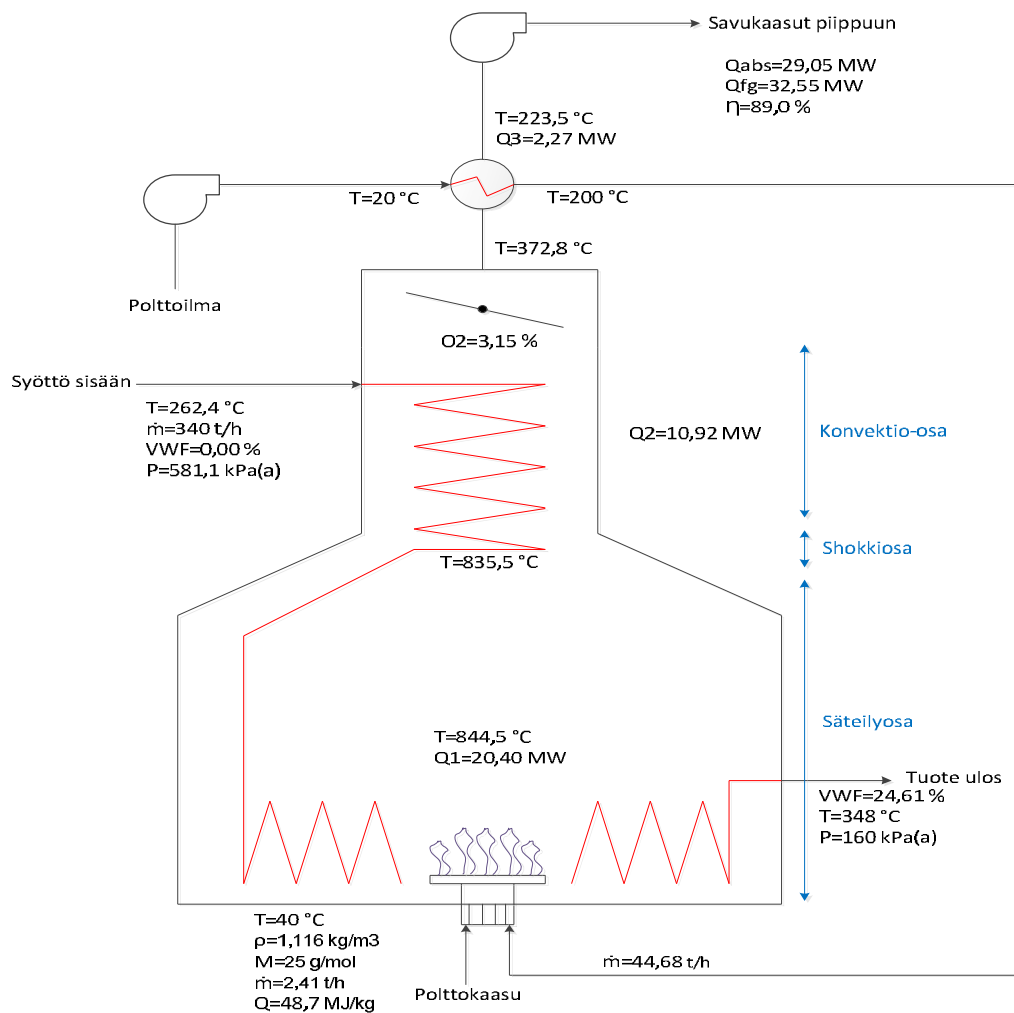
Taulukko 7. Energian kulutus



Kuva 15. Tunti 12.

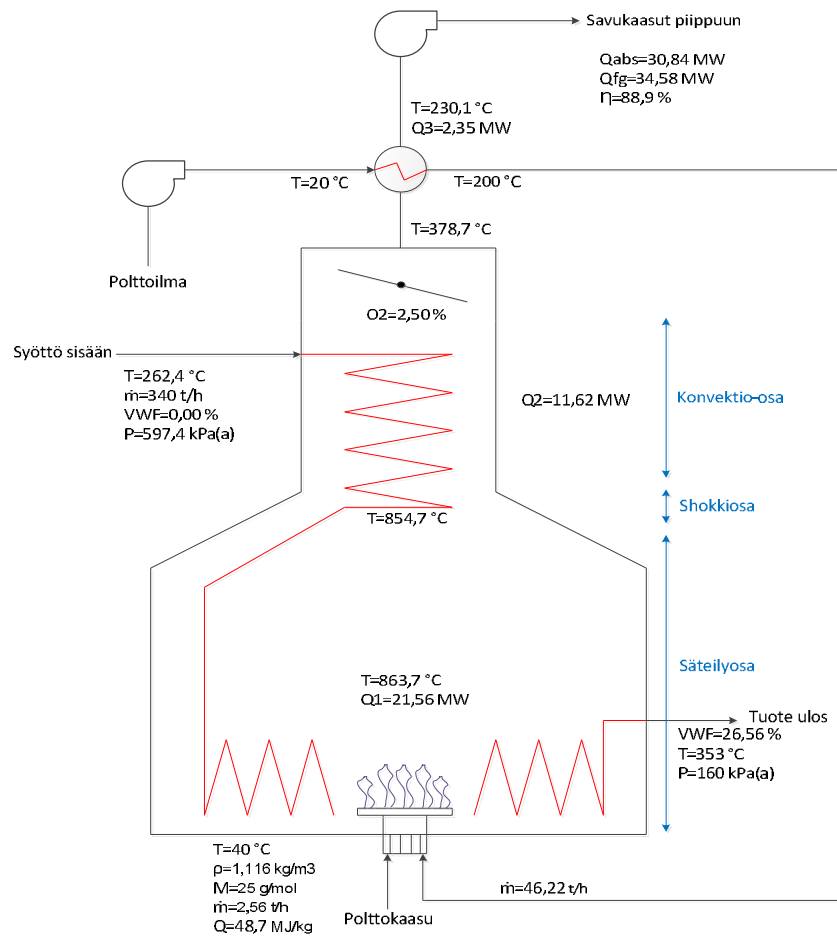
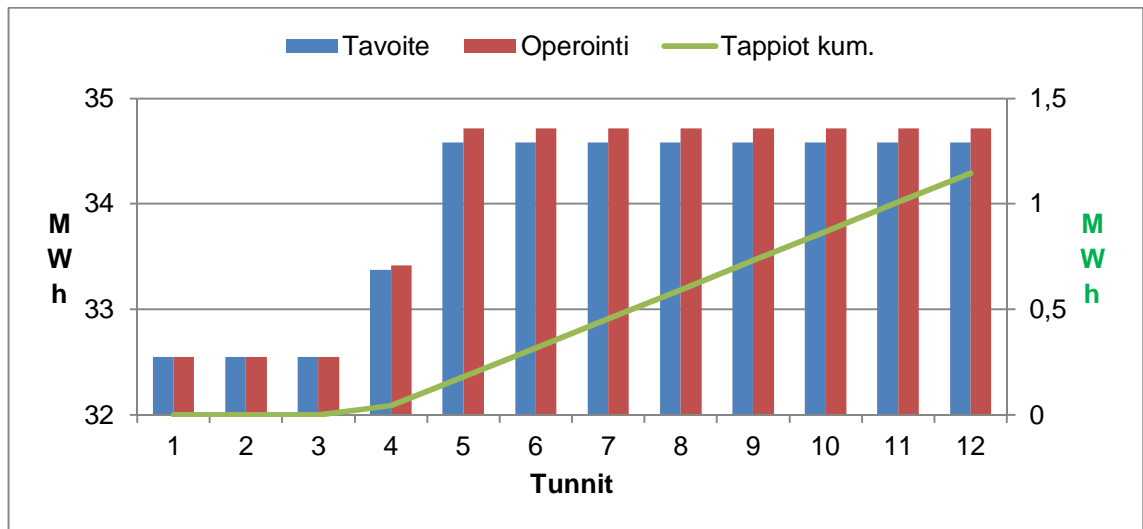
3.2.4 Tuotelaadun muutos (pakkoveto)

Uunin ulostulon lämpötilaa muuttamalla säädetään sen höyrystymisastetta. Uunin ulostuloa nostetaan 348 °C:sta 353 °C:een (tunti 4 ja 5). Lähtötilanteessa happitaso on 3,15 vol-% (kuva 16). Uunin lähtiessä ottamaan lisää tehoja pitäisi olla myös varaa laskea happitasoa. Simuloinnissa hapelle on tavoite 2,5 vol-%, jota uuni ei koskaan tavoita. Syy tähän on, että uunin säätimet ovat automaattilla, jolloin uunin polttoilma-polttokaasu-suhteesta laskettava stoikiometrinen ilmakerroin rajoittaa. Tästä syystä myös uunin hyötysuhde jää asetetusta tavoitteesta (taulukko 8). Tällaisen tilanteen ilmettyä on uuni hyvä käydä kentältä kauttaaltaan läpi, etsien mahdollisia ilmavuotoja uunin rakenteista. Kuvassa 17 lopputilanne.



Kuva 16. Tunti 1.

Taulukko 8. Energian kulutus



Kuva 17. Tunti 12.

4 Yhteenveto

Opinnäytetyön suunnitteluvaiheessa oli selvää, että jalostamon uuneja ei operoida täysin optimaalisesti. Työn tarkoituksena oli siis tuoda esiin olennaisia asioita, miten uuneja tulisi operoida ja selvittää, tukeeko simulointimallin käyttö tavoitteen asettelua. Simulointikonseptin avulla haluttiin hakea reaaliaikaista oikean operoinnin mallia. Myös oppimisen ja ymmärtämisen tueksi 12 tunnin historiadatan tallennus on tärkeä elementti.

Teoriaosan pääasia oli käsitellä eri uunien perusasioita. Työ sisältää perusteet uunien rakenteista sekä laitteistosta, jolla uuneja säädetään. Energiatase tuotiin esille, jotta hyötysuhteen korrelaatio on helposti ymmärrettävissä. Laskenta keskittyi yleisesti vähän esillä olevaan asiaan eli liekin teoreettisen lämpötilan laskentaan. Tällä termillä haluttiin tuoda esille uunien yli-ilmamäärällä ajamisen vaikutus liekin lämpötilaan ja sen myötä uunin energiantarpeeseen. Virheanalyysissä käsiteltiin eri mittalaitteistojen ominaisuuksia, jotka tuovat virhettä uunien taselaskentaan.

Soveltavassa osassa FRNC5- simulaattorilla testattiin erilaisia prosessitilanteita, jotka kuvaavat normaaleja tapahtumia prosessin vaihdellessa. Steady state-mallien avulla haettiin alku- ja lopputilanteet ja tehtiin simulointi, kuinka uuni suoriutuu prosessimuutoksesta, sekä mallinnettiin mahdollinen operointi. Johtopäätös on se, että simulointimallien avulla uuneja voidaan operoida energiatehokkaammin.

Polttokaasun laadun muutos aiheuttaa liekissä värimuutosta, mutta ennen kaikkea turvallisuuden kannalta tärkein asia on liekin muoto. Käytännössä tämä tarkoittaa, että mitä vähemmän polttoilmaa polttimille ohjataan eli mitä energiatehokkaammin pyritään toimimaan, sitä levottomammaksi liekki muuttuu. Jalostamon polttokaasun laadun eli niiden komponenttien muutoksien ollessa suuria liekin ulkonäkö on mahdoton mallissa huomiioon otettava säätöparametri. Tästä johtuen malli ei korvaa kenttävalvontaa.

Mallien tarkkuutta ei voida pitää parhaana mahdollisena, koska mallit eivät ota huomioon todellista tilannetta. Uunien mahdolliset ilmavuodot, rakenteiden eheys ja yleinen mekaaninen kunto ovat olennaisessa osassa mallin luotettavuutta. Myöskään prosessin mittalaitteista aiheutuvaa virhettä ei huomioida käytännön olosuhteissa. Olisi tärkeää, että malleja tarkasteltaisiin ja viritettäisiin säännöllisin väliajoin, jotta virhemarginaali saataisiin mahdollisimman pieneksi.

Simulointimallien käyttö tulee varmasti lisääntymään tulevaisuudessa niin kokonaisprosessien kuin yksikköprosessien osalta ja mielestäni on myös perusteltua tuoda malleja energiatehokkuutta tukeviin ratkaisuihin. Uunien energiatehokkuuspotentiaalit ovat selkeästi olemassa. Tarvitaan kuitenkin lisää työtä, että mallien ja todellisen tilanteen korrelaatio saadaan mahdollisimman hyväksi ennen mittaroinnin käyttöönottoa. Tämä vaatii jatkuvaa mallinnusta sekä reagointia ohjaamossa että kenttäoperoinnissa.

Syötön ja polttokaasun ominaisuuksia tarkkaillaan nykyisin vain satunnaisilla laboratoriotesteillä. Polttokaasun lämpöarvoa olisi mahdollista määrittää Wobbe-analysaattorilla, joka olisi mahdollista kytkeä myös uunin säätöpiiriin. Vaihtelevien syöttöaineiden määrittämisessä oiva apu olisi online-kaasukromatografi. Käytännössä tämä tarkoittaisi, että suurimmista muuttujista olisi online-data tarjolla välittömästi.

Lähteet

- 1 Neste Oil. yritysesittelykalvo.
- 2 Uunikoulutus. Neste sisäinen dokumentti.
- 3 Process burners 101. 2013. Verkkodokumentti. <https://www.aiche.org/sites/default/files/cep/20130835.pdf>. Luettu 3.1.2015.
- 4 Baukal. Charles E. jr. 2013. The John Zink Hamworthy Combustion Handbook. Fundamentals. 2nd edition. Taylor & Francis Group.
- 5 Teollisuusuunien energiatehokkuus. 2015. Motiva Oy.
- 6 Stockill, David. 2013. Energy Efficiency in the Process Industries. Emerson.
- 7 Theoretical flame temperature.
- 8 Flow of Fluids. Crane. 2010.
- 9 Baukal. Charles E. jr. 2013. The John Zink Hamworthy Combustion Handbook. Design and Operations. 2nd edition. Taylor & Francis Group.
- 10 Vortex-virtauksen mittaus. 2005. Verkkodokumentti. <http://moodle.keuda.fi/kansiot/kao-lf/MITTAUS/VORTEX/vortex-mittaus.htm>. Luettu 4.4.2015.
- 11 Ympäristömittausraportti. 2013. Neste sisäinen dokumentti.