

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka / Prosessi- ja automaatiotekniikka

Linda Hytönen

VETYLAITOKSEN TUOTANNON ENERGIATASEEN JA ENERGIAHÄVIÖI-
DEN SEURANNAN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö 2013

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikka

HYTÖNEN, LINDA

Vetylaitoksen tuotannon energiataseen ja energiahäviöiden seurannan kehittäminen

Opinnäytetyö

42 sivua + 25 liitesivua

Työn ohjaaja

Osaamisalapääällikkö Markku Huhtinen

Toimeksiantaja

Neste Oil Oyj

Helmikuu 2013

Avainsanat

Energiatase, höyryreformointi, vetylaitos, energiahäviö

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Tuotantolinja 4:n vetylaitoksen energiankulutuksen seuranta. Vetylaitos 2 (VY2) on merkittävä energiankuluttaja Neste Oilin Porvoon jalostamolla ja tästä johtuen sen energiankulutuksen optimointi on tärkeää. Opinnäytetyön aihe on kaksiosainen. Ensiksi tuli päivittää jo olemassa oleva energiataselaskenta ja lisäksi kehittää seuranta vetylaitoksen oleellisille energiahäviöille.

Laskennat kehitettiin palvelemaan mahdollisimman hyvin tarkoitustaan. Tärkeintä laskennoilla saatavissa tuloksissa ei ole niiden todenmukaisuus, vaan mahdollisuus seurata ajotavan muutosten vaikutusta vetylaitoksen energiankulutukseen. Häviölaskennassa huomioitiin myös polttokaasuksi päätyvän vedyn määrä, vaikka se hyödynnetään uuneilla, jolloin se ei ole todellinen energiahäviö. Poltettavaksi päätyvä vety on kuitenkin käytännössä vetylaitoksen suurimpia häviöitä, jonka vuoksi se on otettu mukaan laskentaan.

Jalostamon TOP-järjestelmään luotiin laskentoja varten uusi sivu, josta voidaan seurata vetylaitoksen energiatasetta ja energiahäviötä, sekä niitä varten luotuja muuttujia ja kaavoissa käytettyjä virtaus- ja lämpötila-arvoja.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

HYTÖNEN, LINDA

Development of Energy Balance and Energy Loss Monitoring in a Hydrogen Plant

Bachelor's Thesis

42 pages + 25 pages of appendices

Supervisor

Markku Huhtinen, Manager of Department

Commissioned by

Neste Oil Oyj

February 2013

Keywords

Energy balance, steam reforming, hydrogen plant, energy loss

The aim of this thesis was to develop the monitoring of energy consumption in the hydrogen plant of production line 4. Hydrogen production unit 2 (HPU2) is a significant energy consumer in Neste Oil refinery in Porvoo. This is why the optimization of energy consumption is important. The subject of this thesis was two-folded. The first task was to update the existing calculation of energy balance, and the second to develop the monitoring of main energy losses in HPU2.

The calculations were optimized. The most important aspect in these calculations was the ability to monitor the impact of changes on energy consumption in the operating mode, not the truthfulness of the results. Hydrogen ending up to fuel gas was taken into account in the calculation as an energy loss. It is not, however, a real energy loss because the fuel gas will be used in furnaces. In practice it is still one of the main losses in HPU2 and that is why it has been taken into account.

A new page is created in the TOP system of Neste Oil for these calculations. The energy balance and the energy loss can be monitored from this page. There are also auxiliary variables and flow- and temperature measurements which are used in these calculations.

ALKUSANAT

Tämä insinööri työ on tehty Neste Oil Oyj:n Tuotantolinja 4:n vetylaitokselle. Olen työskennellyt VY2:lla kahtena kesänä, joka helpotti huomattavasti opinnäytetyön tekemistä. Opinnäytetyön aiheesta kunnia kuuluu Heli Vuorelle. Aihe oli mielenkiintoinen, hyvin koulutustani vastaava ja ajatus siitä, että opinnäytetyö todella hyödynnetään lisäsi motivaatiota ja sai työn tuntumaan tärkeältä.

Kiitän ja kumarran kaikille työssä auttaneille. Erityiskiitoksen ansaitsee opinnäytetyön ohjaajani Heli Vuori ja Markku Huhtinen. Haluan kiittää myös laskuissa avustanutta Timo Lyytikäistä ja kaavojen kanssa avustanutta Jari Luosujärveä. Kuvien muokkaamisesta kiitos kuuluu Julia Suvisaarelle. Kiitos myös Petri Eenilälle, joka käytännössä toteutti opinnäytetyöni aikaansaannokset.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

TERMIT

1	JOHDANTO	10
2	VEDYN VALMISTAMINEN	10
	2.1 Vedyn käyttökohteet	10
	2.2 Vedyn valmistusmenetelmät	11
	2.2.1 Elektrolyysi	11
	2.2.2 Höyryreformointi	12
	2.3 VY2	12
3	ENERGIATASELASKENNAT	14
	3.1 Lämpöarvojen laskenta	15
	3.2 Kaasun tehollisen lämpöarvon laskenta	16
4	VY2:N ENERGIATASE	17
	4.1 VY2:lla aiemmin käytetty energiatase kaava	17
	4.2 Laskennan ongelmat ja puutteet	18
5	LASKENNAN UUDISTAMINEN	19
	5.1 Polttokaasun ja ROG:n lämpöarvot	19
	5.2 Maakaasun lämpöarvo	21
	5.3 HS- ja MS-höyryjen entalpiat	22
	5.4 Tuotevety soihtuun	22
	5.5 Vety polttokaasun joukkoon	23
	5.6 Energiataseen uusi laskentakaava	26
	5.7 Vanhan ja uuden laskennan vertailu	27
6	VY2:N ENERGIAHÄVIÖT	28
	6.1 Soihtuun ajettavan vedyn energia	29

6.2	Polttokaasun joukkoon menevästä vedystä aiheutuva energiahäviö	30
6.3	Savukaasujen terminen lämpöhäviö	30
6.4	Jäännöskaasuun jäävä vety	31
6.5	Jäähdytysveteen ja ilmaan siirtyvä lämpöenergia	33
6.6	LS-höyryn ulospuhallus	34
6.7	Energiahäviö laskenta	35
7	UUSI TOP-SIVU	36
8	VIRHEARVIOINTI	37
8.1	Mittareiden epätarkkuudet	37
8.2	Virheen laskeminen	38
9	TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT	40
LIITTEET		
	Liite 1: TOP-näkymä energiataselaskennasta ennen päivitystä	
	Liite 2: TOP-näkymät ROG:n lämpöarvon laskentakaavasta ja trendistä	
	Liite 3: Hs-diagrammi	
	Liite 4: TOP-näkymät polttokaasun joukkoon menevän vedyn laskentakaavasta ja trendistä	
	Liite 5: TOP-näkymät energiataselaskennasta ja trendistä päivityksen jälkeen	
	Liite 6: TOP-näkymät soihtuun ajettavasta vedystä aiheutuvan energiahäviön kaavasta ja trendistä	
	Liite 7: TOP-näkymät Polttokaasun joukkoon menevästä vedystä aiheutuvan energiahäviön laskentakaavasta ja trendistä	
	Liite 8: TOP-näkymät savukaasujen lämpöhäviön laskentakaavasta ja trendistä	
	Liite 9: TOP-näkymät jäännöskaasuun jäävän vedyn määrän laskentakaavasta ja siitä johtuvasta energiahäviön laskentakaavasta, sekä trendeistä	
	Liite 10: TOP-näkymät erottimilta häviävän lämpöenergian laskentakaavasta ja trendistä	
	Liite 11: TOP-näkymät energiahäviön laskentakaavasta ja trendistä	
	Liite 12: Uusi TOP-sivu	
	Liite 13: Kuva toteutuneesta TOP-sivusta	
	Liite 14: OQD-ohje VY2:n energiatase- ja energiahäviölaskennoista	

TERMIT

VY2	Tuotantolinja 4:n vetylaitos
HPU2	Hydrogen production unit 2 (VY2)
DCS	Distributed control system (Hajautettu ohjausjärjestelmä)
ROG	Refinery off gas (PÖY:n membraaniyksikön rejektikaasu)
HS -höyry	Korkeapaine höyry (n. 40 bar)
MS -höyry	Keskipaine höyry (n.16 bar)
LS -höyry	Matalapaine höyry (n. 3 bar)
NS -höyry	Prosessi höyry
PSA	Pressure swing adsorption (VY2:n tuotevedyn puhdistusyksikkö)
PÖY	Pohjaöljy-yksikkö
BERP3	Bensiinin rikinpoistoyksikkö
REF3	Bensiinin reformointiyksikkö
FIQ65001	Maakaasun syöttö (t/h)
FCQ65004	ROG:n syöttö (t/h)
FCQ66013	Reformerin polttokaasun syöttö (t/h)
FI66014	HS-höyry (t/h)
FI69005A	MS-höyry (t/h)
FIQ68003	Tuotevety (t/h)

FI68005	Vedyn virtaus soihtuun (t/h)
FI11311	Vety polttokaasuun (t/h)
FC68008	Vety BERP3:een (t/h)
PC10370	BERP3 ohitusventtiili
AI71035B_3A	ROG:n metaani pitoisuus (til-%)
AI71035B_3B	ROG:n vety pitoisuus (til-%)
AI71035B_3C	ROG:n etaani pitoisuus (til-%)
AI71035B_3D	ROG:n propaani pitoisuus (til-%)
AI71035B_3E	ROG:n butaani pitoisuus (til-%)
AI71035B_3F	ROG:n pentaanin ja pentaania pidempien hiilivetyketjujen pitoisuus (til-%)
AI71035B_3T	ROG:n pitoisuudet yhteensä (til-%)
PC68001A_VE	Vety PSA:lta soihtuun
FI67003	Prosessikaasu PSA:lle (t/h)
VY2_JÄÄPSA_H2	Jäännöskaasun vety pitoisuus (mol-%)
VY2_JÄÄPSA_N	Jäännöskaasun typpi pitoisuus (mol-%)
VY2_JÄÄPSA_CO	Jäännöskaasun hiilimonoksidi pitoisuus (mol-%)
VY2_JÄÄPSA_CH4	Jäännöskaasun metaani pitoisuus (mol-%)
VY2_JÄÄPSA_CO2	Jäännöskaasun hiilidioksidi pitoisuus (mol-%)

TIA67005	Prosessikaasun lämpötila ennen erottimia (°C)
TCA67007	Prosessikaasun lämpötila jäähdyttimien jälkeen (°C)
FCA67006	Lauhteen virtaus (t/h)
TIA67012	Lauhteen lämpötila (°C)
FI66020	Savukaasujen virtaus (t/h)
TI66091	Savukaasujen lämpötila (°C)

1 JOHDANTO

Neste Oy perustettiin 1948 Suomen öljyhuollon turvaamiseksi ja nykyään Neste Oil on kaikkia tärkeimpiä öljytuotteita valmistava jalostus- ja markkinointiyhtiö. Suomessa sijaitsee kaksi Neste Oilin omistamaa öljynjalostamo, Naantalissa ja Porvoossa. Porvoon jalostamo käynnistettiin vuonna 1965 palvelemaan Itä-Suomen ja etenkin pääkaupunkiseudun öljyn kulutusta. (Neste Oy 1992, 11) Kilpilahdessa, Porvoon jalostamolla on neljä tuotantolinjaa, voimalaitos, säiliöalue ja jätevesilaitos. Neste Oililla työskentelee noin 5000 henkilöä. (Neste Oil lyhyesti 2012)

Diesel-hanke, TL4 valmistui vuoden 2006 lopulla. Hanke aloitettiin raakaöljy esiintymien rajallisuuden, kasvaneen dieselin kysynnän ja vähentyneen raskaan rikillisen polttoöljyn kysynnän vuoksi. TL4 mahdollistaa myös edullisemmän erittäin rikillisen venäläisen raakaöljyn käyttämisen. Tuotantolinja 4 koostuu vety- ja pohjaöljy-yksiköistä. (Ronkainen 2007) PÖY on korkeapaineinen vetykrakkaus yksikkö (Leinonen 16.11.2012). TL4:lla raskaasta pohjaöljystä erotetaan kevyitä jakeita. TL4:n päätuote on rikitön diesel. (Ronkainen 2007)

Kemianteollisuus on metsäteollisuuden lisäksi suurimpia energiankuluttajia teollisuudessa. Energiankulutus muodostaakin suuren kuluerän öljynjalostamolla ja siksi sen seuranta ja optimointi on tärkeää. VY2 on todella suuri yksittäinen energiankuluttaja Porvoon jalostamolla. Energiatase- ja energiahäviölaskennat mahdollistavat energiankulutuksen seuraamisen ja reaaliaikaisista laskennoista voidaan seurata ajotavan muutosten vaikutusta energiankulutukseen. Energiatehokkuuden parantamisella voidaan myös vähentää päästöjä ja epäsuorasti vaikuttaa jätevesien määrään (European commission 2012). Esimerkiksi polttamalla kevyitä hiilivetyvirtoja prosessiuuneilla soihduttamisen sijaan, säästetään energiaa ja vähennetään päästöjä (Leinonen 16.11.2012).

2 VEDYN VALMISTAMINEN

2.1 Vedyn käyttökohteet

Maailmanlaajuisesti vetyä käytetään vuosittain noin 50 miljoonaa tonnia ja sen kulutus lisääntyy 4 – 10 % joka vuosi (Raunio 2005). Suurin vedyn kuluttaja tällä hetkellä on kemianteollisuus. Kemianteollisuudessa vetyä käytetään pääasiassa lannoitteiden valmistusprosesseissa ja öljynjalostuksessa. Öljynjalostuksessa vetyä käytetään lähin-

nä krakkaamisessa ja hydraamisessa. Krakkaaminen tarkoittaa pitkien hiilivetyketjujen pilkkomista lyhyemmiksi, jolloin saadaan raskaasta öljystä tislaamalla erotettua enemmän kevyitä jakeita. Tislauksella raakaöljystä saatavat jakeet eivät riittäisi kattamaan kevyiden jakeiden, kuten bensiinin kysyntää ja suuri osa raakaöljystä menisi hukkaan. Vetykrakkauksessa raskaiden hiilivetyketjujen pilkkoutuessa kevyemmiksi sitoutuu vetyä. (Hakkarainen 1997, 311) Hydraamisella saadaan muutettua hiilivetyketjujen kaksoissidoksia yksinkertaisiksi sidoksiksi. Hydrausta käytetään myös poistettaessa hiilivedyistä prosessin kannalta haitallisia aineita. Tällöin haitallinen aine, kuten rikki yhdistyy vetyyn, minkä jälkeen rikkivety poistetaan esimerkiksi amiinipessoreilla. Vety on myös kiinnostava polttoainevaihtoehto, sillä se muodostaa palaessaan vettä ja luovuttaa massaansa nähden suuren määrän energiaa. Tämän vuoksi sen hyödyntämistä autojen polttoaineena on tutkittu paljon. Vetyautot ovat toistaiseksi kuitenkin hyvin kalliita ja niitä kehitetään edelleen.

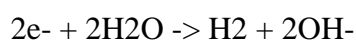
2.2 Vedyn valmistusmenetelmät

Vety ei ole primäärienergian muoto, kuten esimerkiksi öljy, vaan energiankantaja, eli sen valmistaminen vaatii suuren määrän energiaa. Vety esiintyy luonnossa aina yhdisteinä. (Vetytalous 2012) Vedyn käytön yleistymisen esteenä on sen varastointiin ja valmistamiseen liittyvät ongelmat. Vetyä voidaan valmistaa muun muassa hajottamalla eli reformoimalla hiilivetyketjuja, elektrolyysillä, termokemiallisilla sykleillä, biokemiallisilla prosesseilla, radiolyysillä tai fotolyysillä. Teollisuudessa käytettävät vedyn valmistus menetelmät ovat reformointi ja elektrolyysi. (Raunio 2005)

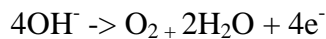
2.2.1 Elektrolyysi

Elektrolyysissä ulkopuolisen energialähteen avulla saadaan aikaan hapettumis- ja pelkistymisreaktioita (Järvenpää 2007, 13). Vetyä voidaan valmistaa vedestä elektrolyysillä sähkön avulla. Reaktio vaatii suuren määrän energiaa, jonka vuoksi vedyn valmistaminen elektrolyysillä ei ole taloudellisesti kannattavaa. Elektrolyysiä käytetään, kun halutaan valmistaa pieniä määriä erittäin puhdasta vetyä (Raunio 2005).

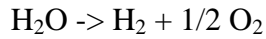
Veden elektrolyysissä katodilla tapahtuu seuraava reaktio:



Ja anodilla tapahtuu seuraava reaktio:



Reaktiot katodilla ja anodilla muodostavat yhdessä seuraavan yhtälön:

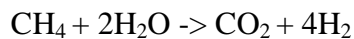
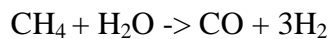


Näiden reaktioiden myötä vedestä saadaan valmistettua elektrolyysillä vetyä. (Hakkarainen 1997, 257)

2.2.2 Höyryreformointi

Metaanin höyryreformointi on kustannustehokkain tapa valmistaa vetyä ja on tämän vuoksi hyvin yleinen menetelmä vedyn tuotannossa. Esimerkiksi Yhdysvalloissa yli 90 % vedystä tuotetaan höyryreformoinnilla. (Raunio 2005)

Vedyn erotus maakaasusta perustuu seuraaviin reaktioyhtälöihin:



Maakaasun joukkoon syötetään korkeapaineista höyryä, joka katalyytin vaikutuksesta reagoi metaanin kanssa vedyksi, hiilidioksidiksi ja hiilimonoksidiksi. Reaktio on endoterminen, joten se vaatii reaktionopeutta kasvattavan katalyytin lisäksi 500–800°C lämpötilan, joka saadaan aikaan reformerin polttimilla. Syntynyt hiilimonoksidi konvertoidaan vesihöyryn kanssa hiilidioksidiksi ja vedyksi. (Raunio 2005)

2.3 VY2

Neste Oilin VY2:lla tuotetaan vetyä maakaasusta höyryreformointiprosessilla.

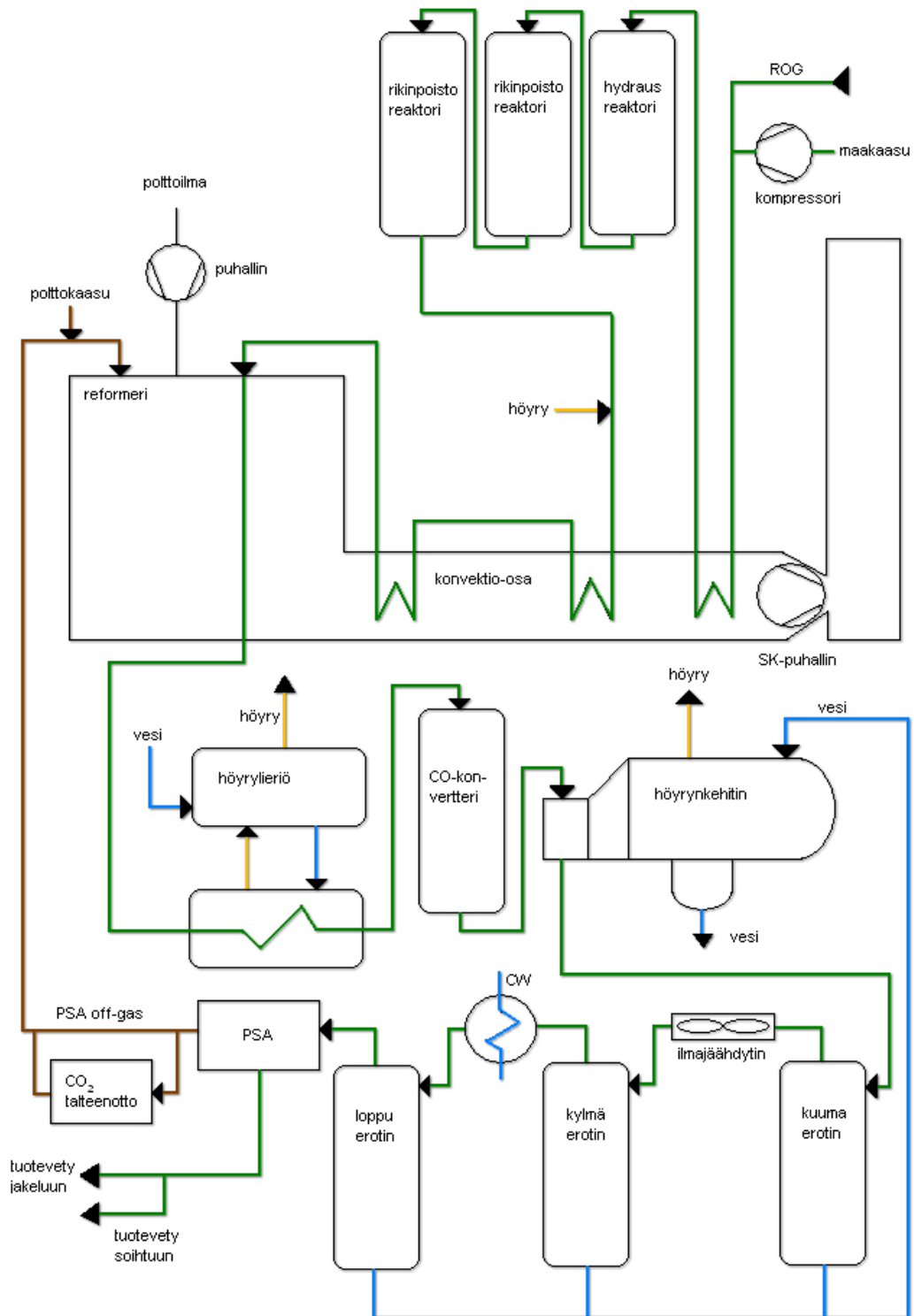
VY2:lla käytettävä vedyntuotantotapa perustuu Uhde GmbH:n kehittämään ja lisensoimaan reformeriteknologiaan (Pirhonen 2008). Maakaasu paineistetaan maakaasukompressorilla. Pienellä syötöllä maakaasun paine riittää ilman komprimointia. Maakaasun joukkoon syötetään pohjaöljy-yksikön puolelta tuleva vetypitoinen ROG. Tämän jälkeen maakaasu esilämmitetään ja johdetaan rikinpoistoreaktoreihin, sillä rikki

on voimakas katalyyttimyrkky reformerin nikkeliipitoiselle katalyytille. Rikinpoisto-osa vaatii toimiakseen vetyä. ROG:n mukana tulevan vedyn vuoksi syöttöön ei tarvitse kierrättää tuotevetyä.

Ennen reformointia maakaasun joukkoon syötetään tulistettua höyryä, joka mahdollistaa maakaasun konversion vedyksi, hiilimonoksidiksi ja hiilidioksidiksi. Höyryreformointi on voimakkaasti endoterminen prosessi. Reaktioon vaadittava lämpötila saadaan aikaiseksi polttamalla reformerissa prosessin myöhäisemmässä vaiheessa syntyvää tuotevedyn puhdistusyksikön, PSA:n, jäännöskaasua, sekä jalostamon polttokaasuverkosta otettavaa polttokaasua. Reformerin jälkeen hiilimonoksidin konversio vedyksi maksimoidaan CO-konvertterissa katalyytin avulla. Reaktion sivutuotteena muodostuu hiilidioksidia. Tuotevirrasta otetaan useassa vaiheessa lämpöä talteen erilaisten syöttöjen esilämmityksiin ja vesien höyrystämiseen.

Reformerin jälkeen on prosessikaasun jäähdytin, jossa esilämmitettyä kattilavettä höyrystetään HS-höyryksi tuotevirran lämmöllä. HS-höyryä käytetään vetylaitoksella syöttövesipumpun turbiinin käyttövoimana ja syöttämällä sitä hiili – höyry-suhteen mukaisesti maakaasun joukkoon ennen reformeria sijaitsevalla sekoitusasemalla. Lisäksi HS-höyryllä säädetään PÖY:n HS-höyryverkon painetta ja ylimääräinen höyry syötetään reduktion läpi PÖY:n MS-höyryverkkoon. CO-konvertterin jälkeen prosessikaasun lämpöä hyödynnetään prosessilauhteiden höyrystämiseen. Prosessilauhteista valmistettavaa höyryä kutsutaan NS-höyryksi, sisältämiensä epäpuhtauksien vuoksi.

Ennen PSA:ta tuotevirrasta poistetaan lauhdetta kuuma-, kylmä- ja loppuerottimissa, joiden välillä tuotevirtaa jäähdytetään, jolloin höyry lauhtuu. PSA:n 12 adsorberissa vety puhdistetaan, jolloin tuotteesta erottuu jäännöskaasua. AGA ottaa jäännöskaasusta hiilidioksidin talteen, jonka jälkeen loppu jäännöskaasusta poltetaan reformerissa. (Vuori 31.10.2012) Suunnitteluarvojen mukaan vetylaitokselle voidaan syöttää 32,7 t/h maakaasua ja 8t/h ROG:ia, jolloin saadaan valmistettua 13,8 t/h vetyä (Pirhonen 2008).



Kuva 1: Vetylaitoksen yksinkertaistettu virtauskaavio

3 ENERGIATASELASKENNAT

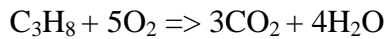
Energiataseen laskemiseksi määritetään taserajaus. Taserajauksena voi olla yksi laite kuten turbiini tai kokonainen prosessiyksikkö kuten vetylaitos. Taserajauksen sisällä

kulkevia energiavirtoja ei huomioida energiataselaskennassa. Taselaskennassa tasera-
jauksen sisään tulevista energiavirroista vähennetään ulos lähtevät energiavirrat, jol-
loin saadaan määritettyä tasera-
jauksen sisään jäävän alueen häviöt. Taselaskentaa voi-
daan käyttää myös tuotteen valmistuksessa kulutettavan energian määrittämiseen.
Laskentaan tarvitaan sisään tulevat ja ulos lähtevät massavirrat, sekä niiden lämpöar-
vot.

3.1 Lämpöarvojen laskenta

Aineiden lämpöarvot voidaan laskea palamisreaktioyhtälön avulla.

Esimerkiksi propanin palamisreaktio



Palamisreaktion osallistuvien yhdisteiden palamisentalpiat.

$$\Delta H_{\text{C}_3\text{H}_8} = -126 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{\text{CO}_2} = -393 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} = -242 \text{ kJ/mol}$$

Propanin palamisreaktion lämpöenergia, $\Delta H = H_{\text{lähtöaineet}} - H_{\text{reaktiotuotteet}}$

$$\Delta H = -126 - (3 * (-393)) - (4 * (-242)) = 2021 \text{ kJ/mol}$$

Propanin palamisreaktion lämpöenergiasta saadaan laskettua propanikaasun lämpö-
arvo.

$$\frac{2021 \text{ kJ/mol}}{44,1 \text{ g/mol}} = 45,8 \text{ kJ/g} = 45,8 \text{ MJ/kg}$$

Laskennoissa on käytetty Neste Oilin laboratorion käyttämiä standardin ISO 6976
mukaisia lämpöarvoja, jotka on listattu seuraavaan taulukkoon.

Taulukko 1: Neste Oilin laboratorion käyttämiä standardin ISO 6976 mukaisia lämpöarvoja.

Komponentti	Lämpöarvo
Vety	119,910
Happi	0,000
Typpi	0,000
Hiilimonoksidi	10,100
Hiilidioksidi	0,000
Rikkivety	15,200
Metaani	50,035
Etaani	47,520
Eteeni	47,170
Propaani	46,340
Propeeni	45,770
Isobutaani	45,570
N-Butaani	45,720
1-Buteeni	45,290
i-Buteeni	44,990
T-2Buteeni	45,100
C-2-Buteeni	45,170
13Butadieeni	44,530
Isopentaani	45,250
N-Pentaani	45,350
C6+rask	45,110

3.2 Kaasun tehollisen lämpöarvon laskenta

Kaasujen lämpöarvojen laskemiseen on käytetty Neste Oilin keskuslaboratorion käyttämää laskentamallia.

Yhdisteen pitoisuuden normalisointi

$$\left(\frac{100}{\text{analysoitujen yhdisteiden pitoisuuksien summa}} \right) \times \text{yhdisteen pitoisuus}$$

Keskimääräisen moolimassan laskenta

$$\sum \left[\frac{\text{yhdisteen pitoisuus} \times \text{yhdisteen moolimassa}}{100} \right]$$

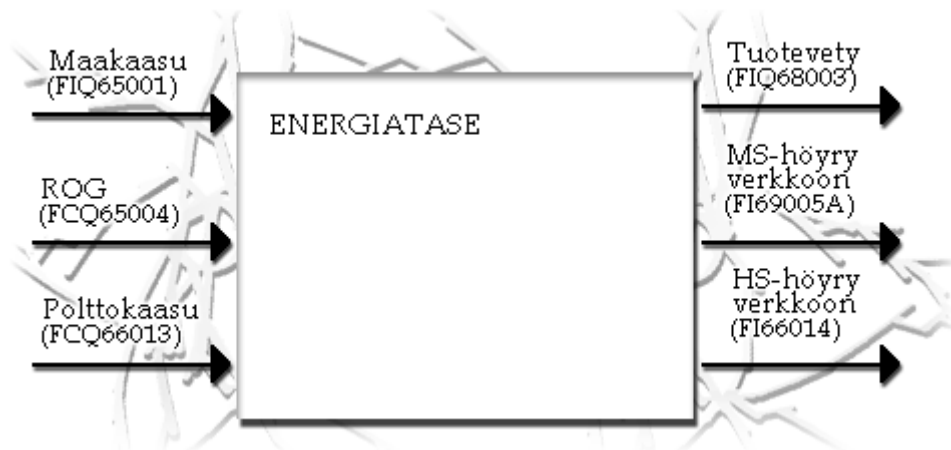
Tehollinen lämpöarvo

$$\frac{\sum \left[\frac{\text{yhdisteen pitoisuus} \times \text{yhdisteen lämpöarvo}}{100 / \text{yhdisteen moolimassa}} \right]}{\text{keskimääräinen moolimassa}}$$

Laboratoriossa laskentaa käytetään näytteiden lämpöarvojen laskemiseen ja päästökauppalaskentaan. Laskennassa pitoisuudet normalisoidaan, koska analysoitujen aineiden pitoisuuksien summa ei ole aina 100 %.

4 VY2:N ENERGIATASE

Tässä opinnäytetyössä taserajauksena on vetylaitos. VY2:lle tulevia energiavirtoja ovat maakaasu, ROG ja polttokaasu. Lähteviä energiavirtoja ovat HS- ja MS-höyry, sekä tuotevety.



Kuva 2: VY2:n energiatase

VY2:n energiataselaskennan ideana on laskea kulutettu energia tuotettua vetykiloa kohti.

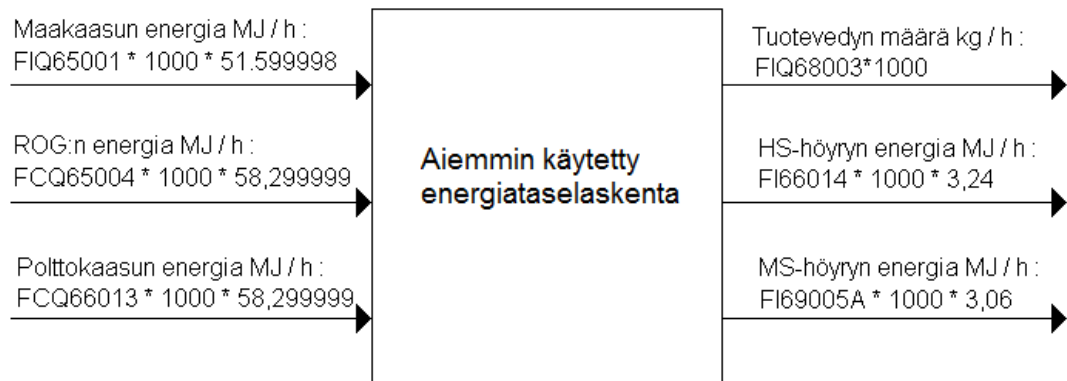
4.1 VY2:lla aiemmin käytetty energiatase kaava

IF (FIQ68003.DBCV > 0.01)
THEN R_VY2ENERGIAKUL =

$$\begin{aligned} & ((\text{FIQ65001} * 1000 * 51.599998) \\ & + (\text{FCQ65004} * 1000 * 58.299999) \\ & + (\text{FCQ66013} * 1000 * 58.299999) \\ & - (\text{FI66014} * 1000 * 3.24) \\ & - (\text{FI69005A} * 1000 * 3.06)) \end{aligned}$$

/ (FIQ68003 * 1000)

FIQ-65001 = Maakaasun syöttö (t/h)
 FCQ-65004 = ROG:n syöttö (t/h)
 FCQ-66013 = Reformerin polttokaasun syöttö (t/h)
 FI-66014 = HS-höyry (t/h)
 FI-69005A = MS-höyry (t/h)
 FIQ-68003 = Tuotevety (t/h)



Kuva 3: Kaavio aiemmin käytetystä energiataselaskennasta

Kaavassa olevat virtausarvot (FIQ65001, FCQ65004, FCQ66013, FI66014, FI69005A ja FIQ68003) tulevat suoraan DCS:ltä, eli perustuvat reaaliaikaisiin mittauksiin. Virtausmittaukset ovat muodossa t/h ja ne muutetaan laskennassa muotoon kg/h. Tämän jälkeen virtaukset kerrotaan virtaavien aineiden lämpöarvoilla, jolloin saadaan virtaavien aineiden energiat MJ/h. Prosessiin tuotavat energiavirrat, maakaasu, ROG ja polttokaasu lasketaan yhteen ja näistä vähennetään sivutuotteina muodostuvien MS- ja HS-höyryjen energiavirrat. Lopputulos muodossa MJ/kg, eli kulutettu energia tuotettua vetykiloa kohti, saadaan jakamalla kulutettu energiamäärä tuotetun vedyn määrällä kg/h. Liitteessä 1 on energiataseen laskentakaavan TOP-näkymä ennen päivitystä.

4.2 Laskennan ongelmat ja puutteet

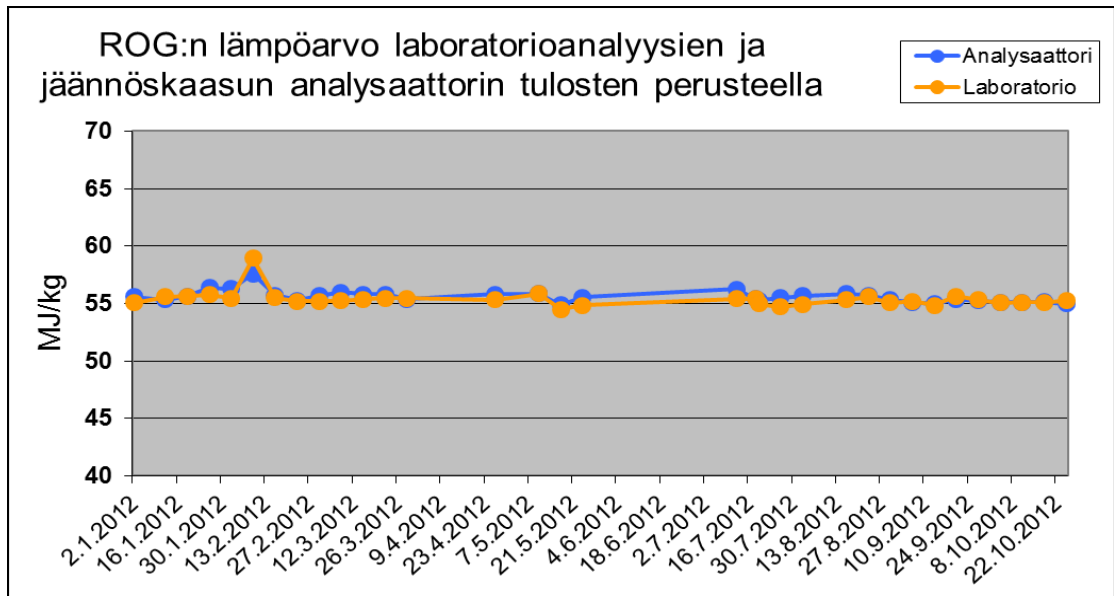
Kaavassa lasketaan kulutettu energia tuotettua vetykiloa kohti. Laskenta ei ota huomioon meneekö tuotettu vety kulutukseen vai soihtuun. Vaikka kaikki tuotettu vety jouduttaisiin ajamaan soihtuun, energiatase näyttää yhtä hyviä lukemia kuin kaiken vedyn mennessä kulutukseen. Vetyverkosta pursotetaan ylimääräistä vetyä polttokaasun joukkoon, jota laskenta ei myöskään huomioi. Kaavassa on lisäksi käytetty polttokaasun ja ROG:n lämpöarvoina vakioarvoja, vaikka todellisuudessa kaasujen lämpöarvot

vaihtelevat koostumuksesta riippuen. Laskenta on luotu ennen vetylaitoksen käyttöönottoa, joten höyryjen entalpioiden määrittämiseen käytetyt teoreettiset arvot täytyi myös kyseenalaistaa ja maakaasun lämpöarvona käytetty 51,599998 MJ/kg tarkistaa.

5 LASKENNAN UUDISTAMINEN

5.1 Polttokaasun ja ROG:n lämpöarvot

Vanhassa energiataseen laskentakaavassa lämpöarvot olivat vakioarvoja. Uudessa laskennassa laboratoriossa lasketaan analyysien perusteella polttokaasun tehollinen lämpöarvo ja tulos linkitetään Oili-järjestelmästä kaavaan. Laboratoriossa on käytössä Excel-laskenta, jolla lämpöarvot saadaan syöttämällä kaasun pitoisuudet taulukkoon. Excel laskee lämpöarvot kohdassa 3.2 esitetyllä tavalla. Vuosina 2010 – 2012 polttokaasun lämpöarvo vetylaitoksella oli keskimäärin 49,3 MJ/kg. Vetylaitoksen polttokaasu näyte otetaan torstai aamuisin, jolloin lämpöarvo päivittyy automaattisesti Oilitulosten päivitysten myötä. Polttokaasun lämpöarvolle luotiin TOP-järjestelmään muuttuja VY2_FA6003_LA. Uudessa laskennassa ROG:n lämpöarvo perustuu PÖY:n membraanin rejektikaasulinjassa olevan analysaattorin tuloksiin. Vertaamalla jäännöskaasuanalysaattorin tuloksien perusteella laskettua lämpöarvoa laboratorioanalyysien perusteella laskettuun lämpöarvoon varmistettiin analysaattorin luotettavuus. Kuvaajan perusteella voidaan todeta, ettei laboratorioanalyysien ja jäännöskaasulinjassa olevan analysaattorin perusteella lasketuissa lämpöarvoissa ole merkittävää eroa.



Kuva 4: ROG:n lämpöarvo laboratorioanalyysien ja analysaattorin tulosten perusteella vuonna 2012

ROG:n lämpöarvo olisi ollut mahdollista laskea myös laboratoriossa ja linkittää tulos kaavaan. Analysaattorilta saatava reaaliaikaisten mittaustulosten perusteella laskettu lämpöarvo on kuitenkin huomattavasti käytännöllisempi muutosten seurannassa kuin viikon välein päivittyvä laboratoriotuloksiin perustuva lämpöarvo. ROG:n lämpöarvon laskentakaavassa painotetaan analysaattorista saatavien pitoisuuksien mukaan yhdisteiden lämpöarvoja. ROG:n lämpöarvon laskentaa varten luotiin muuttuja R_VY2ROGLA.

ROG:

$$R_VY2ROGLA = (AI71035B_3A * 50,035 + AI71035B_3B * 59,955002 + AI71035B_3C * 47,52 + AI71035B_3D * 46,34 + AI71035B_3E * 45,599998 + AI71035B_3F * 45,299999) / AI71035B_3T$$

AI71035B_3A = ROG:n metaani pitoisuus (til-%)

AI71035B_3B = ROG:n vety pitoisuus (til-%)

AI71035B_3C = ROG:n etaani pitoisuus (til-%)

AI71035B_3D = ROG:n propaani pitoisuus (til-%)

AI71035B_3E = ROG:n butaani pitoisuus (til-%)

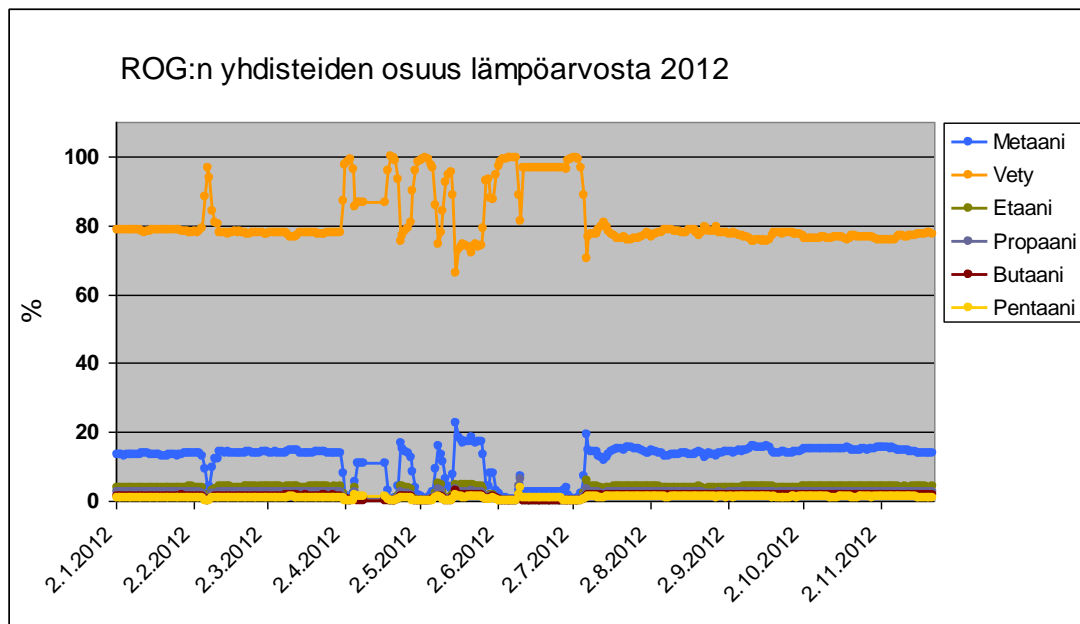
AI71035B_3F = ROG:n pentaani ja pentaania pidempien hiilivetyketjujen pitoisuus (til-%)

AI71035B_3T = ROG:n pitoisuudet yhteensä (til-%)

Analysaattorin tulokset ovat tilavuusprosentteina. Aineiden pitoisuudet kerrotaan niiden lämpöarvoilla ja lasketaan saadut tulokset yhteen. Lopputulos jaetaan pitoisuuksi-

en summalla. TOP-näkymät ROG:n laskentakaavasta ja trendistä ovat liitteenä (Liite 2).

Polttokaasun ja ROG:n lämpöarvot muodostuvat pääasiassa maakaasun ja vedyn lämpöarvoista, koska niiden pitoisuudet kaasuissa ovat suuret. Kuitenkin myös etaani, propaanin ja butaanin pitoisuuksien vaikutukset on syytä huomioida. Pentaanin pitoisuus polttokaasussa ja ROG:ssa on niin vähäinen, ettei sen vaikutus lämpöarvoon ole huomattava. Pentaani on kuitenkin otettu laskennassa huomioon tulevaisuutta ajatellen, koska etenkin polttokaasun koostumusta on mahdotonta ennustaa pitkälle eteenpäin. Alla olevasta kuvaajasta nähdään eri yhdisteiden vaikutus ROG:n lämpöarvoon vuonna 2012.



Kuva 5: ROG:n yhdisteiden osuus lämpöarvosta

5.2 Maakaasun lämpöarvo

Gasum ilmoittaa kuukausittain Neste Oilille maakaasun lämpöarvon, päästökertoimen ja tiheyden, joita käytetään jalostamalla hiilidioksidipäästöjen laskennassa. Maakaasun uusi lämpöarvo vetylaitoksen energiataselaskennassa perustuu Gasumin vuonna 2011 ilmoittamien lämpöarvojen ja tiheyksien keskiarvoon. (Vaskinen 16.11.2012.)

$$3,61 \text{ MJ/m}^3 / 0,733 \text{ kg/m}^3 = 49,25 \text{ MJ/kg}$$

Maakaasun lämpöarvoksi saadaan 49,25 MJ/kg. Aiemmin käytetyssä energiataselaskennassa maakaasun lämpöarvo oli 51,599998 MJ/kg.

5.3 HS- ja MS-höyryjen entalpiat

Vanhassa laskennassa HS- ja MS- höyryjen entalpiat perustuvat höyryjen suunnittelu lämpötiloihin ja paineisiin, koska laskenta on tehty ennen vetylaitoksen käynnistämistä. Oli epäily, etteivät suunnitteluarvojen mukaiset entalpia-arvot ole totuuden mukaisia, joten ne täytyi tarkistaa. HS- ja MS-höyryjen entalpioiden selvittämisessä käytetyt lämpötilat ja paineet perustuvat vuosien 2009–2012 reaaliaikaisiin mittaustuloksiin. Huolto- ja häiriöseisokeista johtuvat poikkeamat poistettiin entalpioiden määrittämisessä käytetyistä lämpötila- ja painetuloista, jotta ne eivät vääristäisi keskiarvoa. Keskiarvojen perusteella on katsottu entalpia-arvot Hs-diagrammista. Hs-diagrammi liitteenä (Liite 3).

Taulukko 2: HS- ja MS-höyryjen entalpiat

	Lämpötila °C	Paine bar	Entalpia kJ/kg
HS-höyry	410	41	3240
MS-höyry	320	17	3090

Aiemmin käytetty HS-höyryjen entalpia-arvo (h) 3,24 MJ/kg oli oikein ja MS-höyryjen entalpia poikkesi merkityksettömän vähän. Päivitin kuitenkin uuden entalpia-arvon MS-höyrylle. Vanha entalpia-arvo oli 3,06 MJ/kg ja uusi on 3,09 MJ/kg.

5.4 Tuotevety soihtuun

Todellisuudessa energiataselaskennassa ei huomioitaisi, hyödynnetäänkö tuotettava vety vai tuotetaanko sitä liikaa. Jotta laskenta kuitenkin palvelisi mahdollisimman hyvin tarkoitustaan ja sitä voitaisiin seurata ajotavan taloudellisuutta ajatellen, täytyy nämä asiat ottaa huomioon. Laskelman tulee huomioida meneekö tuotevety kulutukseen vai soihtuun ja kuinka paljon vetyä menee vetyverkosta polttokaasun joukkoon. Lisäsin kaavaan kohdan, jossa tuotetun vedyn määrästä vähennetään mahdollinen soihtuun menevän vedyn määrä.

FIQ68003 * 1000 - FI68005 * 1000

FIQ68003 = Tuotevety (t/h)

FI68005 = Vedyn virtaus soihtuun (t/h)

Vetylaitoksella pyritään tuottamaan optimaalinen määrä vetyä. Kuitenkin esimerkiksi PÖY:n huoltoseisokkien aikana joudutaan vetylaitoksella tuottamaan ylimääräistä vetyä, jos laitos halutaan pitää käynnissä seisokin ajan, koska vetylaitosta ei voida ajaa tarpeeksi pienellä kapasiteetilla. Vetylaitos on myös huomattava höyryn tuottaja. Suunnitteluarvojen mukaan vetylaitoksella voidaan tuottaa 163,3 t/h HS-höyryä ja 64,7 t/h MS-höyryä (Pirhonen 2008.). Jos tarvitaan paljon höyryä, muttei suhteessa yhtä paljon vetyä, ylimääräinen vety ajetaan polttokaasuksi ja soihtuun. Ylimääräinen vety pyritään hyödyntämään polttokaasuna. Vetyä ei kuitenkaan saa olla polttokaasussa liian suurta osuutta, koska liian kevyt polttokaasu aiheuttaa ongelmia uuneilla. Suuri vedyn määrä polttokaasussa saa aikaan liian kirkkaat liekit uuneilla, jolloin liekinvartija ei havaitse liekkiä. Polttokaasuksi menevän vedyn määrää säädetään polttokaasun tiheyden mukaan ja loput ylimääräisestä vedystä ajetaan soihtuun.

Soihtujärjestelmä on pakollinen osa jalostamon toimintaa ja se on merkittävä turvallisuustekijä. Soihtuun voidaan ajaa kaasuja operaattorin toimesta ja lisäksi merkittävä osa tuotantolinjan varoventtiileistä on yhteydessä soihtulinjaan. Mikäli laitteen tai putken paine nousee yli sallitun rajan, varoventtiili laskee ylimääräisen paineen soihtuun. Ennen soihtua on soihtusäiliö, jossa erotetaan kaasujen mukana tulevat nesteet. Normaalisti soihtuissa palaa vain pilot-liekit, joiden avulla soihtuun tulevat kaasut sytytetään. (Kiuru 2004)

5.5 Vety polttokaasun joukkoon

Vetyverkossa ei ole virtausmittausta, josta nähtäisiin suoraan VY2:n tuottaman vedyn syötön määrä polttokaasun joukkoon. Polttokaasun joukkoon menevän vedyn määrän seuraamiseksi luotiin kaava. Kaavaa varten on luotu muuttuja R_VY2H2POLTTOON. TOP -näkyvät polttokaasun joukkoon menevän vedyn kaavasta ja trendistä ovat liitteenä (Liite 4).

IF PC10370_VE.DBCV = 0

THEN R_VY2H2POLTTOON = 0;

IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV < 0
THEN R_VY2H2POLTTTOON = \$L246.DBCV.V;

IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV > 0 AND
FI11311.DBCV < \$L246.DBCV.V
THEN R_VY2H2POLTTTOON = FI11311.DBCV;

IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV > 0 AND
FI11311.DBCV > \$L246.DBCV.V
THEN R_VY2H2POLTTTOON = \$L246.DBCV.V

FI11311 = Vety polttokaasun joukkoon (t/h)
FC68008 = Vety BERP3: een (t/h)
PC10370 = BERP3 ohitusventtiili

Kaava valitsee tilanteen mukaan oikean virtausmittauksen, joka kertoo VY2:lta polttokaasun joukkoon päätyvän vedyn määrän.

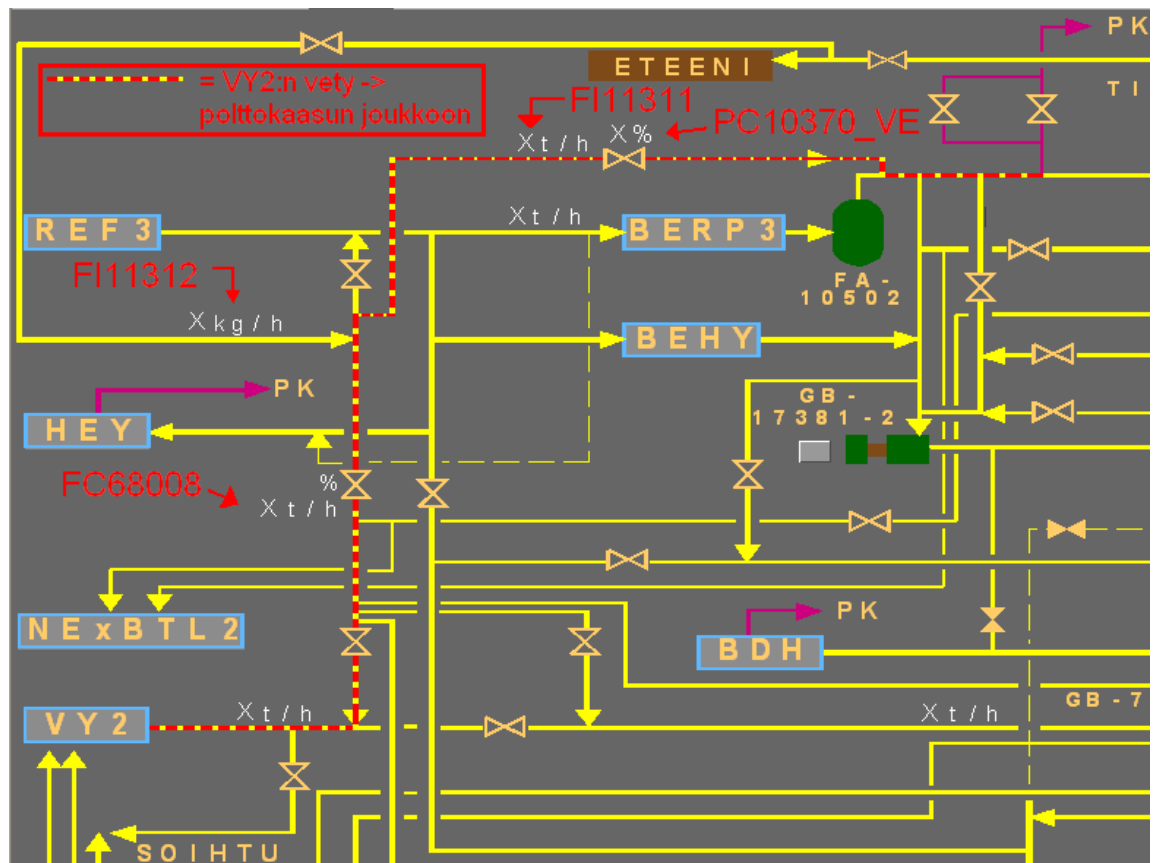
Ensimmäinen lauseke (IF PC10370_VE.DBCV = 0) pätee kun BERP3:n ohitusventtiili PC10370 on kiinni. Silloin vetylaitokselta ei mene vetyä polttokaasun joukkoon.

Toinen lauseke (IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV < 0 THEN R_VY2H2POLTTTOON = \$L246.DBCV.V;) pätee kun BERP3:n ohitusventtiili PC10370 on auki ja VY2:lta BERP3:n suuntaan vedyn virtaus FC68008 yhdessä eteeniltä tulevan vedyn virtauksen FI11312 kanssa on pienempi kuin BERP3 ohituksen virtaus FI11311. Tarkoittaen, että Eteeniltä ja VY2:lta tulee yhteensä vähemmän vetyä, kuin polttokaasun joukkoon menee, jolloin REF3 vetyä menee myös polttokaasuun. Tässä tapauksessa VY2:lta menee polttokaasun joukkoon kaikki BERP3:n suuntaan virtaava vety FC68008. Kaavassa on käytetty virtausmittauksen FC68008 tilalla muuttujaa \$L246.DBCV, joka ottaa huomioon venttiilin asennon.

Kolmas lauseke (IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV > 0 AND FI11311.DBCV < \$L246.DBCV.V THEN R_VY2H2POLTTTOON = FI11311.DBCV;) pätee kun BERP3:n ohitusventtiili PC10370 on auki ja VY2:lta BERP3:n suuntaan vedyn virtaus FC68008 yhdessä eteeniltä tulevan vedyn virtauksen FI11312 kanssa on suurempi kuin BERP3 ohituksen virtaus FI11311. Tarkoittaen, että Eteeniltä ja VY2:lta tulee yhteensä enemmän vetyä, kuin polttokaasun joukkoon menee. Lisäksi BERP3:n ohituksen virtauksen täytyy olla pienempi kuin VY2:lta BERP3:n suuntaan virtaavan vedyn määrä FC68008. Tässä tapauksessa kaikki

BERP3:n ohituksen kautta polttokaasun joukkoon virtaavasta vedystä FI11311 on VY2:n vetyä.

Neljäs lauseke (IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV > 0 AND FI11311.DBCV > \$L246.DBCV.V THEN R_VY2H2POLTTOON = \$L246.DBCV.V) pätee kun BERP3:n ohitusventtiili PC10370 on auki ja VY2:lta BERP3:n suuntaan vedyn virtaus FC68008 yhdessä eteeniltä tulevan vedyn virtauksen (FI11312) kanssa on suurempi kuin BERP3 ohituksen virtaus FI11311. Tarkoittaen, että Eteeniltä ja VY2:lta tulee yhteensä enemmän vetyä, kuin polttokaasun joukkoon menee. Lisäksi BERP3:n ohituksen virtauksen täytyy olla suurempi kuin VY2:lta BERP3:n suuntaan virtaavan vedyn määrä FC68008. Tässä tapauksessa kaikki VY2:lta BERP3:n suuntaan virtaava vety FC68008 menee polttokaasun joukkoon.



Kuva 6: Vetyverkko (TOP-järjestelmä 2012)

R_VY2H2POLTTOON kertoo tonneina tunnissa, kuinka paljon VY2:n tuottevetyä ajetaan polttokaasun joukkoon. VY2:lta vetyverkkoon menevän vedyn virtausmittauksen (FC68008) paikalla kaavassa on käytetty muuttujaa \$L246.DBCV.V, joka ottaa huomioon venttiilin asennon. Muuttuja oli luotu TOP:iin jo aiemmin.

```
IF (FC68008_VE.DBCV > 1)
THEN $L246.DBCV.V = FC68008
ELSE $L246.DBCV.V = 0;
```

FC68008 = Vety BERP3:een (t/h)

Polttokaasun joukkoon menevän vedyn määrä on huomioitu myös energiatase laskennassa.

$$FIQ68003 * 1000 - FI68005 * 1000 - R_VY2H2POLTTOON * 1000$$

FIQ68003 = Tuotevety (t/h)
FI68005 = Vedyn virtaus soihtuun (t/h)

Polttokaasun joukkoon pursotetaan tarpeen mukaan maakaasua, joten polttokaasun joukkoon menevä vety ei ole pelkästään häviö.

5.6 Energiataseen uusi laskentakaava

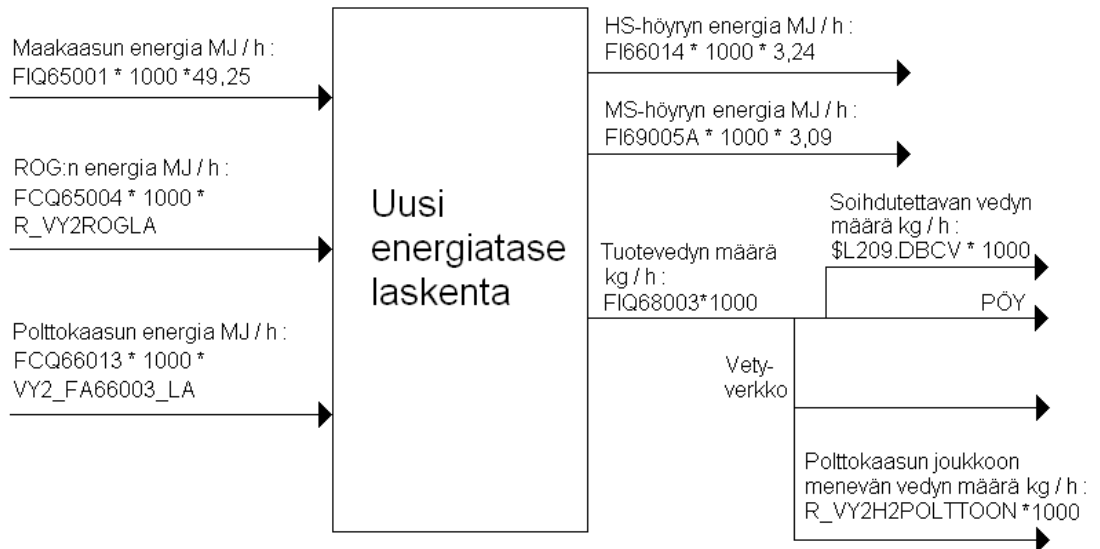
TOP-näkymät kaavasta ja trendistä ovat liitteenä (liite 5).

```
IF (FIQ68003.DBCV > 0.01)
THEN R_VY2ENERGIAKUL =

((FIQ65001 * 1000 * 49,24966)
+ (FCQ65004 * 1000 * R_VY2ROGLA)
+ (FCQ66013 * 1000 * VY2_FA66003_LA)
- (FI66014 * 1000 * 3.24)
- (FI69005A * 1000 * 3.09))
/ (FIQ68003 * 1000 - $L209.DBCV * 1000
- R_VY2H2POLTTOON * 1000)

ELSE R_VY2ENERGIAKUL = 0
```

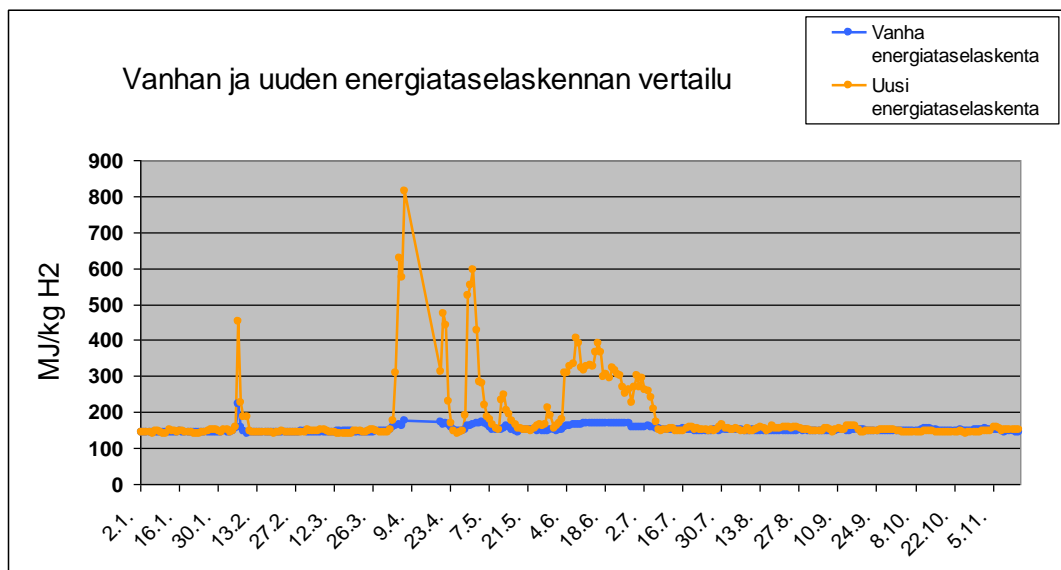
FIQ65001 = Maakaasun syöttö (t/h)
FCQ65004 = ROG syöttö (t/h)
FCQ66013 = Reformerin polttokaasun syöttö (t/h)
FI66014 = HS-höyry syöttö PÖY:lle (t/h)
FI69005A = MS-höyry (t/h)
FIQ68003 = Tuotevety (t/h)



Kuva 7: Kaavio uudesta energiataselaskennasta

Uusi energiataselaskenta poikkeaa aiemmin käytetystä siinä, että ROG:n lämpöarvo $R_VY2ROGLA$ perustuu reaaliaikaisiin analysaattorin mittaustuloksiin ja polttokaasun lämpöarvo laboratorioanalyysien mukaan päivittyviin tuloksiin. Lisäksi MS-höyryn entalpia ja maakaasun lämpöarvo on päivitetty ja tuotevedyn määrästä vähennetään soihtuun menevän vedyn määrä sekä polttokaasun joukkoon menevän vedyn määrä.

5.7 Vanhan ja uuden laskennan vertailu

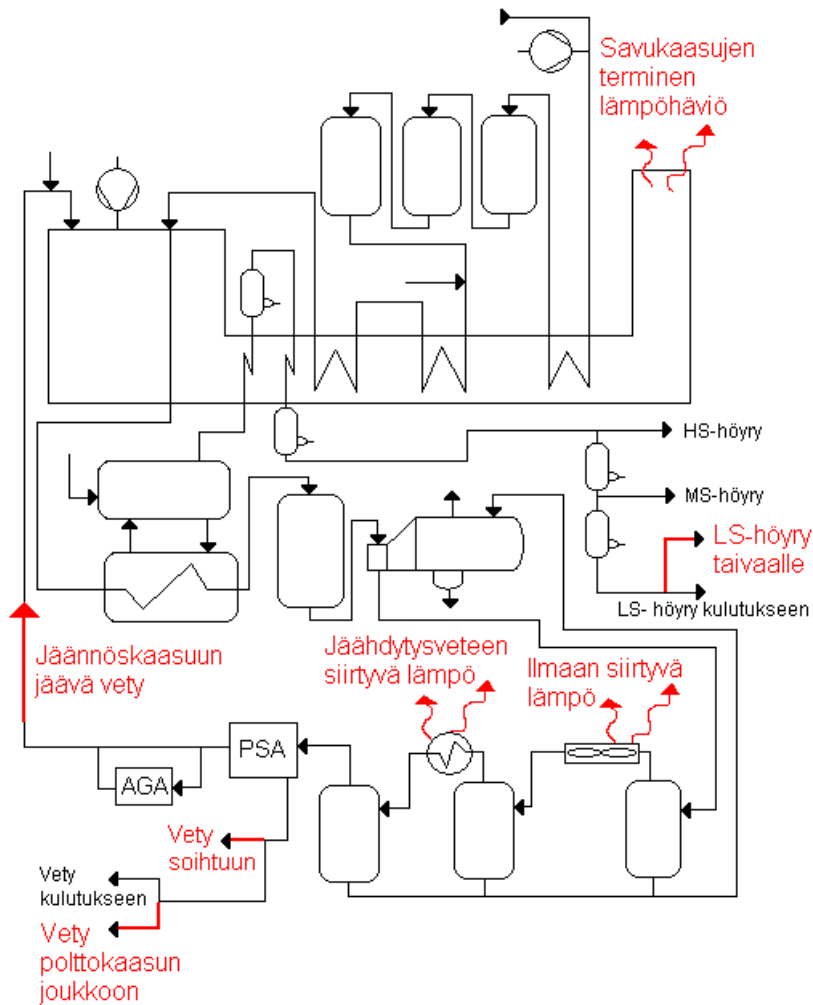


Kuva 8: Vanhan ja uuden energiataselaskennan vertailu

Suurimmat erot laskentojen tuloksissa näkyvät huoltoseisokkien aikana, jolloin tuotevetyä on ajettu soihtuun.

6 VY2:N ENERGIAHÄVIÖT

Suurimpia häviöitä vetylaitoksella ovat huoltoseisokkien aikaan soihtuun ajettava vety ja normaali käynnin aikana jäännöskaasun joukkoon jäävä vety. Jos tuotevety on liian puhdasta, jäännöskaasun joukkoon menee turhaan vetyä poltettavaksi reformerilla. Lisäksi ylimääräistä vetyä ajetaan polttokaasun joukkoon. Tällöin säästetään polttokaasun joukkoon pursotettavan maakaasun määrässä, mutta vety on silti kallista poltettavaksi. Muita häviöitä vetylaitoksella ovat LS-höyryn ulospuhallus, savukaasuhäviöt, viemäriin menevät vedet, sekä jäähdytysvesiin ja ilmajäähdyttimellä ilmaan siirtyvä lämpö.



Kuva 9: VY2 häviöt

Energiahäviölaskenta on muodostettu apumuuttujien avulla. Kaikista häviöistä on tehty erikseen apumuuttuja, jotta on helpompi jäljittää, mistä muutokset kokonaisenergiähäviössä johtuvat ja näin miettiä mahdollisia tapoja pienentää energiahäviöitä. Lisäksi apumuuttujien avulla tehty kokonaisenergiähäviön kaava on huomattavasti selkeämpi ja jälkikäteen tarkkailtuna ymmärrettävämpi.

6.1 Soihtuun ajettavan vedyn energia

Soihtuun ajettavasta vedystä aiheutuvalle energiahäviölle tehtiin TOP-järjestelmään kaava.

$$R_VY2H2SOIHTUUN = FI68005 * 1000 * 119,91$$

FI68005 = Vedyn virtaus soihtuun (t/h)

Kaavassa soihtuun menevän vedyn virtaus (FI68005) muutetaan muotoon kg/h ja kerrotaan vedyn lämpöarvolla.

Kaavan toimivuutta seurattaessa, huomattiin virtausmittauksessa olevan aina hieman pohjanäyttöä n. 0,02 t/h, joka vedyn suuren lämpöarvon vuoksi sai tästä johtuvan energiahäviön näyttämään jopa 2400 MJ/h. Pohjanäytöstä johtuvan virheen estämiseksi luotiin apumuuttuja \$L209.DBCV, joka ottaa huomioon venttiilin asennon.

```
IF PC68001A_VE.DBCV > 0
THEN $L209.DBCV = FI68005
ELSE $L209.DBCV = 0
```

```
PC68001A_VE = Vety PSA:lta soihtuun
FI68005 = Vedyn virtaus soihtuun (t/h)
```

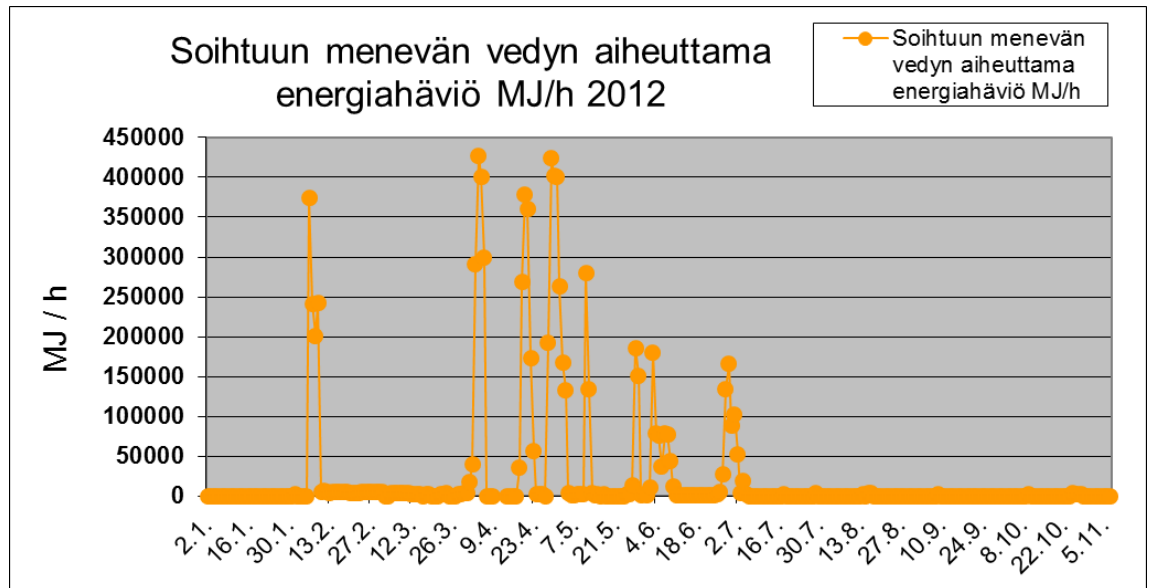
Kaava toimii niin, että venttiilin PC68001A_VE ollessa kiinni virtaus putkessa on 0, vaikka FI68005 näyttäisi virtausta epätarkkuudesta johtuen.

Apumuuttuja päivitettiin kaavaan.

$$R_VY2H2SOIHTUUN = \$L209.DBCV * 1000 * 119,91004 / (FI68003.DBCV * 1000)$$

FIQ68003 = Tuotevety (t/h)

TOP-näkymä kaavasta ja trendistä liitteenä (Liite 6).



Kuva 10: Soihtuun menevän vedyn aiheuttama energiahäviö MJ/h

6.2 Polttokaasun joukkoon menevästä vedystä aiheutuva energiahäviö

$$R_VY2H2POLTHAVIO = R_VY2H2POLTTOON.DBCV * 1000 * 119,91004 / (FIQ68003.DBCV * 1000)$$

FIQ68003 = Tuotevety (t/h)

Kaavassa hyödynnetään kohdassa 5.5 esitettyä polttokaasun joukkoon menevän vedyn laskentakaavaa. Polttokaasun joukkoon menevän vedyn määrä kg/h kerrotaan vedyn lämpöarvolla ja saatu tulos jaetaan tuotevedyn määrällä kg/h. TOP-näkymät kaavasta ja trendistä liitteenä (liite 7).

6.3 Savukaasujen terminen lämpöhäviö

Savukaasujen mukana taivaalle kulkeutuu lämpöenergiaa. VY2:lla savukaasujen lämpöä kuitenkin otetaan paljon talteen reformerin konvektio-osassa.

$$\dot{Q}_{SKhäv} = m_{SK} * c_{PSK} * (T_{SK} - T_{VER})$$

Savukaasujen termiselle lämpöhäviölle luotiin kaava ja muuttujalle annettiin nimeksi R_VY2SKHÄVIÖ.

$$R_VY2SKHÄVIÖ = (FI66020.DBCV * 1000 * (TI66091.DBCV - 20) / 1000) / (FIQ68003.DBCV * 1000)$$

FI66020 = Savukaasu virtaus (t/h)

TI66091 = Savukaasujen lämpötila (°C)

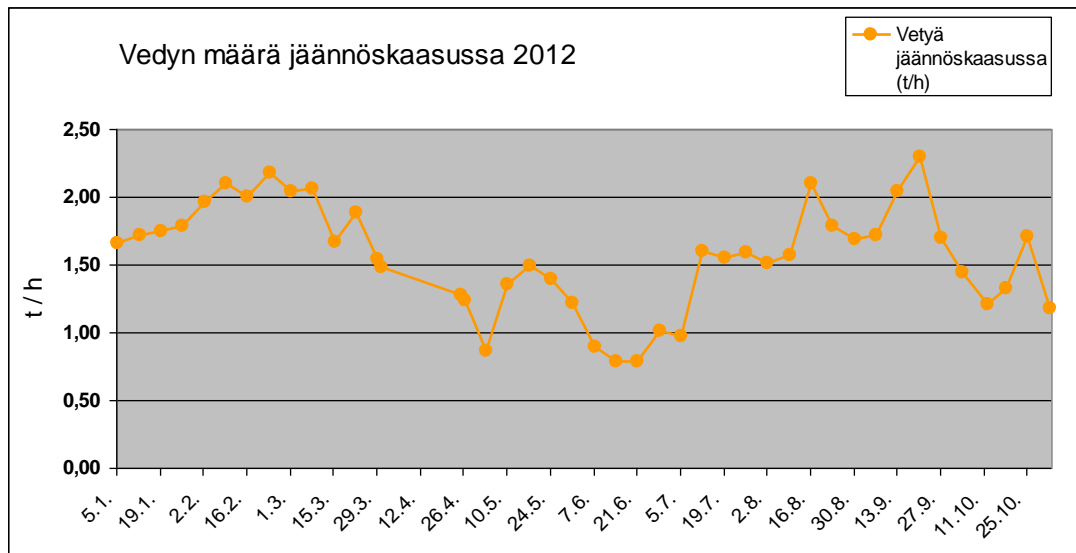
FIQ68003 = Tuotevety (t/h)

Kaavassa savukaasujen lämpötilasta (TI66091) vähennetään referenssilämpötila, eli vertailulämpötila ja kerrotaan savukaasujen virtauksella (FI66020) muodossa kg/h. Savukaasun ominaislämpökapasiteetti on $c_{PSK} = 1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, joten se voidaan jättää pois kaavasta. TOP-näkymät savukaasuista aiheutuvan energiahäviön kaavasta ja trendistä ovat liitteenä (liite 8).

Savukaasujen lämpötila piipussa ei kondensoitumisen välttämiseksi saa olla alle $135 \text{ }^\circ\text{C}$, koska pisaroituminen aiheuttaa savupiipun korroosiota. Tästä johtuen savukaasujen aiheuttama energiahäviö on minimissään lähellä insinöörirajana käytettyä lämpötilaa, $135 \text{ }^\circ\text{C}$. Savukaasujen ulostulolämpötila on todellisuudessa kuitenkin huomattavasti korkeampi. Savukaasuista johtuva energiahäviö voidaan minimoida välttämällä reformerin ylikuumentamista, optimoimalla polttoilman määrä ja hyödyntämällä savukaasujen lämpöä konvektio-osassa kulkevien virtojen lämmittämiseen mahdollisimman tehokkaasti.

6.4 Jäännöskaasuun jäävä vety

Jäännöskaasuun jäävä vety muodostaa yhden suurimmista häviöistä vetylaitoksella. VY2:lta vaadittavan erittäin puhtaan tuotevedyn valmistamiseksi keskimäärin noin 1,5 t/h vetyä päättyy jäännöskaasun mukana poltettavaksi reformerin polttimilla. Taulukosta nähdään vuoden 2012 laboratorioanalyysien perusteella jäännöskaasun mukana reformerille poltettavaksi päätyneen vedyn määrä.



Kuva 11: Vedyn määrä jäännöskaasussa 2012

Jäännöskaasulinjassa ei ole analysaattoria, josta saataisiin reaaliaikaisena tietona vedyn määrä. TOP-järjestelmään luotiin muuttuja R_VY2H2JÄÄPSA, joka laskee vedyn määrän jäännöskaasussa laboratorioanalyysien perusteella. Kaava muuttaa vedyn määrän mooliprosenteista massaprosenteiksi ja kertoo saadun tuloksen jäännöskaasun virtausmäärällä. TOP-näkymät jäännöskaasuun jäävän vedyn kaavasta ja trendistä on liitteenä (liite 9).

$$\begin{aligned}
 R_VY2H2JAAPSA = & \\
 & (FI67003.DBCV - FIQ68003.DBCV) * \\
 & 100 * (VY2_JAAPSA_H2 * 2,0159 / 100) / \\
 & ((VY2_JAAPSA_H2 * 2,0159 / 100) \\
 & + (VY2_JAAPSA_N2 * 28,0135 / 100) \\
 & + (VY2_JAAPSA_CO * 28,01 / 100) \\
 & + (VY2_JAAPSA_CH4 * 16,042999 / 100) \\
 & + (VY2_JAAPSA_CO2 * 44,009998 / 100))
 \end{aligned}$$

FI67003 = Prosessikaasu PSA:lle (t/h)

FIQ68003 = Tuotevety (t/h)

VY2_JAAPSA_H2 = Jäännöskaasun vety pitoisuus (mol-%)

VY2_JAAPSA_N = Jäännöskaasun typpi pitoisuus (mol-%)

VY2_JAAPSA_CO = Jäännöskaasun hiilimonoksidi pitoisuus (mol-%)

VY2_JAAPSA_CH4 = Jäännöskaasun metaani pitoisuus (mol-%)

VY2_JAAPSA_CO2 = Jäännöskaasun hiilidioksidi pitoisuus (mol-%)

Jäännöskaasuun päätyvästä vedystä aiheutuvalle energiahäviölle luotiin TOP-järjestelmään kaava, joka kertoo jäännöskaasuun päätyvän vedyn määrän sen lämpöarvolla ja jakaa tuloksen tuotevedyn virtauksella.

$$R_VY2H2JAAPHAV = R_VY2H2JAAPSA.DBCV * 1000 * 119,910004 / (FIQ68003.DBCV * 1000)$$

FIQ68003= Tuotevety (t/h)

Vedyn suuren lämpöarvon vuoksi pienikin määrä hukkaan menevää vetyä muodostaa suuren energiahäviön. Näin ollen pienetkin muutokset vedyn puhtaudessa vaikuttavat huomattavasti vetylaitoksen kokonaisenergiähäviöön. Tästä johtuva energiahäviö voidaan minimoida välttämällä liian puhtaan vedyn valmistamista.

6.5 Jäähdytysveden ja ilmaan siirtyvä lämpöenergia

Kuuma- ja kylmäerottimien välissä prosessikaasuvirtaa jäähdytetään ilmajäähdyttimellä, jolloin hukataan lämpöenergiaa. Kylmäerottimen ja loppuerottimen välillä siirretään prosessikaasun lämpöä jäähdytysvedeen. Jäähdytysvesi tulee jalostamon vesiverkosta, eikä sen lämpöä hyödynnetä, joten lämpöenergiaa menee hukkaan. Energiähäviökaavassa otetaan huomioon nämä energiahäviöt.

$$R_VY2JAAHDHAV = (((FI67003.DBCV * 1000 * 2,97 * (TIA67005.DBCV - TCA67007.DBCV)) + (FCA67006.DBCV * 1000 * (2260 + ((TIA67005.DBCV - 100) * 1,89) + ((100 - TIA67012.DBCV) * 4,19)))) / 1000) / (FIQ68003.DBCV * 1000)$$

FI67003 = Prosessikaasu PSA:lle (t/h)

TIA67005 = Prosessikaasun lämpötila ennen erottimia (°C)

TCA67007 = Prosessikaasun lämpötila erottimien jälkeen (°C)

FCA67006 = Lauhde virtaus (t/h)

TIA67012 = Lauhteen lämpötila (°C)

FIQ68003= Tuotevety (t/h)

Ilmajäähdyttimeltä EC-67001 ilmaan siirtyvä lämpöenergia ja loppujäähdyttimellä jäähdytysvedeen siirtyvä lämpöenergia ajatellaan laskennassa yhtenä lämpöhäviönä.

Kaava on kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa $(FI67003.DBCV * 1000 * 2,97 * (TIA67005.DBCV - TCA67007.DBCV))$ lasketaan kuivan kaasun jäähtymisessä häviävä lämpöenergia ja toisessa osassa $(FCA67006.DBCV * 1000 * (2260 + ((TIA67005.DBCV - 100) * 1,89) + ((100 - TIA67012.DBCV) * 4,19))) / 1000$ lasketaan kaasun mukana tulevan vesihöyryn jäähtymisessä ja lauhtumisessa häviävä energia. Kuivan kaasun jäähtymisessä häviävä energia on laskettu muuttamalla kaasun virtaus muotoon kg/h ja kertomalla se laboratorioanalyysiin perustuvalla keskimää-

räisellä kyseisen prosessikaasun ominaislämpökapasiteetilla ja lämpötilan muutoksella.

Kaavassa on laskettu höyryn jäähtymisessä vapautuva energia (vesihöyryn jäähtymisen 100 °C:een) kertomalla höyryn lämpötilan muutos vesihöyryn ominaislämpökapasiteetilla ja veden jäähtymisessä vapautuva energia kertomalla lämpötilan muutos (100 °C vähennetään lauhteen lämpötila) veden ominaislämpökapasiteetilla. Vesihöyryn jäähtymisestä ja lauhtumisesta aiheutuva energiahäviö on laskettu muuttamalla lauhteen virtaus muotoon kg/h ja kertomalla se veden ominaishöyrystyslämmöllä, vesihöyryn ja veden jäähtymisessä vapautuvalla energialla. Lopputulos on jaettu tuotteen virtauksella kg/h. TOP-näkymät erottimilta häviävän lämpöenergian laskentakaavasta ja trendistä liitteenä (liite 10).

Prosessikaasun lämpötila ennen jäähdytystä on melko alhainen, noin 137°C, jonka vuoksi sen lämpöenergiaa ei hyödynnetä. Esimerkiksi veden höyrystämiseen lämpötila ei ole riittävä. Jäähdytysveteen ja ilmaan siirtyvään energiahäviöön voidaan vaikuttaa välttämällä reformerin ylikuumentamista ja liian suuren höyrymäärän syöttämistä maakaasun joukkoon.

6.6 LS-höyryn ulospuhallus

Vetylaitokselta ajetaan matalapainehöyryä taivaalle äänenvaimentimen kautta, koska ei ole vielä päätetty tapaa hyödyntää sitä. LS-höyryn ulospuhalluksesta johtuvan häviön määrittämisessä ongelmana on puuttuva virtausmittaus. LS-höyryputkeen oli tarkoitus laittaa väliaikainen, putken päälle asennettava ultraääneen perustuva virtausmittari. Suunnitelmia tehdessä kuitenkin selvisi, että kyseinen mittari on epäkunnossa, jonka vuoksi mittausta ei voitu suorittaa. Jos LS-höyrylinjaan tulevaisuudessa laiteetaan virtausmittaus, LS-höyrystä muodostuvalle energiahäviölle voidaan luoda muutuja, joka lisätään energiahäviölaskentaan. Alla on esitetty kaava muuttujalle,

$$R_VY2LSHÄVIÖ = (FIXXXX.DBCV * 1000 * 2,8) / (FIQ68003:DBCV * 1000)$$

$$FIQ68003 = \text{Tuotevety (t/h)}$$

Kaavassa LS-höyryn virtaus kg/h kerrotaan LS-höyryn entalpialla. Saatua tulos jaetaan tuotevedyn virtauksella kg/h. Laskenta antaa energiahäviön tuotettua vetykiloa kohti MJ/kg H₂.

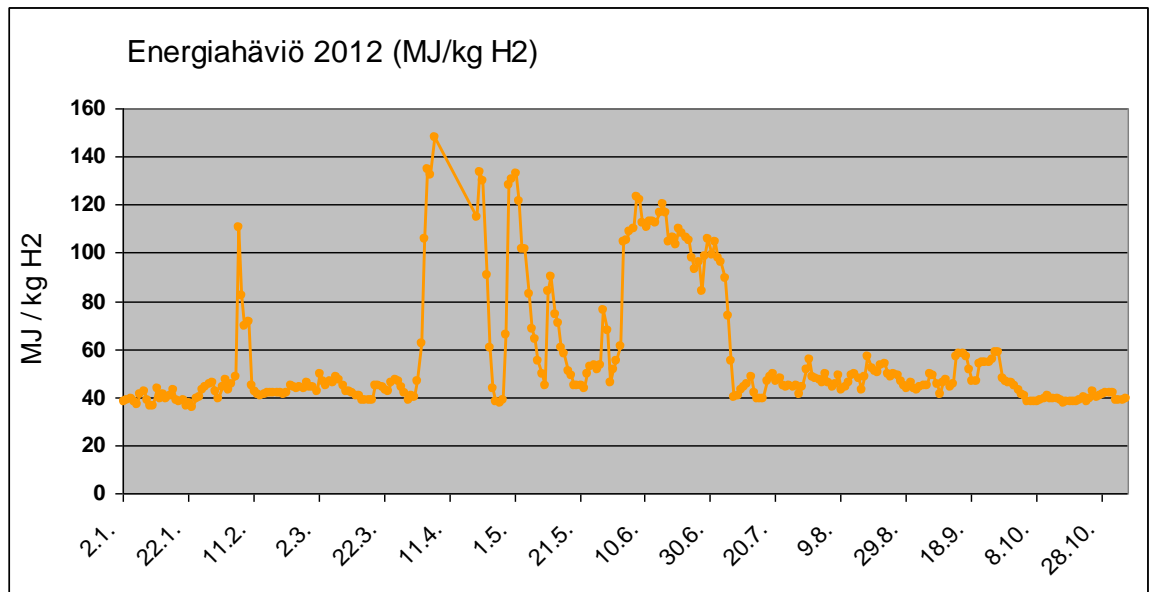
6.7 Energiahäviö laskenta

```
IF (FIQ68003.DBCV > 0.01)
THEN R_VY2ENERGIAHÄV =
```

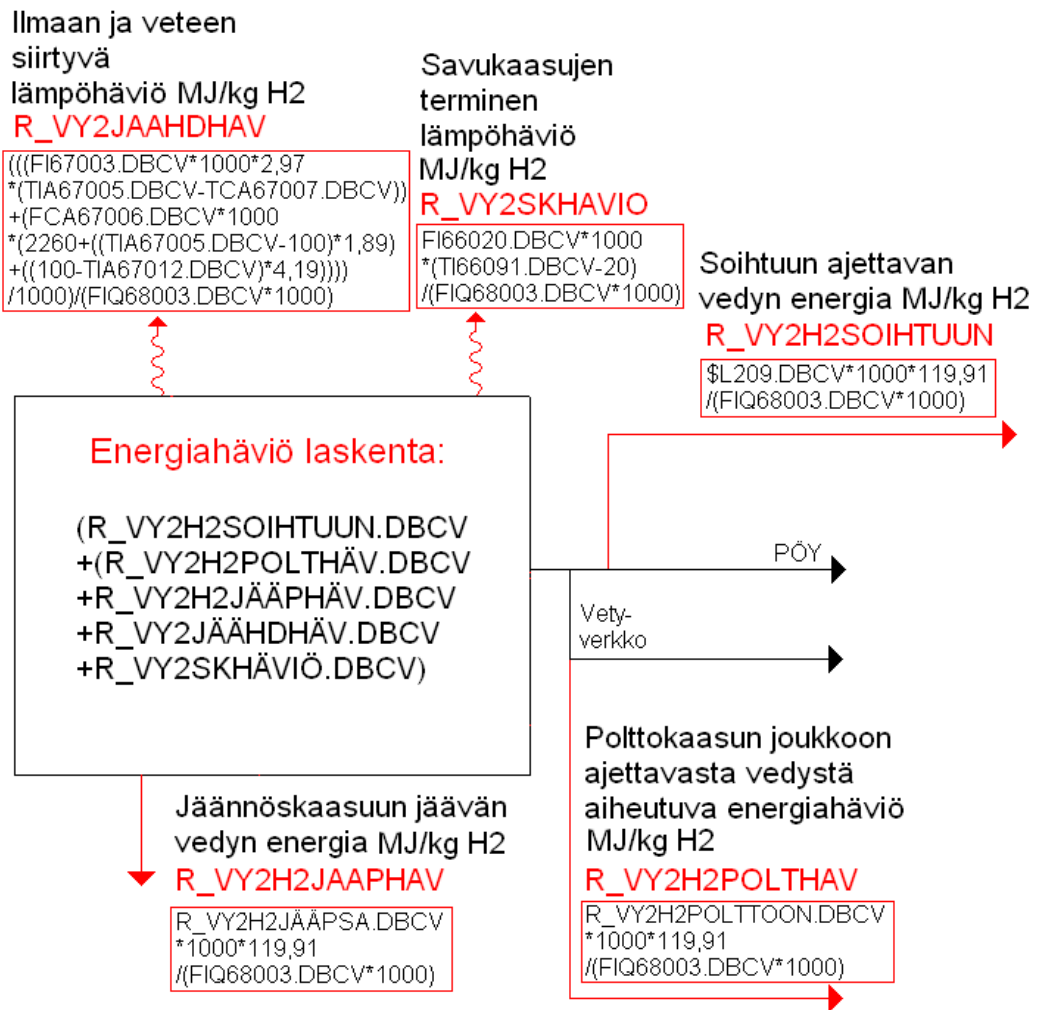
```
(R_VY2H2SOIHTUUN.DBCV
+ (R_VY2H2POLTHÄV.DBCV
+ R_VY2H2JÄÄPHÄV.DBCV
+ R_VY2JÄÄHDHÄV.DBCV
+ R_VY2SKHÄVIÖ.DBCV)
```

FIQ68003 = Tuotevety (t/h)

Energiahäviö on laskettu tuotettua vetykiloa kohti. Energiahäviö ei kuitenkaan ole verrattavissa suoraan energiataseeseen, koska uusi energiatase kaava laskee energiankulutuksen hyödynnettyä vety kiloa kohti. Energiahäviötä ei voida laskea hyödynnettyä vety kiloa kohti, koska kaiken vedyn mennessä soihtuun olisi vetylaitoksen energiahäviö 0, vaikka häviöt ovat silloin todellisuudessa suurimmillaan. TOP-näkymät energiahäviön laskentakaavasta ja trendistä liitteenä (liite 11).



Kuva 12: Laskennan mukainen vetylaitoksen energiahäviö 2012



Kuva 13: Kaavio energiahäviölaskennasta

7 UUSI TOP-SIVU

Laskentoja varten tehtiin uusi sivu TOP-järjestelmään. Vetylaitoksen yleiskuvan pohjalta tehtiin luonnos, johon sijoitettiin energiahäviö ja energiatase laskentakaavat ja muuttujat, sekä niissä käytetyt virtaus- ja lämpötila mittaukset. Luonnos on liitteenä (Liite 12). Oikea TOP-sivu luotiin luonnoksen pohjalta. Kuva toteutuneesta TOP-sivusta on liitteenä (Liite 13).

TOP-järjestelmä on lähinnä insinöörien ja tuotantomestareiden käyttöön tarkoitettu prosessinseurausjärjestelmä. TOP:ssa on prosessin seuraamisen, kehittämisen ja optimoinnin kannalta oleelliset mittaustiedot sekä sinne luotuja laskentoja. Järjestelmä on pääpiirteissään verrattavissa ohjausjärjestelmiin, mutta sillä ei suoranaisesti operoida prosessia. Kuitenkin tietokone säädöt ovat syötettynä TOP:iin. Tekemällä muutoksia

tietokonesäätöjen rajoitteisiin ja pyyntiarvoihin, voidaan TOP:lla konkreettisesti vaikuttaa prosessiin.

8 VIRHEARVIOINTI

8.1 Mittareiden epätarkkuudet

Kaikissa prosessin mittauksissa esiintyy epätarkkuutta. Mahdollisen virheen suuruus riippuu mittaustekniikasta. Laskennoissa käytetyille mittauksille on arvioitu mittaus-tavan perusteella mahdollinen virhe. Mittausten epätarkkuudet on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 3: Mittausten virhe

Positio	Kuvaus	Virhe %
FIQ65001	Maakaasun syöttö (t/h)	2
FCQ65004	ROG syöttö (t/h)	0,5
FCQ66013	Reformerin polttokaasun syöttö (t/h)	0,5
FI66014	HS-höyry syöttö PÖY:lle (t/h)	2
FI69005A	MS- höyry (t/h)	1
FIQ68003	Tuotevety (t/h)	2
FI68005	Vedyn virtaus soihtuun (t/h)	2
FI11311	Vety polttokaasuun (t/h)	0,5
FC68008	Vety BERP3:een (t/h)	0,5
FI67003	Prosessikaasu PSA:lle (t/h)	2
TIA67005	Prosessikaasun lämpötila ennen erottimia (°C)	1
TCA67007	Prosessikaasun lämpötila jäähdyttimien jälkeen (°C)	1
FCA67006	Lauhdevirtaus (t/h)	2
TIA67012	Lauhteen lämpötila (°C)	1
FI66020	Savukaasuvirtaus (t/h)	2
TI66091	Savukaasujen lämpötila (°C)	1

Virtausmittausten virheet on arvioitu mittaustavan mukaan. MiMo (Mikro Motion) virtausmittaukset ovat luotettavimpia, niiden virhe on alle 0,5 %. Myös Vortex - ilmiöön perustuvat mittaukset ovat melko tarkkoja, niiden virhe on n. 1 % ja mittalaitteissa on suurin virhemarginaali noin 2 %. Virtauksen mittaus mittalaitteilla perustuu paine-eromittaukseen. (Aalto 2012)

8.2 Virheen laskeminen

Virhemarginaalit on määritetty laskemalla esimerkki arvojen avulla virtausmittausten epätarkkuuksista aiheutuva mahdollinen maksimi virhe.

Syötetään kaavaan esimerkki arvot muuttujien paikalle ja lasketaan tulos.

Esimerkiksi Savukaasuhäviö

$$R_VY2SKHÄVIÖ = (FI66020.DBCV * 1000 * (TI66091.DBCV - 20) / 1000) / (FIQ68003.DBCV * 1000)$$

FI66020 = Savukaasu virtaus ± 2 %

TI66091 = Savukaasujen lämpötila ± 1 %

FIQ68003 = Tuotevety ± 2 %

4.11.2012 Keskiarvo virtausten ja lämpötilan mukaan:

$$293,4 * 1000 * (161,9 - 20) / 1000 / (8,35 * 1000) = 4,99$$

Mahdolliset mittausepätkkuudet huomioiden laskennasta saatava maksimi arvo on:

$$299,3 * 1000 * (163,5 - 20) / 1000 / (8,18 * 1000) = 5,25$$

Mahdolliset mittausepätkkuudet huomioiden laskennasta saatava minimi arvo on:

$$287,5 * 1000 * (160,3 - 20) / 1000 / (8,51 * 1000) = 4,74$$

Muutetaan lasketut poikkeamat prosenteiksi:

$$5,25 / 4,99 - 1 = 0,0527$$

$$1 - (4,74 / 4,99) = 0,0502$$

Todetaan, että savukaasujen termisen lämpöhäviön tuloksen virhe marginaali on noin ± 5 %.

Laskentojen virhemarginaalit on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 4: Kaavojen virhemarginaalit

KAAVA	VIRHE %
R_VY2ENERGIAKUL	± 6
R_VY2ENERGIAHAVIO	± 4
R_VY2H2SOIHTUUN	± 4
R_VY2H2POLTHAVIO	± 4
R_VY2H2JAAPSA	± 2
R_VY2H2JAAPHAVIO	± 4
R_VY2SKHAVIO	± 5
R_VY2JAAHDHAVIO	± 4

9 TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT

Energiatase- ja energiahäviölaskennoista on tehty jalostamon sisäinen työohje (OQD-ohje). Ohje toimii koulutusmateriaalina vetylaitoksen ohjaamo-operaattoreille energiatehokkaampaan ajotapaan pyrittäessä. Lisäksi ohjeessa selitetään yksityiskohtaisesti laskentakaavojen sisältö mahdollisten kaavoihin tulevaisuudessa tehtävien muutosten helpottamiseksi. Ohje on liitteenä (Liite 14). Liitteenä olevan OQD -ohjeen vetyverkon kuva on sensuroitu versio kuten opinnäytetyössäkkin, koska tarkkoja virtausarvoja ei saa julkaista. Kohdassa 6.6 on esitetty ehdotus LS-höyrystä aiheutuvan energiahäviön lisäämiseksi energiahäviö laskentaan, jos ulospuhallettavan LS-höyryn linjaan saadaan tulevaisuudessa virtausmittaus. Lisäksi energiahäviölaskennassa voitaisiin ottaa huomioon viemäriin menevien vesien mukana häviävä lämpöenergia. Kaikissa viemäriin menevien vesien linjoissa ei ole virtausmittareita, mutta höyrylieriöltä FA66001X ja prosessilauhteen höyrystimeltä EA-67002 viemäriin menevissä linjoissa on virtausmittaukset.

Polttokaasun joukkoon vetyverkosta päätyvä vety ja jäännöskaasuun jäävä vety on tässä opinnäytetyössä käsitelty energiahäviöinä, joita ne eivät todellisuudessa ole, koska ne hyödynnetään uuneissa polttamalla. Ne kuitenkin huomioitiin ajotavan optimoimiseksi. Jos halutaan luoda laskenta, joka kertoo näistä aiheutuvan todellisen häviön, täytyy luoda ns. eurolaskuri. On syytä kuitenkin miettiä, onko tällaiselle laskurille todellisuudessa käyttöä ja antaako se prosessin kannalta mitään uutta ja oleellista tietoa. Eurolaskurilla voitaisiin laskea poltettavalle vedylle hinta ja vähentää siitä polttokaasussa ja maakaasussa säästettävä hinta. Laskentaa varten TOP:sta löytyy hinnat VY2:n vedylle, polttokaasulle ja maakaasulle.

Vetylaitoksen ohjaamo-operaattorit ovat alkaneet kirjata ylös ajotapaan tehtäviä muutoksia, jotka ovat vaikuttaneet energiankulutukseen tai energiahäviöihin. Saatavien tietojen perusteella tullaan tekemään askelkokeita ja pyritään taloudellisempaan ajotapaan.

LÄHTEET

Aalto, Kimmo. Suullinen tiedonanto 26.11.2012. Porvoo: Neste Oil Oyj.

Vetytalous. Energiateollisuus ry. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/vetytalous> [Viitattu 13.11.2012].

European comission. 2012. Best available techniques (BAT) reference document for the refining of mineral oil and gas. Saatavissa: <http://eippcb.jrc.es/reference/ref.html> [Viitattu 13.11.2012].

Hakkarainen, Marjatta. 1997. Kemia. Jyväskylä: Gummerus

Järvenpää, Riikka. 2007. Prosessivesien puhdistaminen kuparista elektrolyttisesti.

Saatavissa:

<http://publications.theseus.fi/handle/10024/6704/browse?value=kupari&type=subject>

[Viitattu 13.11.2012].

Kiuru, Marko. 2004. Soihtu 4 säätöjen toimintakuvaus. Yhtiön sisäiset ohjeet, Neste Oil Oyj.

Leinonen, Jyrki. 16.11.2012. Suullinen tiedonanto. Porvoo: Neste Oil Oyj.

Neste Oil lyhyesti. Neste Oil Oyj. Saatavissa: <http://www.nesteoil.fi> [Viitattu 19.9.2012].

Neste Oy. 1992. Neste Öljystä Muoveihin. Espoo: Frenckellin kirjapaino Oy.

Pirhonen, Pekka. 2008. Operointiohje: VY2 prosessikuvaus. Yhtiön sisäiset ohjeet. Neste Oil Oyj.

Raunio, Tapani. 2005. Vedyn valmistaminen. Saatavissa:

http://tfy.tkk.fi/aes/AES/courses/crspages/Tfy56.170_05/Raunio_Vedynvalmistaminen.pdf [Viitattu 9.10.2012].

Ronkainen, Martti. 2007. Diesel-hanke yleisesittely. Yhtiön sisäiset ohjeet. Neste Oil Oyj.

TOP-järjestelmä. 19.11.2012. Vetyverkko. Yhtiön sisäinen järjestelmä. Neste Oil Oyj.

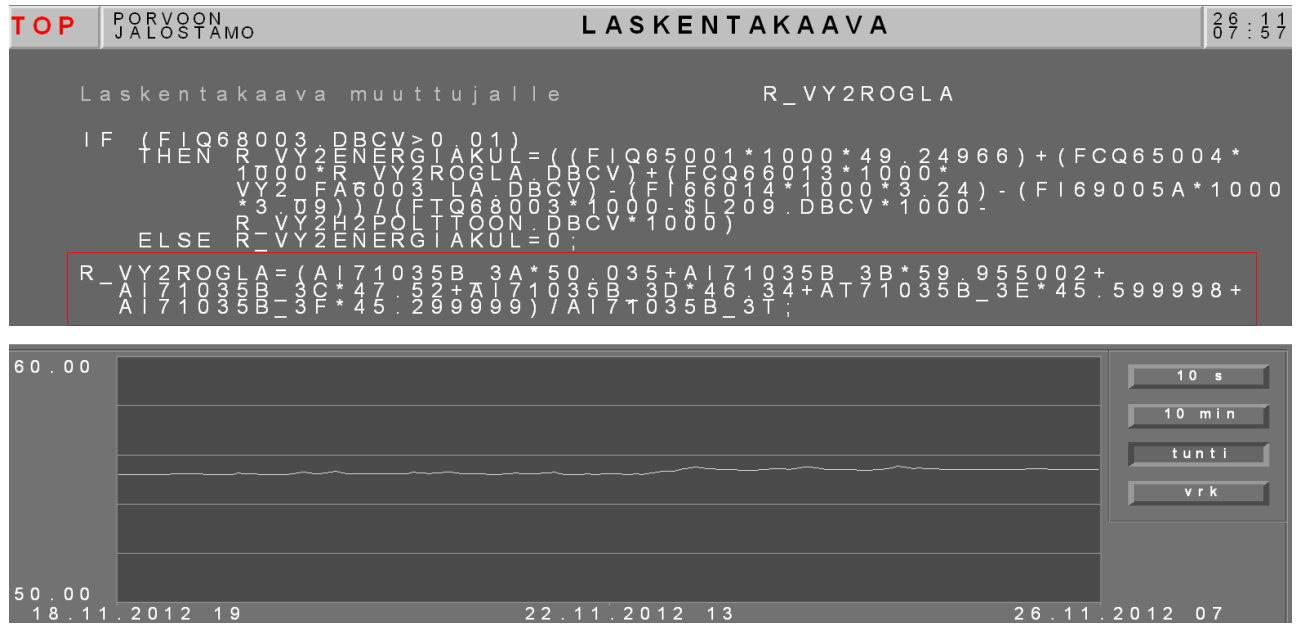
Vaskinen, Kaisa. 16.11.2012. Sähköposti. Porvoo: Neste Oil Oyj.

Vuori, Heli. 31.10.2012. Suullinen tiedonanto. Porvoo: Neste Oil Oyj.

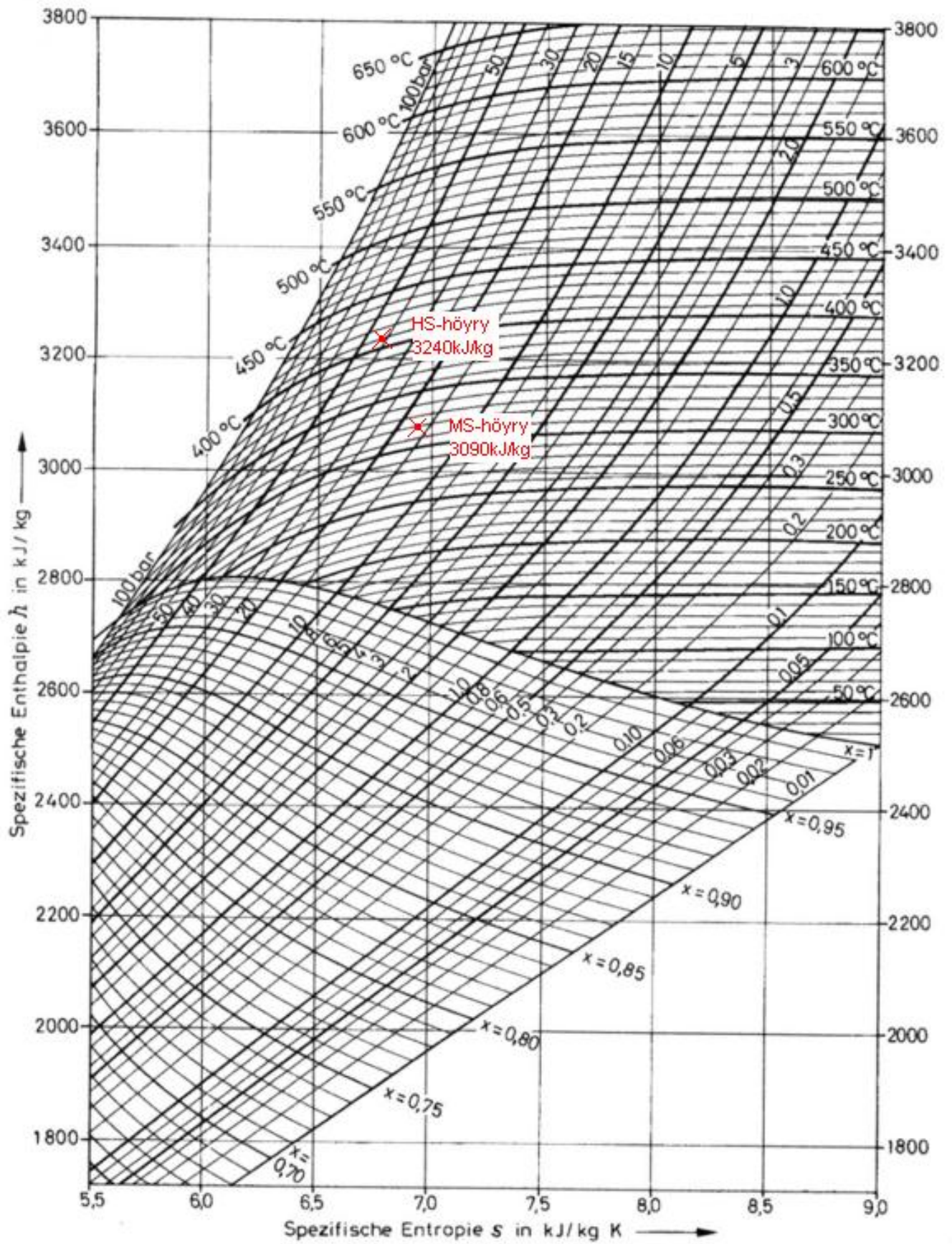
TOP -NÄKYMÄ ENERGIATASELASKENNASTA ENNEN PÄIVITYSTÄ

TOP	PORVOON JALOSTAMO	LASKENTAKAAVA	05:11 17:28
Laskentakaava muuttujalle		R_VY2ENERGIAKUL	
<pre>IF (FIQ68003.DBCV>0.01) THEN R_VY2ENERGIAKUL=((FIQ65001*1000*51.5999998)+(FCQ65004* 1000*58.2999999)+(FCQ66013*1000*58.2999999)-(FI66014* 1000*3.24)-(FI69005A*1000*3.06))/(FIQ68003*1000) ELSE R_VY2ENERGIAKUL=0;</pre>			
Kaikki kaavat tulostettu!			

TOP -NÄKYMÄT ROG:N LÄMPÖARVON LASKENTAKAAVASTA JA TRENDISTÄ



HS-DIAGRAMMI



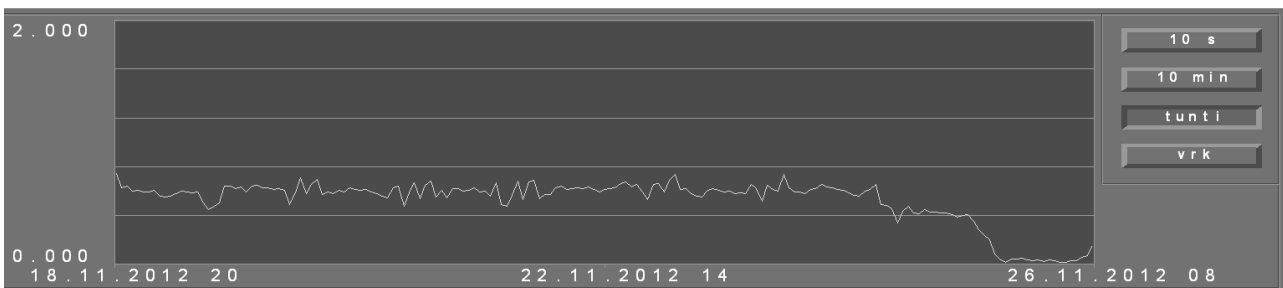
TOP -NÄKYMÄT POLTTOKAASUN JOUKKOON MENEVÄN VEDYN LASKENTA KAA-
VASTA JA TRENDISTÄ

TOP	PORVOON JALOSTAMO	LASKENTAKAAVA	12.11 09:29
------------	----------------------	----------------------	----------------

```

Laskentakaava muuttujalle           R_VY2H2POLTTOON

IF PC10370_VE.DBCV=0
  THEN R_VY2H2POLTTOON=0;
IF PC10370_VE.DBCV>0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV<0
  THEN R_VY2H2POLTTOON=$L246.DBCV.V;
IF PC10370_VE.DBCV>0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV>0 AND
  FI11311.DBCV<$L246.DBCV
  THEN R_VY2H2POLTTOON=FI11311.DBCV;
IF PC10370_VE.DBCV>0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV>0 AND
  FI11311.DBCV>$L246.DBCV
  THEN R_VY2H2POLTTOON=$L246.DBCV;
  
```



TOP -NÄKYMÄT ENERGIATASELASKENNASTA JA TRENDISTÄ PÄVITYKSEN JÄLKEEN

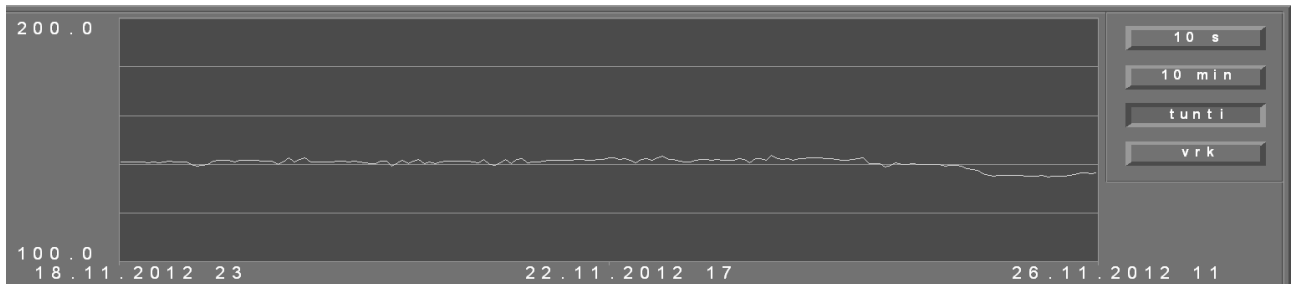
TOP | PORVOON JALOSTAMO | **LASKENTAKAAVA** | 26.11.11:22

Laskentakaava muuttujalle R_VY2ENERGIAKUL

```

IF (FIQ68003.DBCV>0.01)
THEN R_VY2ENERGIAKUL= ((FIQ65001*1000*49.24966)+(FCQ65004*
1000*R_VY2ROGLA.DBCV)+(FCQ66013*1000*
VY2_FA6003.LA.DBCV)-(FI66014*1000*3.24)-(FI69005A*1000
*3.09))/(FIQ68003*1000-$L209.DBCV*1000-
R_VY2H2POLTTOON.DBCV*1000)
ELSE R_VY2ENERGIAKUL=0;

```



TOP -NÄKYMÄT SOIHTUUN AJETTAVASTA VEDYSTÄ AIHEUTUVAN ENERGIAHÄVIÖN KAAVASTA JA TRENDISTÄ

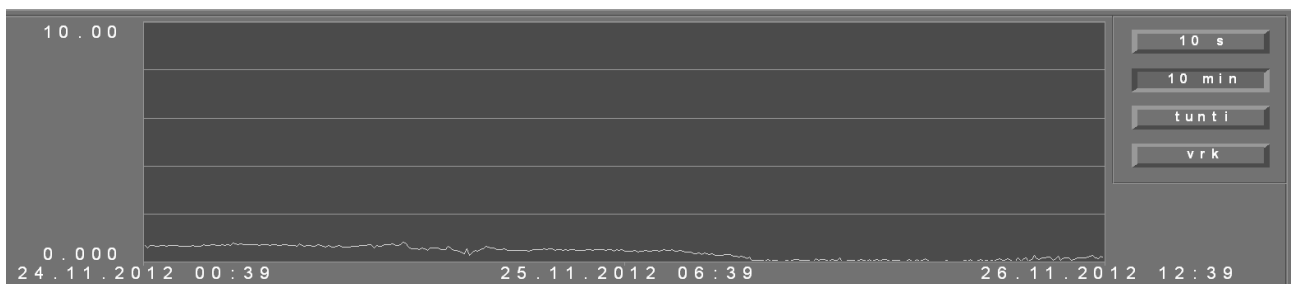
TOP	PORVOON JALOSTAMO	LASKENTAKAAVA	26:11 12:05
Laskentakaava muuttujalle		R_VY2H2SOIHTUUN	
<pre> IF (FIQ68003.DBCV>0.001) THEN R_VY2ENERGIAHAVIO=R_VY2H2SOIHTUUN.DBCV+ R_VY2H2POLTHAVIO.DBCV+R_VY2H2JAAPHAVIO.DBCV+ R_VY2JAAHDHAVIO.DBCV+R_VY2SKHAVIO.DBCV ELSE R_VY2ENERGIAHAVIO=0; </pre>			
<pre> R_VY2H2SOIHTUUN=\$L209.DBCV.V*1000*119.910004/(FIQ68003.DBCV* 1000); </pre>			

TOP -NÄKYMÄT POLTTOKAASUN JOUKKOON MENEVÄSTÄ VEDYSTÄ AIHEUTUVAN
ENERGIAHÄVIÖN LASKENTAKAAVASTA JA TRENDISTÄ

TOP PORVOON JALOSTAMO LASKENTAKAAVA 26.11.12:30

Laskentakaava muuttujalle R_VY2H2POLTHAVIO

```
R_VY2H2POLTHAVIO=R_VY2H2POLTTOON.DBCV*100*119.910004/(
-FIQ68003.DBCV*1000);
IF (FIQ68003.DBCV>0.001)
THEN R_VY2ENERGIAHAVIO=R_VY2H2SOIHTUUN.DBCV+
R_VY2H2POLTHAVIO.DBCV+R_VY2H2JAAPHAVIO.DBCV+
R_VY2JAAHDHAVIO.DBCV+R_VY2SKHAVIO.DBCV
ELSE R_VY2ENERGIAHAVIO=0;
```



TOP -NÄKYMÄT SAVUKAASUJEN LÄMPÖHÄVIÖN LASKENTAKAAVASTA JA TREN-DISTÄ

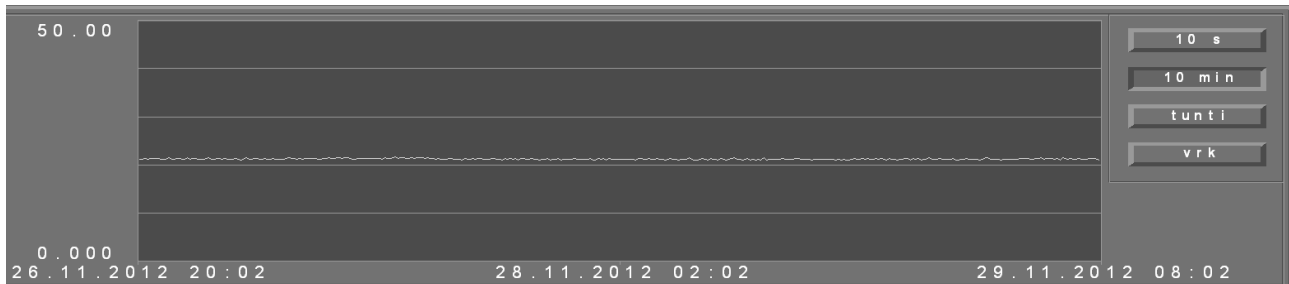
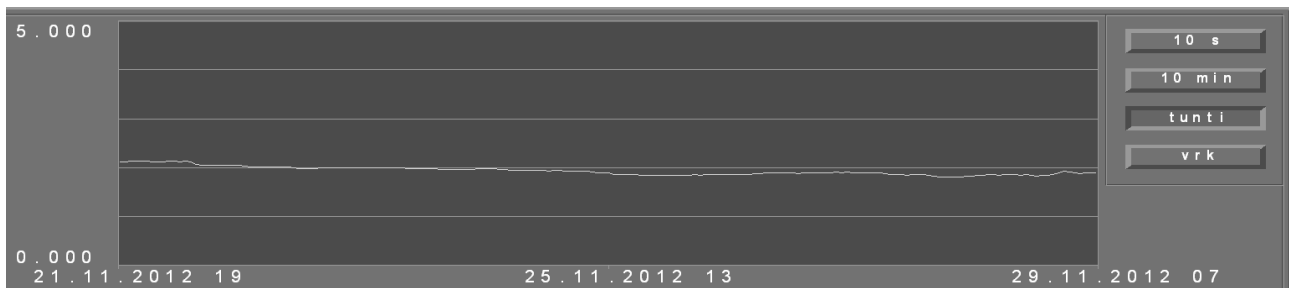


TOP -NÄKYMÄT JÄÄNNÖSKAASUUN JÄÄVÄN VEDYN MÄÄRÄN LASKENTAKAAVASTA JA SIITÄ JOHTUVASTA ENERGIAHÄVIÖN LASKENTAKAAVASTA, SEKÄ TRENDIESTÄ

TOP PORVOON JÄLOSTAMO **LASKENTAKAAVA** 29.11.2012 07:52

Laskentakaava muuttujalle R_VY2H2JAAPSA

$$R_FYQ68003_DBC\ V * 1000 * 119.910004 / (R_VY2H2JAAPSA_DBC\ V - FIQ68003_DBC\ V) ;$$

$$R_VY2H2JAAPSA = (FI67003_DBC\ V - FIQ68003_DBC\ V) * (VY2_JAAPSA_H2 * 28.0159 / 100) / ((VY2_JAAPSA_H2 * 28.0159 / 100) + (VY2_JAAPSA_N * 28.0135 / 100) + (VY2_JAAPSA_CO * 28.01 / 100) + (VY2_JAAPSA_CH4 * 16.042999 / 100) + (VY2_JAAPSA_CO2 * 44.009998 / 100)) ;$$


TOP -NÄKYMÄT EROTTIMILTA HÄVIÄVÄN LÄMPÖENERGIAN LASKENTAKAAVASTA
JA TRENDISTÄ

TOP | PORVOON JALOSTAMO | **LASKENTAKAAVA** | 29.11.08:09

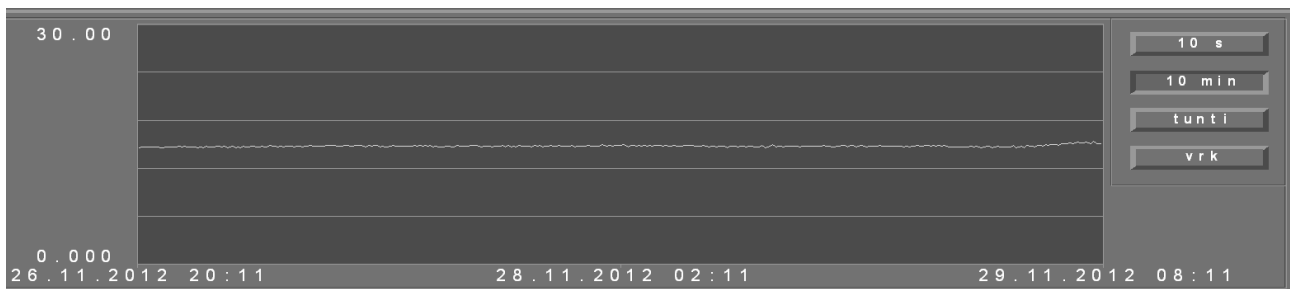
Laskentakaava muuttujalle **R_VY2JAAHDHAVIO**

```

R_VY2JAAHDHAVIO = ( ( ( FI67003.DBCV * 1000 * 2,97 * ( TIA67005.DBCV -
TCA67007.DBCV ) ) + ( FCA67006.DBCV * 1000 * ( 2260 + ( ( TIA67005.DBCV -
100 ) * 1,89 ) + ( ( 100 - TIA67012.DBCV ) * 4,19 ) ) ) ) / 1000 ) / (
FIQ68003.DBCV * 1000 ) ;

IF ( FIQ68003.DBCV > 0,001 )
THEN R_VY2ENERGIAHAVIO = R_VY2H2SOIHTUUN.DBCV +
R_VY2H2POLTHAVIO.DBCV + R_VY2H2JAAPHAVIO.DBCV +
R_VY2JAAHDHAVIO.DBCV + R_VY2SKHAVIO.DBCV ;
ELSE R_VY2ENERGIAHAVIO = 0 ;

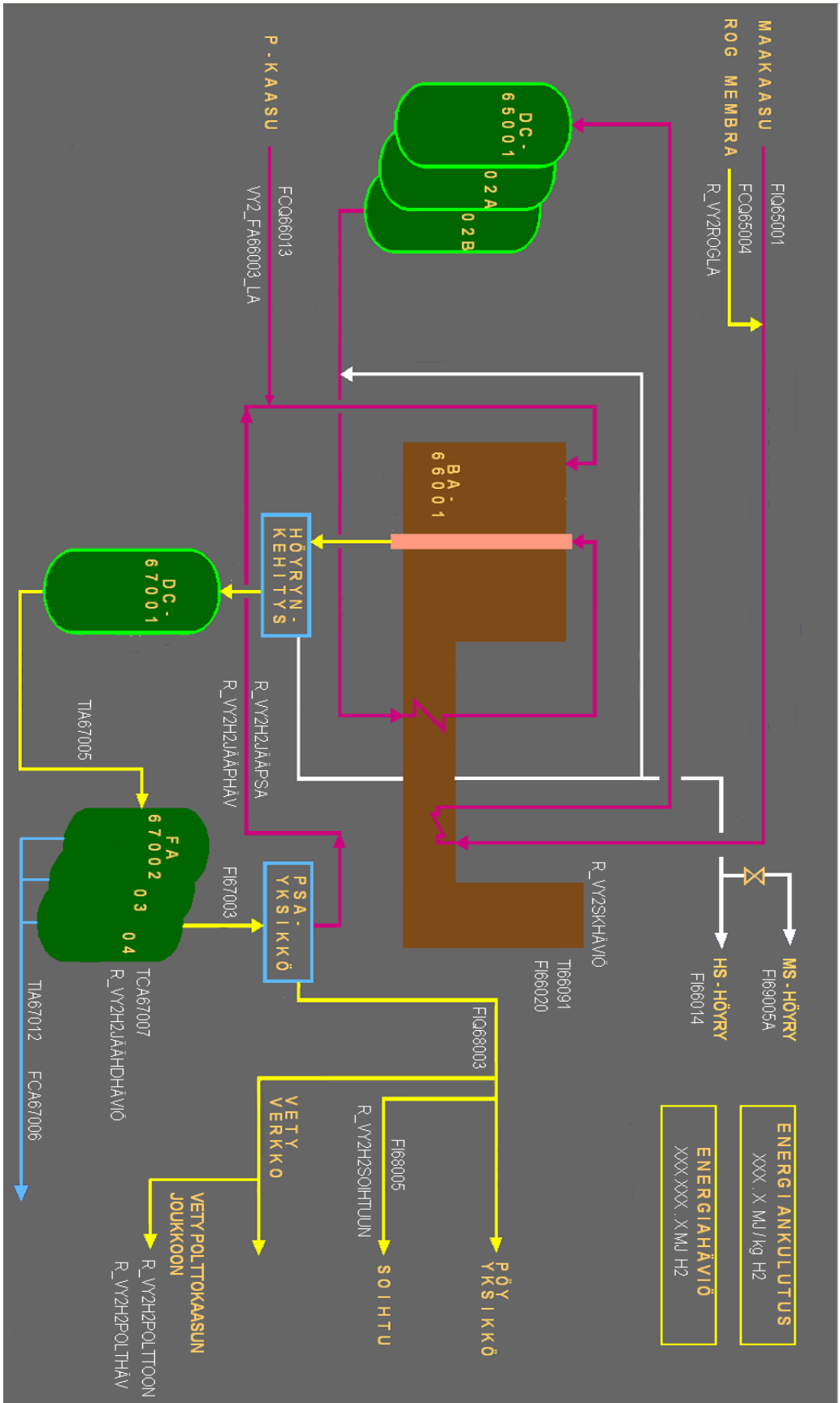
```



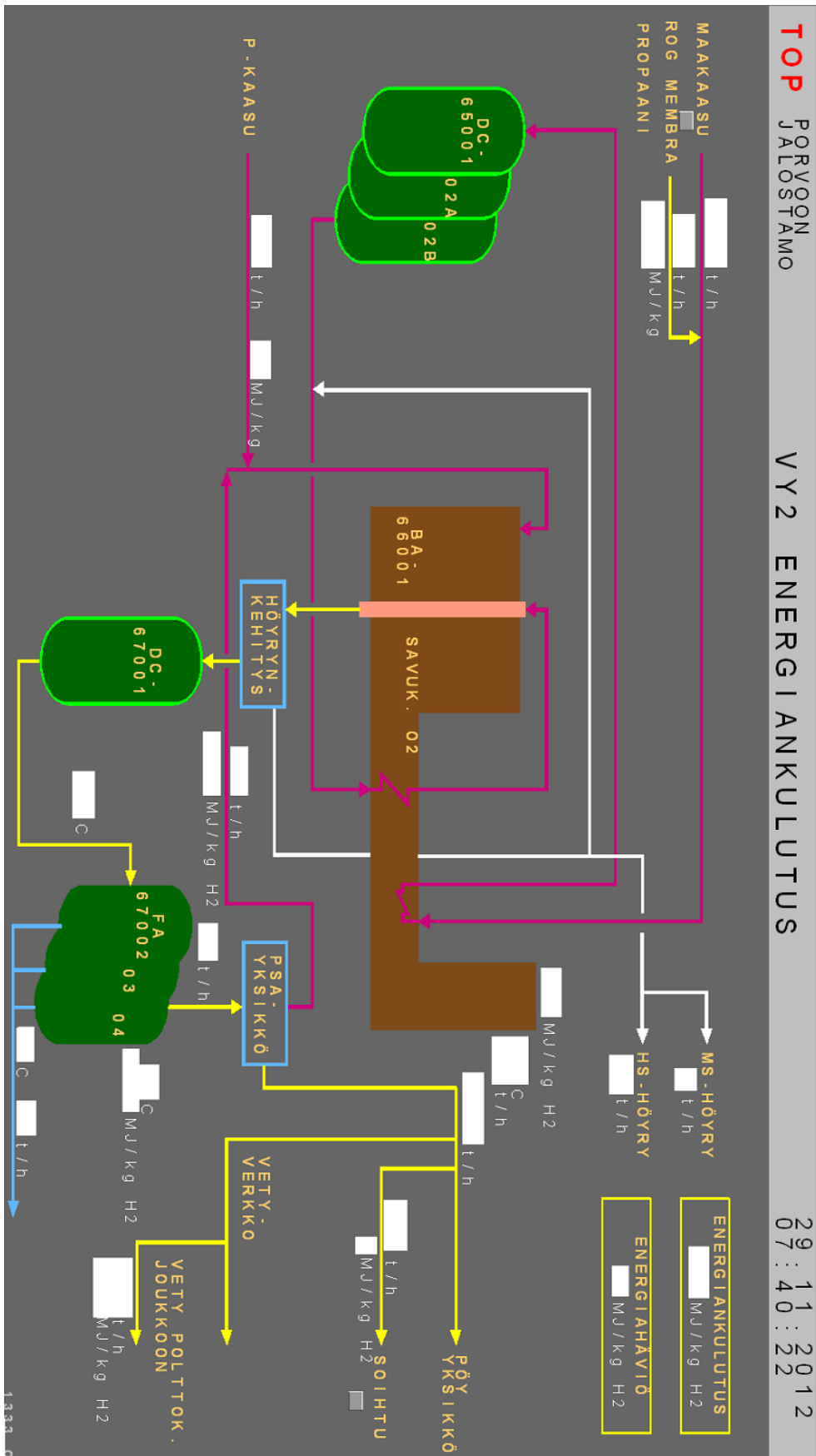
TOP -NÄKYMÄT ENERGIAHÄVIÖN LASKENTAKAAVASTA JA TRENDISTÄ



UUSI TOP -SIVU



KUVA TOTEUTUNEESTA TOP -SIVUSTA



OQD -OHJE VY2:N ENERGIATASE- JA ENERGIAHÄVIÖLASKENNOISTA

NESTE OIL**Työohje**
Sisäinen

OQD-16000

1 (12)

Linda Hytönen

20.11.2012

Versio 1

Jakelu

-

Tarkastaja, pvm

Heli Vuori

Hyväksyjä, pvm

*Joni Kunnas***VY2 ENERGIATASE- JA ENERGIAHÄVIÖLASKENNAT**

Sisällysluettelo

1 Muutokset	2
2 Johdanto	2
3 Soveltamisala	2
4 Turvallisuus	2
5 Energiataselaskenta	2
5.1 R_VY2ENERGIAKUL	2
5.1.1 R_VY2ROGLA	4
5.1.2 \$L209.DBCV	4
5.1.3 R_VY2H2POLTTOON	5
6 Energiahäviölaskenta	7
6.1 R_VY2ENERGIAHAVIO	8
6.1.1 R_VY2H2SOIHTUUN	9
6.1.2 R_VY2H2POLTHAVIO	10
6.1.3 R_VY2JAAPHAVIO	10
6.1.4 R_VY2JAAHDHAVIO	11
6.1.5 R_VY2SKHAVIO	11

Liitteet -

Ylläpitäjä TL4 käyttöinsinööri

Arkistointi Porvoo

Säilytysaika 5+1 v

NESTE OIL

Linda Hytönen

Työohje
Sisäinen

20.11.2012

OQD-16000

Versio 1

2 (12)

1 Muutokset

Tämä on uusi ohje.

2 Johdanto

Ohjeessa selvitetään Tuotantolinja 4:n, vetylaitoksen energiatase- ja energiahäviölaskentakaavojen ja niihin käytettyjen muuttujien toimintaa. Kaavat löytyvät jalostamon TOP -järjestelmästä sivulta 1333: VY2 Energiankulutus. Sivulta löytyvät laskentojen lisäksi kaikki kaavoissa käytetyt muuttujat, sekä virtaus- ja lämpötilamittaukset.

Laskennoista voidaan seurata ajotavan muutosten vaikutusta vetylaitoksen energiankulutukseen.

3 Soveltamisala

Ohjetta sovelletaan seurattaessa VY2:n energiatasetta ja energiahäviöitä.

4 Turvallisuus

-

5 Energiataselaskenta

Energiataselaskennan taserajauksena on VY2. Taselaskennassa taserajauksen sisään tulevista energiavirroista vähennetään ulos lähtevät energiavirrat. VY2:n energiatase on laskettu tuotettua (hyödynnettyä) vetykiloa kohti.

5.1 R_VY2ENERGIAKUL

Alla on esitetty vetylaitoksen energiataseen laskentakaava.

```
IF (FIQ68003.DBCV > 0.01)
THEN R_VY2ENERGIAKUL =

((FIQ65001 * 1000 * 49,25)
+ (FCQ65004 * 1000 * R_VY2ROGLA)
+ (FCQ66013 * 1000 * VY2_FA66003_LA)
- (FI66014 * 1000 * 3.24)
- (FI69005A * 1000 * 3.09))
/ (FIQ68003 * 1000 - $L209.DBCV * 1000
- R_VY2H2POLTTON * 1000)
```

```
ELSE R_VY2ENERGIAKUL = 0
```

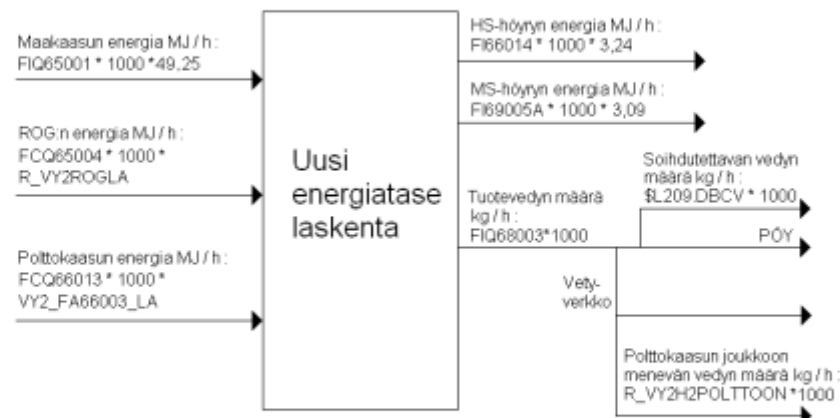
- FIQ65001 = Maakaasun syöttö (t/h)
- FCQ65004 = ROG:n syöttö (t/h)
- FCQ66013 = Polttokaasun syöttö (t/h)
- FI66014 = HS-höyry PÖY:lle (t/h)
- FI69005A = MS-höyry PÖY:lle (t/h)
- FIQ68003 = Tuotevety (t/h)

Kun vetyä tuotetaan vähintään 0,01 t/h kaava laskee vetylaitokselle energiataseen, muulloin energiatase on 0.

Kaava laskee yhteen vetylaitokselle tulevat energiavirrat: maakaasu, ROG ja polttokaasu ja vähentää tuloksesta ulos menevät, sivutuotteena muodostuvat energiavirrat: HS- ja MS-höyry. Lopuksi tulos jaetaan tuotevedyn määrällä, josta on vähennetty soihtuun ja polttokaasun joukkoon menevän vedyn määrä.

Kaavassa käytettävät virtausmittaukset t/h muutetaan muotoon kg/h. Tämän jälkeen ne kerrotaan kaasun lämpöarvolla. ROG:n lämpöarvo perustuu PÖY:n membraanin rejektikaasulinjassa olevan analysaattorin mittaustuloksiin ja polttokaasun lämpöarvo saadaan laboratorioanalyysien perusteella. Höyryjen mukana kulkeutuva energiamäärä lasketaan kaavassa kertomalla niiden virtaukset entalpia arvoilla (kJ/kg*K). Maakaasun lämpöarvo perustuu Gasum:n vuonna 2011 ilmoittamien lämpöarvojen ja tiheyksien keskiarvoon.

$$3,61 \text{ MJ/m}^3 / 0,733 \text{ kg/m}^3 = 49,25 \text{ MJ/kg}$$



NESTE OIL**Työohje**
Sisäinen

QQD-16000 4 (12)

Linda Hyltönen

20.11.2012

Versio 1

5.1.1 R_VY2ROGLA

Alla on esitetty ROG:n lämpöarvon laskentakaava.

$$\begin{aligned}
 R_VY2ROGLA = & \\
 & (AI71035B_3A * 50,035 + AI71035B_3B * 59,955 \\
 & + AI71035B_3C * 47,52 + AI71035B_3D * 46,34 \\
 & + AI71035B_3E * 45,6 + AI71035B_3F * 45,3) \\
 & / AI71035B_3T
 \end{aligned}$$

- AI71035B_3A = ROG CH4 (til-%)
- AI71035B_3B = ROG H2 (til-%)
- AI71035B_3C = ROG C2 (til-%)
- AI71035B_3D = ROG C3 (til-%)
- AI71035B_3E = ROG C4 (til-%)
- AI71035B_3F = ROG C5+ (til-%)
- AI71035B_3T = ROG pitoisuudet yhteensä (til-%)

PÖY:n membraanin rejektikaasulinjassa olevan analysaattorin tulokset ovat tilavuusprosentteina. Aineiden pitoisuuksilla kerrotaan niiden lämpöarvot ja lasketaan saadut tulokset yhteen. Lopputulos jaetaan pitoisuuksien summalla.

5.1.2 \$L209.DBCV

```

IF PC68001A_VE.DBCV > 0
THEN $L209.DBCV = FI68005
ELSE $L209.DBCV = 0

```

- PC68001A_VE = Vety PSA > Soihtuun
- FI68005 = Vedyn virtaus soihtuun (t/h)

Soihtuun virtaavan vedyn virtausmittauksessa FI68005 on pientä pohjanäyttöä, vaikka venttiili PC68001A olisi kiinni. Laskennoissa on käytetty soihtuun virtaavan vedyn virtausmittauksen tilalla muuttujaa \$L209.DBCV, joka ottaa huomioon venttiilin asennon.

NESTE OIL**Työohje**
Sisäinen

OQD-16000

5 (12)

Linda Hytönen

20.11.2012

Versio 1

5.1.3 R_VY2H2POLTTOON

Alla on esitetty polttokaasun joukkoon menevän vedyn laskentakaava.

```
IF PC10370_VE.DBCV = 0
THEN R_VY2H2POLTTOON = 0;
```

```
IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV < 0
THEN R_VY2H2POLTTOON = $L246.DBCV.V;
```

```
IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV > 0
AND FI11311.DBCV < $L246.DBCV.V
THEN R_VY2H2POLTTOON = FI11311.DBCV;
```

```
IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV > 0
AND FI11311.DBCV > $L246.DBCV.V
THEN R_VY2H2POLTTOON = $L246.DBCV.V
```

- PC10370_VE = BERP3 ohitusventtiili (%)
- FC68008 = Vety BERP3:een (t/h)
- FI11311 = Vety polttokaasuun (t/h)

Kaava valitsee tilanteen mukaan oikean virtausmittauksen, joka kertoo VY2:lta polttokaasun joukkoon päätyvän vedyn määrän.

Ensimmäinen lauseke (IF PC10370_VE.DBCV = 0) pätee, kun BERP3:n ohitusventtiili PC10370 on kiinni. Silloin vetylaitokselta ei mene vetyä polttokaasun joukkoon.

Toinen lauseke (IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV < 0 THEN R_VY2H2POLTTOON = \$L246.DBCV.V;) pätee kun BERP3:n ohitusventtiili PC10370_VE on auki ja VY2:lta BERP3:n suuntaan vedyn virtaus FC68008 yhdessä eteeniltä tulevan vedyn virtauksen FI11312 kanssa on pienempi kuin BERP3 ohituksen virtaus FI11311. Tarkoittaen, että Eteeniltä ja VY2:lta tulee yhteensä vähemmän vetyä, kuin polttokaasun joukkoon menee, jolloin REF3 vetyä menee myös polttokaasun joukkoon. Tässä tapauksessa VY2:lta menee polttokaasun joukkoon kaikki BERP3:n suuntaan virtaava vety FC68008. Kaavassa on käytetty virtausmittauksen FC68008 tilalla muuttujaa \$L246.DBCV, joka ottaa huomioon venttiilin asennon.

NESTE OIL

Työohje
Sisäinen

OQD-16000

6 (12)

Linda Hytönen

20.11.2012

Versio 1

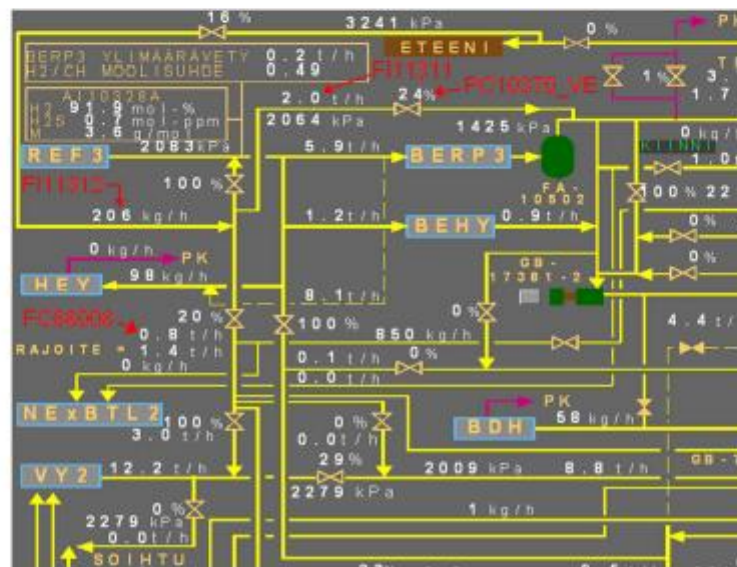
```

IF (FC68008_VE.DBCV > 1)
THEN $L246.DBCV.V = FC68008
ELSE $L246.DBCV.V = 0;

```

Kolmas lauseke (IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV > 0 AND FI11311.DBCV < \$L246.DBCV.V THEN R_VY2H2POLTTOON = FI11311.DBCV;) pätee, kun BERP3:n ohitusventtiili PC10370_VE on auki ja VY2:lta BERP3:n suuntaan vedyn virtaus FC68008 yhdessä eteeniltä tulevan vedyn virtauksen FI11312 kanssa on suurempi kuin BERP3 ohituksen virtaus FI11311. Tarkoittaen, että Eteeniltä ja VY2:lta tulee yhteensä enemmän vetyä, kuin polttokaasun joukkoon menee. Lisäksi BERP3:n ohituksen virtauksen täytyy olla pienempi kuin VY2:lta BERP3:n suuntaan virtaavan vedyn määrä FC68008. Tässä tapauksessa kaikki BERP3:n ohituksen kautta polttokaasun joukkoon virtaavasta vedystä FI11311 on VY2:n vetyä.

Neljäs lauseke (IF PC10370_VE.DBCV > 0 AND R_BRP3H2OHITUS.DBCV > 0 AND FI11311.DBCV > \$L246.DBCV.V THEN R_VY2H2POLTTOON = \$L246.DBCV.V) pätee, kun BERP3:n ohitusventtiili PC10370_VE on auki ja VY2:lta BERP3:n suuntaan vedyn virtaus FC68008 yhdessä eteeniltä tulevan vedyn virtauksen (FI11312) kanssa on suurempi kuin BERP3 ohituksen virtaus FI11311. Tarkoittaen, että Eteeniltä ja VY2:lta tulee yhteensä enemmän vetyä, kuin polttokaasun joukkoon menee. Lisäksi BERP3:n ohituksen virtauksen täytyy olla suurempi kuin VY2:lta BERP3:n suuntaan virtaavan vedyn määrä FC68008. Tässä tapauksessa kaikki VY2:lta BERP3:n suuntaan virtaava vety FC68008 menee polttokaasun joukkoon.



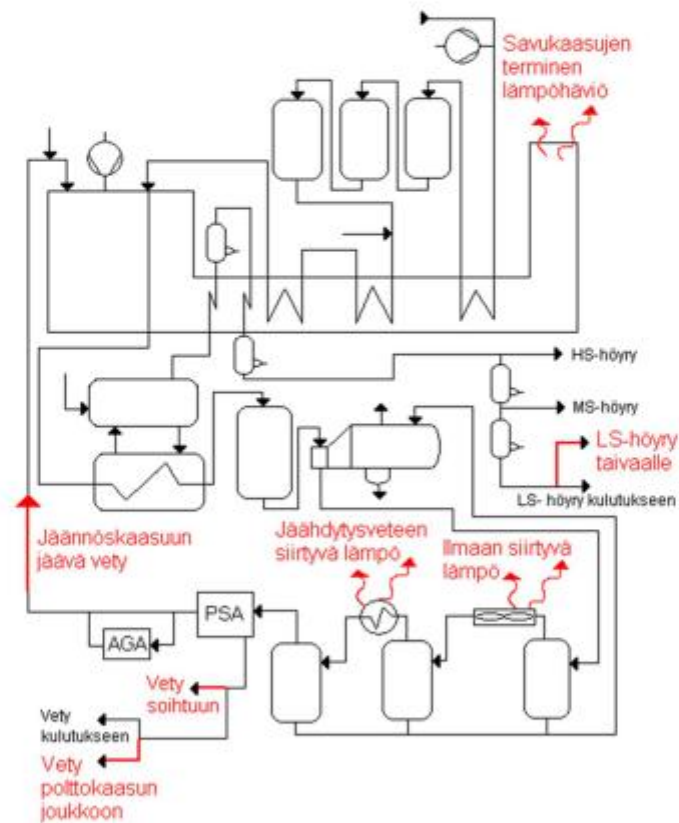
Neste Oil Oyj

Yrjönsuus 1852302-9
Kotipaikka Espoo

www.nesteoil.fi

6 Energiahäviölaskenta

Laskennassa on otettu huomioon VY2:n oleellimmat häviöt. LS-höyryn ulospuhallus ei ole mukana laskennassa puuttuvan virtausmittauksen vuoksi. Vetyverkosta polttokaasun joukkoon päätyvä vety ja jäännöskaasun joukkoon jäävä vety eivät ole todellisia energiahäviöitä, koska niiden energia hyödynnetään polttamalla ne uuneissa. Käytännössä nämä kuitenkin muodostavat merkittävän häviön vetylaitoksella ja tuotevedyn polttaminen tulisi minimoida. Tästä johtuen ne on otettu mukaan energiahäviölaskentaan. Häviöt on laskettu tuotettua vetykiloa kohti. Häviöitä ei voida laskea hyödynnettyä vetykiloa kohti, kuten energiatase, sillä kaiken vedyn mennessä soihutuun häviöt menisivät nollassi vaikka todellisuudessa häviöt ovat silloin suurimmillaan.



NESTE OIL

Linda Hytönen

Työohje
Sisäinen

20.11.2012

OQD-16000 8 (12)

Versio 1

6.1 R_VY2ENERGIAHAVIO

Alla on esitetty energiahäviölaskennan kaava.

```
IF (FIQ688003.DBCV > 0.01)
THEN R_VY2ENERGIAHAVIO =
```

```
(R_VY2H2SOIHTUUN.DBCV
+ (R_VY2H2POLTHAVIO.DBCV
+ R_VY2H2JAAPHAVIO.DBCV
+ R_VY2JAAHDHAVIO.DBCV
+ R_VY2SKHAVIO.DBCV)
```

```
ELSE R_VY2ENERGIAHAVIO = 0
```

Kun vetyä tuotetaan vähintään 0,01 t/h kaava laskee vetylaitokselle energiahäviön, muulloin häviö on 0. Energiahäviökaava laskee yhteen soihtuun ja poltтокаасun joukkoon menevästä vedystä aiheutuvat energiahäviöt, jäännöskaasuun jäävän vedyn aiheuttaman energiahäviön, ilmajäähdyttimeltä EC-67001 ilmaan siirtyvän lämpöenergian ja loppujäähdyttimellä EA-67004 jäähdytysveteen siirtyvän lämpöenergian, sekä savukaasujen termisen lämpöhäviön.

NESTE OIL

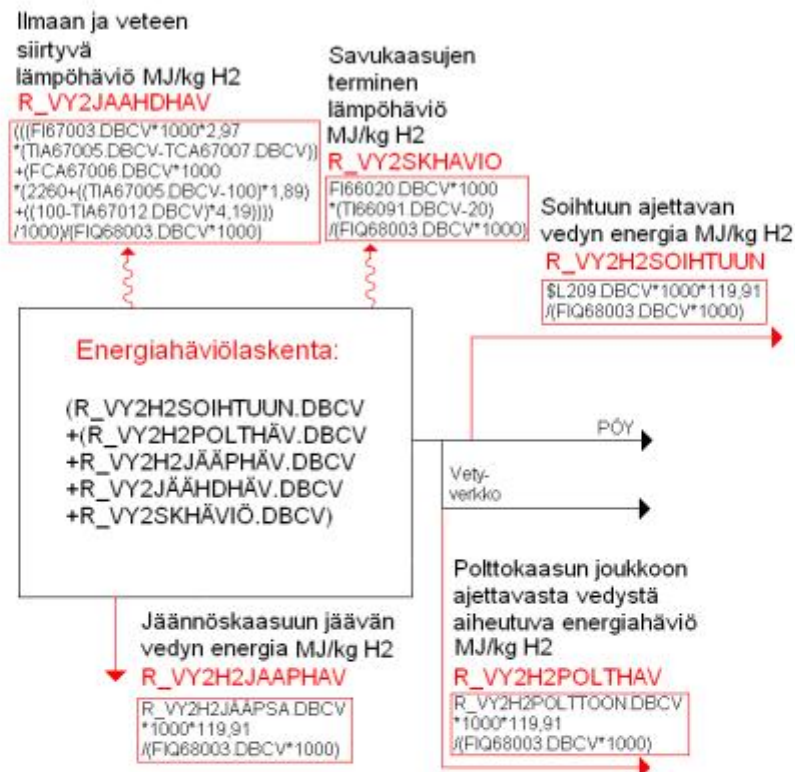
Työohje
Sisäinen

OQD-16000 9 (12)

Linda Hytönen

20.11.2012

Versio 1



6.1.1 R_VY2H2SOIHTUUN

Alla on esitetty soihtuun menevästä vedystä aiheutuvan energiahäviön laskentakaava.

$$R_VY2H2SOIHTUUN = \frac{\$L209.DBCV * 1000 * 119,91}{(FIQ68003.DBCV * 1000)}$$

Soihtuun menevän vedyn virtaus muutetaan muotoon kg/h ja kerrotaan vedyn lämpöarvolla. Saatu tulos jaetaan tuotevedyn määrällä, joka on muutettu myös muotoon kg/h.

NESTE OIL**Työohje**
Sisäinen

OQD-16000

10 (12)

Linda Hytönen

20.11.2012

Versio 1

6.1.2 R_VY2H2POLTHAVIO

Alla on esitetty poltтокаасун joukkoon menevästä vedystä aiheutuva häviö.

$$\begin{aligned} R_VY2H2POLTHAVIO &= \\ R_VY2H2POLTTOON.DBCV * 1000 * 119,91 \\ &/ (FIQ68003.DBCV * 1000) \end{aligned}$$

Poltтокаасун joukkoon menevästä vedystä aiheutuva häviö on laskettu käyttämällä aiemmin esiteltyä muuttujaa R_VY2H2POLTTOON. Poltтокаасун joukkoon menevän vedyn määrä muutetaan kaavassa muotoon kg/h ja kerrotaan vedyn lämpöarvolla. Saatu tulos jaetaan tuotevedyn määrällä, joka on myös muutettu muotoon kg/h.

6.1.3 R_VY2H2JAAPHAVIO

Alla on esitetty jäännöskaasun joukkoon jäävästä vedystä aiheutuva häviö.

$$\begin{aligned} R_VY2H2JAAPSA &= \\ (FI67003.DBCV - FIQ68003.DBCV) * \\ (VY2_JAAPSA_H2 * 2,0159 / 100) / \\ ((VY2_JAAPSA_H2 * 2,0159 / 100) \\ + (VY2_JAAPSA_N2 * 28,0135 / 100) \\ + (VY2_JAAPSA_CO * 28,01 / 100) \\ + (VY2_JAAPSA_CH4 * 16,043 / 100) \\ + (VY2_JAAPSA_CO2 * 44,01 / 100)) \end{aligned}$$

Muuttuja laskee jäännöskaasun mukana menevän vedyn määrän laboratorioanalyysien perusteella. Jäännöskaasussa olevan vedyn osuus päivittyy viettäessä jäännöskaasunäyte laboratorioon.

$$\begin{aligned} R_VY2H2JAAPHAVIO &= \\ R_VY2H2JAAPSA.DBCV * 1000 * 119,91 \\ &/ (FIQ68003.DBCV * 1000) \end{aligned}$$

Jäännöskaasuun jäävästä vedystä aiheutuva energiahäviö on laskettu käyttämällä edellä esiteltyä muuttujaa R_VY2H2JAAPSA.

NESTE OIL**Työohje**
Sisäinen

OQD-16000

11 (12)

Linda Hytönen

20.11.2012

Versio 1

6.1.4 R_VY2JAAHDHAVIO

Alla on esitetty prosessikaasun jäähdyttämisessä aiheutuvan energiahäviön laskenta-kaava.

$$\begin{aligned}
 R_VY2JAAHDHAVIO = & \\
 & (((FI67003.DBCV * 1000 * 2,97 * \\
 & (TIA67005.DBCV - TCA67007.DBCV)) \\
 & + (FCA67006.DBCV * 1000 * \\
 & (2260 + ((TIA67005.DBCV - 100) * 1,89) \\
 & + ((100 - TIA67012.DBCV) * 4,19)))) / 1000) \\
 & / (FIQ68003.DBCV * 1000)
 \end{aligned}$$

Ilmajäähdyttimeltä EC-67001 ilmaan siirtyvä lämpöenergia ja loppujäähdyttimellä EA-67004 jäähdytysveteen siirtyvä lämpöenergia ajatellaan laskennassa yhtenä lämpöhäviönä.

Kaava on kaksiosainen. Ensimmäisessä osassa (FI67003.DBCV * 1000 * 2,97 * (TIA67005.DBCV - TCA67007.DBCV)) lasketaan kuivan kaasun jäähtymisessä häviävä lämpöenergia ja toisessa osassa (FCA67006.DBCV * 1000 * (2260 + ((TIA67005.DBCV - 100) * 1,89) + ((100 - TIA67012.DBCV) * 4,19)))) / 1000) lasketaan kaasun mukana tulevan vesihöyryn jäähtymisessä ja lauhtumisessa häviävä energia.

Kuivan kaasun jäähtymisessä häviävä energia on laskettu muuttamalla kaasun virtaus muotoon kg/h ja kertomalla se laboratorioanalyysiin perustuvalla keskimääräisellä kyseisen prosessikaasun ominaislämpökapasiteetilla ja lämpötilan muutoksella.

Kaavassa on laskettu höyryn jäähtymisessä vapautuva energia (vesihöyryn jäähtyminen 100 °C:een) kertomalla höyryn lämpötilan muutos vesihöyryn ominaislämpökapasiteetilla ja veden jäähtymisessä vapautuva energia kertomalla lämpötilan muutos (100 °C vähennetään lauhteen lämpötila) veden ominaislämpökapasiteetilla. Vesihöyryn jäähtymisestä ja lauhtumisesta aiheutuva energiahäviö on laskettu muuttamalla lauhteen virtaus muotoon kg/h ja kertomalla se veden ominaishöyrystymislämmöllä, sekä vesihöyryn ja veden jäähtymisessä vapautuvalla energialla.

Lopputulos on jaettu tuotevedyn virtauksella kg/h.

6.1.5 R_VY2SKHAVIO

Alla on esitetty savukaasujen termisen lämpöhäviön laskentakaava.

$$\begin{aligned}
 R_VY2SKHAVIO = & \\
 & (FI66020.DBCV * 1000 * (TI66091.DBCV - 20) / 1000) \\
 & / (FIQ68003.DBCV * 1000)
 \end{aligned}$$

NESTE OIL

Linda Hytönen

Työohje
Sisäinen

20.11.2012

OQD-16000

12 (12)

Versio 1

Kaavassa lasketaan savukaasujen mukana taivaalle menevän lämmön aiheuttama häviö muuttamalla savukaasujen virtaus muotoon kg/h ja kertomalla se savukaasujen lämpötilan ja referenssilämpötilan (yleisesti käytetty vertailulämpötila) erotuksella. Lopputulos on jaettu tuotevedyn virtauksella kg/h.