

Jari Luosujärvi

Porvoon öljynjalostamon vedyn tuotannon optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Kemiantekniikka
Insinöörityö
15.11.2012

Tekijä(t) Otsikko	Jari Luosujärvi Porvoon öljynjalostamon vedyn tuotannon optimointi
Sivumäärä Aika	36 sivua + 8 liitettä 15.11.2012
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	kehityspäällikkö Marjo-Riitta Pahkamäki yliopettaja Marja-Terttu Huttu
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Porvoon öljynjalostamon kehitysosaston toimeksiantona. Tavoitteeksi asetettiin Porvoon öljynjalostamon vetytaseen laskeminen ja vedyn tuotannon optimointi vastaamaan vedyn kulutusta. Vetytaseen laskeminen on edellytys jalostamon vedyn tuotannon optimoinnille. Tässä työssä jalostamon prosessien seurantajärjestelmään (TOP) luotiin muuttujat, jotka antavat reaaliaikaista tietoa vedyn tuotannosta ja kulutuksesta 100-prosenttisena vetyä.</p> <p>Vetytaseen laskemisessa käytetään olemassa olevia vetykaasun massavirtausmittauksia ja analysaattoreita. Analysaattorit mittaavat vetykaasun moolimassaa ja puhtautta vedyn suhteen mooliprosentteina. Vedyn tuotannon optimointi tarkoittaa vedyn tuotannon ja kulutuksen tasapainoa niin, että verkon paineensäätö polttokaasuverkostoon on minimoitu.</p> <p>Porvoon öljynjalostamolla on neljä tuotantolinjaa, jotka sisältävät yli 40 prosessiyksikköä. Jalostamon raakaöljyn jalostuskapasiteetti on noin 200 000 barreliä päivässä. Prosessiyksiköistä kolme on vetyä tuottavia, ja 14 prosessiyksikköä tarvitsee vetyä erilaisten reaktioiden aikaansaamiseksi.</p>	
Avainsanat	vety, rikinpoisto, vetykrakkaus, vetytase, vetyverkko

Author(s) Title	Jari Luosujärvi Optimisation of hydrogen production at Porvoo oil refinery
Number of Pages Date	36 pages + 8 appendices 15 November 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Marjo-Riitta Pahkamäki, Development Manager Marja-Terttu Huttu, Principal Lecturer
<p>This thesis was prepared on the commission of the development department of Porvoo oil refinery. The objective was to calculate the refinery's hydrogen balance and to optimise the hydrogen production to correspond with the hydrogen consumption at the oil refinery. Calculating the hydrogen balance is a prerequisite for the optimisation of the hydrogen production at the refinery. In this project, variables were created in the refinery's process monitoring system (TOP) to provide real time data on hydrogen production and consumption of 100% hydrogen.</p> <p>The existing mass flow measurements and analysers are used in the calculation of the hydrogen balance. The analysers measure molar mass and the purity of hydrogen gas in relation to hydrogen in molecular percentage. The optimisation of the hydrogen production means a balance between the production and the consumption of hydrogen in circumstances where pressure control of the net into the combustion gas net is minimised.</p> <p>Porvoo oil refinery operates four production lines including more than 40 process units. The crude oil refining capacity of Porvoo refinery is approx. 200,000 barrels a day. Three of the production units are hydrogen producing whereas 14 production units need hydrogen to generate various reactions.</p>	
Keywords	hydrogen, sulphur removal, hydrogen cracking, hydrogen balance, hydrogen net

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vety	2
2.1	Yleistä vedyn tuotannosta	2
2.2	Vetyä kuluttavia rikinpoistoreaktioita	3
2.3	Vetykrakkaus	4
3	Prosessinhallintajärjestelmien käyttöympäristö (PMSNT) ja prosessien seurantajärjestelmä (TOP)	4
4	Jalostamon vetyverkko	4
5	Vetyä tuottavat prosessiyksiköt	5
5.1	Bensiinin reformointiyksikkö 3 (REF3)	6
5.2	Vety-yksikkö (VY)	7
5.3	Vety-yksikkö 2 (VY2)	9
5.4	Kaasuöljyn rikinpoistoyksikkö 3:n (KARP3:n) membraani	10
5.5	Vety Borealis Polymersiltä	10
6	Jalostamon vedyn tuotanto	11
7	Vetyä kuluttavat prosessiyksiköt	11
7.1	Syötön rikinpoistoyksikkö (SYRP)	11
7.2	Kaasuöljyn rikinpoistoyksikkö 2 (KARP2)	12
7.3	Kaasuöljyn rikinpoistoyksikkö 3 (KARP3)	13
7.4	Pohjaöljy-yksikkö (PÖY)	14
7.5	Perusöljy-yksikkö (VHVI)	15
7.6	Vetykrakkausyksikkö (VK)	16
7.7	Bensiinin rikinpoistoyksikkö 3 (BERP3)	16
7.8	Butadieenien hydraus (BDH)	18
7.9	Heksaanien erotusyksikkö (HEY)	19
7.10	Kaasuöljyn aromaatinpoistoyksikkö (KAAPO)	19
7.11	Biodiesel 1 (NExBTL1)	20
7.12	Biodiesel 2 (NExBTL2)	22
7.13	Tertiääriamyyylimetyylieetteri-yksikkö (TAME)	23

7.14	Bentseenien hydraus (BEHY)	24
8	Jalostamon vedyn kulutus	25
9	Vetytase	25
10	Vetypursutusten kustannukset	26
11	Laskentakaavojen testaus käytännössä	28
12	Hanke-ehdotukset	31
13	Yhteenveto	32
	Lähteet	35
	Liitteet	
	Liite 1. Vetyverkko	
	Liite 2. BERP3:n apumuuttujien kaavat	
	Liite 3. Apumuuttujan R_REF3H2LAHTO kaava	
	Liite 4. SYRP:n apumuuttujien kaavat	
	Liite 5. KARP2:n apumuuttujien kaavat	
	Liite 6. KARP3:n apumuuttujien kaavat	
	Liite 7. VK:n apumuuttujien kaavat	
	Liite 8. KAAPO:n apumuuttujien kaavat	

Lyhenteet

ALKY	Alkylointi-yksikkö
BDH	Butadieenien hydraus
BEHY	Bentseenien hydraus
BERP3	Bensiinin rikinpoistoyksikkö 3
BIY	Bitumi-yksikkö
FCC	Leijukatalyyttinen krakkaus
HEY	Heksaanien erotusyksikkö
KAAPO	Kaasuöljyn aromaatinpoistoyksikkö
KARP2	Kaasuöljyn rikinpoistoyksikkö 2
KARP3	Kaasuöljyn rikinpoistoyksikkö 3
MEMBRAANI	KARP3:n kalvo-erotus
NExBTL1	Biodiesel 1
NExBTL2	Biodiesel 2
PMSNT	Prosessinhallintajärjestelmien käyttöympäristö
PÖY	Pohjaöljy-yksikkö
REF3	Bensiinin reformointiyksikkö 3
ROG	Membraanin jäännöskaasu
RVTO2	Rikkivedyn talteenotto 2

SYRP	Syötön rikinpoistoyksikkö
TAME	Tertiääriamyyliemetyylieetteri-yksikkö
TL1	Tuotantolinja 1
TL2	Tuotantolinja 2
TL3	Tuotantolinja 3
TL4	Tuotantolinja 4
TOP	Prosessien seurantajärjestelmä
TT2	Tyhjötislaus 2
VHVI	Perusöljy-yksikkö
VK	Vetykrakkausyksikkö
VY	Vety-yksikkö
VY2	Vety-yksikkö 2

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena on Neste Oilin Porvoon öljynjalostamon vetytaseen laskeminen ja vedyn tuotannon optimointi vastaamaan vedyn kulutusta. TOP-järjestelmään luotujen laskentakaavojen avulla voidaan seurata prosessiyksiköiden vedyn tuottoa ja kulutusta 100-prosenttisena vetynä. Vetyverkko koostuu vetyä tuottavista ja sitä kuluttavista prosessiyksiköistä. Vetytaseen laskemisen edellytyksenä on muuttaa vetykaasuverkon massavirtaukset vastaamaan 100-prosenttisen vedyn tuotantoa ja kulutusta massavirtauksina. Työssä hyödynnetään olemassa olevia vetykaasun massavirtauksia sekä analysointilaitteita, jotka mittavat kaasun moolimassaa ja puhtautta vedyn suhteen mooliprosentteina.

Suurin epävarmuustekijä on massavirtausten luotettavuus, joten laskentakaavoihin luodaan ehtoja venttiileiden asennoista. Näin estetään tilanne, jossa virheellinen virtausmittaus menisi laskentaan venttiilin ollessa kiinni. Toisinpäin ehtoa ei voida luoda: venttiilin ollessa auki ja virtauksen näyttäessä virheellisesti nolaa virtaus menee laskentaan nolana.

Vedyn kulutusta laskettaessa määritetään ensin prosessiyksikköön menevän vetypitoisen kaasun massavirta 100-prosenttisena vetynä ja vähennetään siitä yksiköstä poistuvan vetypitoisen kaasun massavirta 100-prosenttisena vetynä. Erotus on yksikön kuluttama vetymäärä. Prosessiyksiköstä poistuva ylimäärävety pursutetaan ensisijaisesti toiseen prosessiyksikköön, tai huonommassa tapauksessa se joudutaan pursuttamaan polttokaasuverkkoon. Polttokaasuverkkoon pursutetun vedyn arvo laskee vastaamaan polttokaasun hintaa, mikä on huomattavasti alhaisempi kuin vedyn tuotantokustannukset. Vedyn valmistus on verraten kallista ja sen valmistuskapasiteetti rajallinen, joten vedyn tuotannon optimointi on tarpeellinen.

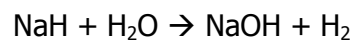
Vedyn tuotannon optimointi tarkoittaa vedyn tuotannon ja kulutuksen tasapainoa niin, että verkon paineensäätö polttokaasuverkostoon on minimoitu. Laskettu vetytase antaa käsityksen siitä, kuinka paljon jalostamolla on ylimääräistä vetyä. Vedyn tuotantoa säädetään vetylaitosten syöttöä laskemalla tai nostamalla.

2 Vety

Normaaliolosuhteissa vety esiintyy kaksiatomisena, herkästi haihtuvana kaasuna. Vedyn kykyä muodostaa erilaisia yhdisteitä hyödynnetään kemianteollisuudessa. Suuren ionisaatioenergian vuoksi korkea lämpötila ja/tai katalysaattorin läsnäolo on edellytyksenä useimpien reaktioiden syntyyn. [2, s. 289–291.]

Vety muodostaa helposti binäärisiä yhdisteitä, joita kutsutaan hybrideiksi. Hybridit muodostuvat erilaisten sidosten kautta, ja ne jaetaan sen perusteella kolmeen ryhmään: kovalenttisiin, ionisidoksellisiin ja metallisiin yhdisteisiin. Vedyn ja muiden epämetallien yhdisteet ovat kovalenttisia yhdisteitä. Esimerkiksi vesi, ammoniakki ja rikki-vety ovat kovalenttisia yhdisteitä, joista monet esiintyvät huoneenlämpötilassa kaasumaisessa olomuodossa. [25, s. 233–236.]

Vety muodostaa ionisidoksellisia hybridejä varaukseltaan positiivisten alkali- ja maaalkalimetallien kanssa. Tällaisten hybridien anionina toimii varaukseltaan negatiivinen vetyatomi. Ionisidokselliset hybridit reagoivat erittäin kiivaasti veden kanssa vapauttaen vetykaasua. Alla olevassa reaktioyhtälössä natriumin ja vedyn hybridi reagoi veden kanssa muodostaen lipeää ja vetyä. [26, s. 915.]



2.1 Yleistä vedyn tuotannosta

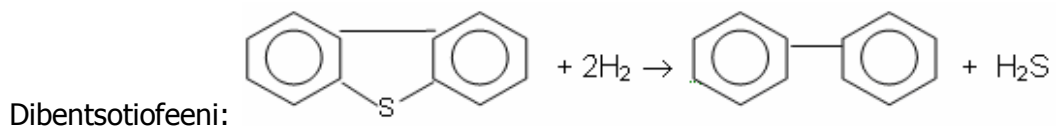
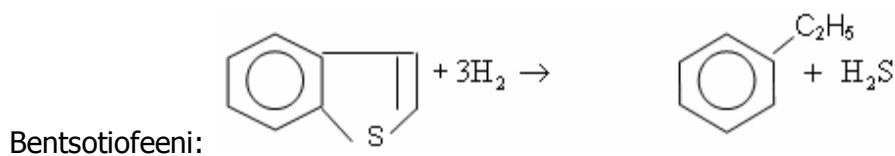
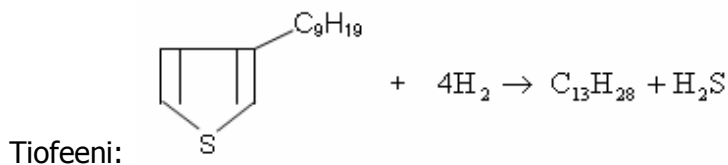
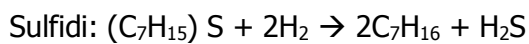
Vetyä voidaan valmistaa laajassa mittakaavassa kolmella tavalla: petrokemiallisessa prosessissa, hiilipohjaisessa kemiallisessa prosessissa ja elektrokemiallisessa prosessissa (elektrolyysi). Vedyn tuotanto petrokemiallisessa prosessissa perustuu vesihöyryn ja hiilivedyn reaktioon, jota kutsutaan höyryreformoinniksi. Vedyn saanto on suuri, kun reaktiossa käytetään maakaasua. Kemiallisessa prosessissa vetyä tuotetaan prosessamalla kevyitä raakaöljystä tislattuja jakeita. Elektrolyysillä valmistettu vety on erittäin puhdasta (>99 %), mutta sen valmistaminen on sähkön korkean hinnan vuoksi suuressa mittakaavassa kannattamatonta. [27, s. 24–26.]

Porvoo öljynjalostamolla vetyä tuotetaan kahdella ensiksi mainitulla tavalla, höyryreformoinnilla maakaasusta ja bensiinin reformointireaktiossa sivutuotteena syntyvä vety käytetään hyväksi jalostamon vetyä kuluttavissa prosessiyksiköissä.

Suurin osa jalostamon vetytarpeesta kuluu rikinpoistoyksiköissä ja vetykrakkauksessa. Hiilivetyjen sisältämät rikkiyhdisteet reagoivat lämmön ja katalyytin läsnä ollessa korkeassa paineessa vedyn kanssa muodostaen rikkivetyä. Rikkivety saadaan poistettua kaasusta absorptio-avulla. Puhdistettu vetypitoinen kaasu käytetään uudestaan vetyä kuluttavissa prosessiyksiköissä. [10, s. 14.]

2.2 Vetyä kuluttavia rikinpoistoreaktioita

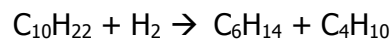
Rikinpoistoreaktiossa kuluu vetyä ja syntyy rikkivetyä. Alla on esitetty muutama vetyä kuluttava rikinpoistoreaktio [10, s. 15]:



2.3 Vetykrakkaus

Katalyyttisen krakkauksen eli vetykrakkauksen tarkoituksena on pilkkoa suuria hiilivetymolekyylejä pienemmiksi. Reaktorista saatava krakkautunut hiilivetyseos tislataan eri tuotejakeiksi tislaukskolonnissa. Vetykrakkautuminen tapahtuu noin 140 bar:n paineessa ja 400 °C:ssa vedyn ja katalyytin läsnä ollessa. Syötön sisältämä rikki ja typpi pelkistyvät rikkivedyksi ja ammoniakiksi ja reaktiotuote on olefiinivapaa. [16, s. 32–33.]

Alla on esitetty vetykrakkautuminen reaktioyhtälönä [16, s. 35]:



3 Prosessinhallintajärjestelmien käyttöympäristö (PMSNT) ja prosessien seurantajärjestelmä (TOP)

Käyttöoppaan mukaan jalostamolla on käytössä ABB Industry Oy:n lisensoima PMSNT, joka on prosessinhallintajärjestelmien käyttöympäristö. Prosessinhallintajärjestelmän avulla voidaan ohjata ja valvoa erilaisia teollisia prosesseja, ja se voi toimia monenlaisien sovellusten käyttöympäristönä. Prosessinhallintajärjestelmä vastaanottaa jalostamon laitteisiin liitetyistä tiedonhankintajärjestelmistä saatuja mittaustietoja. TOP-järjestelmällä on keskeinen asema koko jalostamon kattavana prosessitietojen kokoajana ja esittäjänä jalostamon henkilöstölle. Järjestelmää käytetään jatkuvasti operatiivisena työkaluna jalostamon ohjauksessa; erityisesti sen merkitys korostuu häiriö-, käytettävyyss- yms. selvitysten yhteydessä. TOP-järjestelmässä suoritetaan myös jalostamon tärkeimpien prosessiyksiköiden laatu- ja kapasiteettisäädöt eli TOP-järjestelmä ohjaa prosessiyksiköitä. [1, s. 1–4.]

4 Jalostamon vetyverkko

Jalostamon vetyä tuottavat ja sitä kuluttavat prosessiyksiköt muodostavat kokonaisuuden, jota kutsutaan vetyverkoksi. Liitteessä 1 on esitetty TOP-järjestelmässä oleva kuva vetyverkosta. Kuvassa on esitetty keltaisella viivalla vetylinjojen yhteydet eri prosessiyksiköiden välillä. Punaisella viivalla kuvataan vetyverkon yhteyttä polttokaasuverkkoon. Kuvatilan ahtauden vuoksi kuvassa on esitetty vain oleelliset venttiilit asentoineen ja virtausmittaukset sekä analysaattorit kokonaisuuden hahmottamiseksi.

Kuvaan sijoitetuista painemittauksista voi päätellä vedyn kulkusuunnan putkistossa. Kuvaan ei ole laitettu suuntaventtiileitä, jotka helpottaisivat osaltaan vedynjakelun suunnittelua erilaisissa tilanteissa. Vetyverkon operointiin joudutaan tilanteessa, jossa vedyn tuotanto tai kulutus on muuttunut esimerkiksi häiriön tai prosessiyksikön huolto-
korjauksen vuoksi. Vetyverkon paineensäätö tapahtuu rikkivedyn talteenotto 2 (RVTO2) yksikössä. Pesty ylimäärävety pursutetaan polttokaasuverkkoon. TOP-järjestelmään on luotu muuttujat R_RVTO2H2POLTT1 ja R_RVTO2H2POLTT2, jotka antavat tietoa pursutettavan kaasun määrästä 100-prosenttisena vetyä. Muuttujien laskentakaavat on esitetty alla. Laskentakaavassa tekijät \$L193 ja \$L194 on selitetty liitteessä 2 ja analysaattori AI10423 mittaa kaasun vetypitoisuutta ja moolimassaa.

Laskentakaavat:

$$R_RVTO2H2POLTT1 = \$L193.DBCV.V * 1000 * AI10423_H2 / 100 * 2.016 / AI10423_MOLWT$$

$$R_RVTO2H2POLTT2 = \$L194.DBCV.V * 1000 * AI10423_H2 / 100 * 2.016 / AI10423_MOLWT$$

RVTO2-yksikössä kaasusta pestään rikkivety absorptio avulla, jossa pesuliuoksena on amiini-di-isopropanoli. Vedyn pursutus polttokaasuverkkoon on mahdollista miltei jokaisesta prosessiyksiköstä. Vety-yksikön (VY) ja vety-yksikkö 2:n (VY2) vetyä voidaan pursuttaa myös soihtuun, mikä on kuitenkin vain tiettyjä erikoistilanteita varten.

Maantieteellisesti vetyverkko kattaa koko jalostamon, sillä vetyä tuottavat prosessiyksiköt sijaitsevat eri puolilla jalostamoa. VY sijaitsee tuotantolinja 1:llä (TL1), VY2 tuotantolinja 4:llä (TL4) ja bensiinin reformointiyksikkö (REF3) tuotantolinja 3:lla (TL3). Vetyä kuluttavia prosessiyksiköitä on kaikilla tuotantolinjoilla.

5 Vetyä tuottavat prosessiyksiköt

Jalostamolla on kolme vetyä tuottavaa prosessiyksikköä: VY, VY2 ja REF3. Jalostamon vetytaseeseen lisätään myös Borealikselta saatava vety sekä kaasuöljyn rikinpoistoyksikkö 3:n (KARP3) membraanista saatava vetytoinen kaasu. Vetyä tuottavien prosessiyksiköiden kuvausten yhteydessä kerrotaan lyhyesti yksikön tarkoitus ja vetytointien

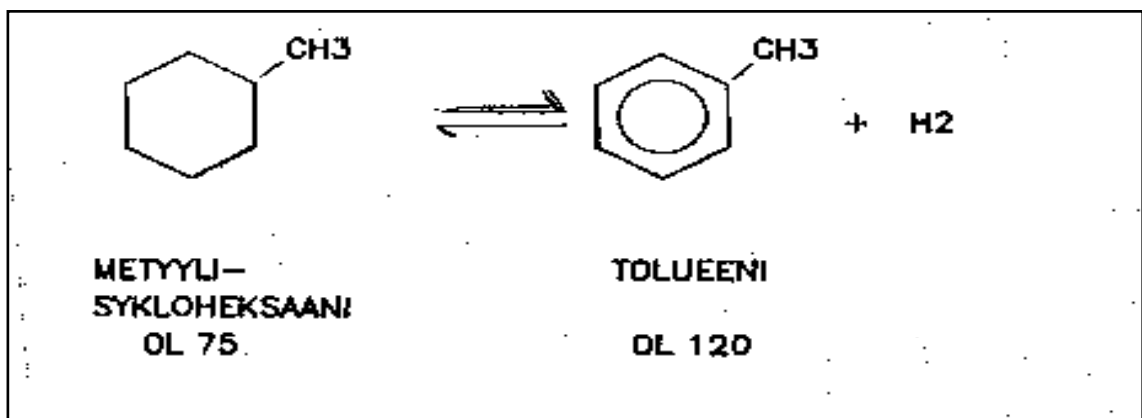
tuotekaasujen teoreettinen määrä ja laatu. Yksiköistä lähtevä vety johdetaan vetyverkkoon, mistä se jakaantuu sitä tarvitseville yksiköille.

Vedyntuotantoa säädetään VY:n tai VY2:n syöttöä nostamalla tai laskemalla. Myös REF3:sta saatavan vedyn määrään voidaan vaikuttaa reaktiolämpötilaa muuttamalla. Tämä ei kuitenkaan ole tarkoituksenmukaista, koska yksiköstä saatava vetypitoinen kaasu on sivutuote.

5.1 Bensiinin reformointiyksikkö 3 (REF3)

Reformointiprosessissa bensiinin oktaanilukua nostetaan katalyytin ja lämmön vaikutuksesta tapahtuvien reaktioiden avulla. Bensiinin sisältämien hiilivetyjen rakenne muuttuu syklisoitumisen, dehydruksen ja isomeroitumisen seurauksena. [4.] Reformoinnin reaktoreiden katalyytti on herkkä rikille ja typelle. Ne ovat katalyyttimyrkkyjä, jotka on poistettava syötöstä ennen reformointia. Tämä tapahtuu bensiinin rikinpoistoyksikössä (BERP3). [16, s. 34.]

Reformointiprosessin pääasiallinen tehtävä on nostaa bensiinin oktaanilukua. Reaktioissa vapautuu sivutuotteena vetyä, joka hyödynnetään jalostamon vetyä kuluttavissa yksiköissä. Nafteenien dehydruks on tärkein reformointireaktio, joka nostaa voimakkaasti bensiinin oktaanilukua ja jossa vedyn tuotto on runsasta. Kuvassa 1 on esitetty nafteenien dehydruksen reaktioyhtälö. [5, s. 4.]



Kuva 1. Nafteenien dehydruks, oktaaniluku nousee 75:stä 120:een [5, s. 4].

Reformoinnissa tapahtuu myös reaktioita, jotka heikentävät tuotesaantoa ja kuluttavat paljon vetyä. Esimerkiksi paineen ja lämpötilan noustessa vetykrakkautuminen voimistuu, tuotteen oktaaniluku ja vedyn saanto pienenevät sekä kaksin muodostus lisääntyy. Edellä mainittuja tapahtumia tulee välttää. [5, s. 7.]

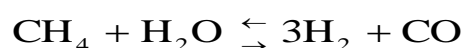
Reformoinnista lähtevän kaasun vetypitoisuus on 87–93 mol- % [6, s. 9]. Tällaista vetypitoista kaasua saadaan 20–22 t/h yksikön ollessa normaalisyötöllä. TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_REF3H2TUOT, jonka tekijät on esitetty laskentakaavassa. Laskentakaavaan on luotu ehto kaasun moolimassalle. Apumuuttuja R_REF3H2LAHTO muodostuu yksiköstä lähtevien vetypitoisten kaasuvirtausten summana. Liitteessä 3 on esitetty apumuuttujan R_REF3H2LAHTO laskentakaava. Se sisältää ehdot venttiileiden asennoista. Liitteessä 3 on esitetty myös apumuuttujien \$L245.DBCV.V, \$L246.DBCV.V ja \$L247.DBCV.V ehdot venttiileiden asennoista. Analysaattorit AI10328A_H2 ja AI10328A_M mittaavat vedyn mooliosuutta ja kaasun moolimassaa. Apumuuttujan R_BRP3H2OHITUS laskentakaava ottaa huomioon kaasun koostumuksen BERP3:n ohituslinjassa. Liitteessä 3 on esitetty apumuuttujan R_BRP3H2OHITUS laskentakaava.

Laskentakaava:

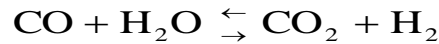
```
IF (AI10328A_M.DBCV > 1)
THEN R_REF3H2TUOT = R_REF3H2LAHTO * 1000 / AI10328A_M *
AI10328A_H2 / 100 * 2.016 - R_BRP3H2OHITUS
ELSE R_REF3H2TUOT = 0;
```

5.2 Vety-yksikkö (VY)

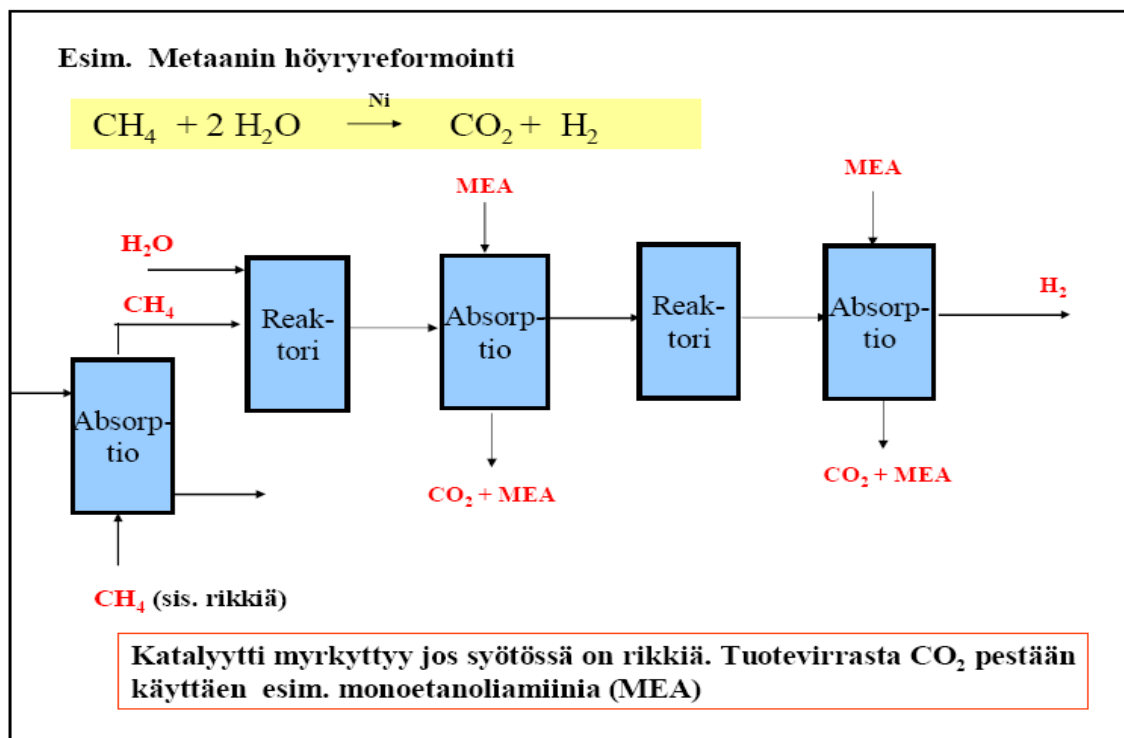
Yksikön tarkoituksena on tuottaa puhdasta vetyä höyryreformoinnilla maakaasusta tai vaihtoehtoisesti butaanista [7, s. 2]. Höyryreformoinnissa metaani ja tulistettu höyry reagoivat nikkelikatalyytin läsnä ollessa, jolloin syntyy vetyä ja hiilimonoksidia alla olevan reaktioyhtälön mukaisesti. Reaktio on endoterminen [10, s. 7].



Syntynyt hiilimonoksidi reagoi konverttereissa rautaoksidi- ja kuparikatalyytin läsnä ollessa vesihöyryn kanssa, jolloin syntyy lisää vetyä ja hiilidioksidia alla olevan reaktioyhtälön mukaisesti [10, s. 7]. Hiilidioksidi poistetaan vetykaasusta absorboimalla se esimerkiksi monoetanoliamiiniin tai, kuten VY:ssä, alkalimetallikarbonaattiliuokseen.



Yksikkö tuottaa 1–2,5 t/h vetyä, jonka puhtaus on noin 97–99 mol-%. Vety komprimoidaan osaksi vetykrakkauksen (VK) tarvitsemaa tuorevetyä. Myös kaasuöljyn aromaatinpoisto (KAAPO), TAME-yksikkö (TAME) ja butadieenien hydraus (BDH) saavat tarvitsemansa tuorevedyn VY:stä. Kuvassa 2 on havainnollistettu metaanin höyryreformointia. Uudemmassa vetylaitoksessa, VY2:ssa, CO₂ ja muut kaasun epäpuhtaudet poistetaan PSA-menetelmällä (pressure swing adsorption).



Kuva 2. Metaanin höyryreformointi [15].

TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_VYH2TUOT, jonka tekijät on esitetty laskentakaavassa. Laskentakaavassa oleva muuttuja, vedyn mooliosuus R_VYF404WH2, laskeaan analysoiduista typen ja metaanin mooliosuuksista seuraavasti: $100 - (\text{VY_VETY_N2} + \text{VY_VETY_C1})$. Mooliosuudet saavat arvonsa laboratorioanalyyseistä.

Myös kaasun moolimassa lasketaan em. analyysien perusteella kertomalla mooliosuudet kyseisen komponentin moolimassalla ja laskemalla ne yhteen.

Laskentakaava:

```
IF ((VY_VETY_N2.DBCV > 0.1) AND (VY_VETY_C1.DBCV > 0.1))
THEN R_VYH2TUOT = FI413 * 1000 * R_VYF404WH2 / 100 * 2.016 /
(VY_VETY_N2 / 100 * 28.02 + VY_VETY_C1 / 100 * 16.04 +
R_VYF404WH2 / 100 * 2.016)
ELSE R_VYH2TUOT = 0;
```

5.3 Vety-yksikkö 2 (VY2)

VY 2 on suurin vetyä tuottava prosessiyksikkö Porvoon jalostamolla. Vety tuotetaan samalla lailla höyryreformoinnilla kuin VY:ssä. Se rakennettiin tuotantolinja 4:n rakennushankkeen yhteydessä ja otettiin käyttöön vuonna 2006. Yksikön suunnittelukapasiteettina on tuottaa 6,4–13,8 t/h 100-prosenttista vetyä. Yksikön syöttönä on normaalioperoinnissa maakaasu ja pohjaöljy-yksikön (PÖY) membraanin jäännöskaasun (ROG) yhdistelmä. Vaihtoehtoisena syöttöaineena voidaan tarvittaessa käyttää pelkästään maakaasua, kun jäännöskaasua ei ole saatavilla. Myös propaani tai propaanin ja ROG:n yhdistelmä on mahdollinen. Suunnittelukapasiteetti on laskettu maakaasun ja ROG:n yhdistelmäsyötöllä. [3, s. 5.]

Yksikön vetytasetta laskettaessa TOP-järjestelmään on luotu laskentakaava, joka ottaa tietonsa analysaattoreilta AIA68001_1 (N₂), AIA68001_2 (hiilivedyt), AIA68003 (CO) ja AIA68004 (CO₂). Näiden tietojen perusteella lasketaan tuotevedyn puhtaus mooliprosentteina. Tuotevedyn epäpuhtaudet ovat niin pieniä, että kaasu on käytännöllisesti katsoen 100-prosenttista vetyä ja moolimassa on näin ollen 2,016 g/mol. TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_VY2H2TUOT, jonka tekijät on esitetty laskentakaavassa. Laskentakaavassa R_VY2H2 on vedyn mooliosuus ja R_VY2H2M kaasun moolimassa. Laskentakaavaan on luotu ehdot venttiileiden FCA68004 ja PCA68003 asennoista sekä kaasun moolimassasta.

Laskentakaava:

```

IF ((R_VY2H2M.DBCV > 0.1) AND (PCA68003_VE.DBCV > 1) OR
(FCA68004_VE.DBCV > 1))
THEN R_VY2H2TUOT = FIQ68003 * 1000 * R_VY2H2 / 100 * 2.016 /
R_VY2H2M
ELSE R_VY2H2TUOT = 0;

```

5.4 Kaasuöljyn rikinpoistoyksikkö 3:n (KARP3:n) membraani

KARP3:n membraani puhdistaa yksikön kiertokaasua. Membraanista saatavan vetypitöisen kaasun määrä on suoraan verrannollinen sinne pursutettavan kiertokaasun määrään. Puhdistettu vetypitoinen kaasu johdetaan tuorevetykompressorin GB10404 imuun ja komprimoidaan yksikköön tuorevetysyötön mukana. Jäännöskaasu johdetaan jalostamon polttokaasujärjestelmään. Membraanin tuotekaasun vetypitöisyyttä mittaa analyyttori AI10421_H2, ja kaasun moolimassa muuttuunaan KRP3_H2TU_M saadaan laboratorion analyyseistä. TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_MEMBH2TUOT, jonka tekijät on esitetty laskentakaavassa. Laskentakaavassa on ehdot kaasun moolimassasta ja venttiilin HC10405 asennosta.

Laskentakaava:

```

IF ((KRP3_H2TU_M.DBCV > 0.1) AND (HC10405_VE.DBCV > 1))
THEN R_MEMBH2TUOT = FIA10471 * 1000 * AI10421_H2/100 * 2.016 /
KRP3_H2TU_M
ELSE R_MEMBH2TUOT = 0;

```

5.5 Vety Borealis Polymersiltä

Borealis Polymersiltä saatava vety syntyy eteenikrakerilla tapahtuvissa hiilivetyjen krakkausreaktioissa. Hiilivetyjen pilkkoutuessa niihin syntyy kaksoissidoksia, jolloin vapautuu vetyä. Vetypitoinen kaasu puhdistetaan PSA-yksikössä, ja tuotekaasu on käytännöllisesti katsoen 100-prosenttista vetyä. [10, s. 11.]

Vety tulee Borealikselta paineensäätäjän PC458B kautta. Kaavaan on luotu ehto venttiilin asennosta ja apumuuttuja \$L247.DBCV.V vastaa virtausmittauksen FI11312/1000

arvoa paineensäätäjän ollessa auki. Yleensä kaikki Borealikselta saatava vety otetaan jalostamolle.

Laskentakaava:

```
IF (PC458B_VE.DBCV > 1)
THEN $L247.DBCV.V = FI11312 / 1000
ELSE $L247.DBCV.V = 0;
```

6 Jalostamon vedyn tuotanto

Jalostamon vedyn tuotanto koostuu vetyä tuottavien prosessiyksiköiden ja KARP3:n membraanin sekä Borealikselta tulevan vedyn yhteenlasketusta määrästä. TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_JALOH2TUOTANTO, joka antaa reaaliaikaista tietoa jalostamon vedyn tuotannosta 100-prosenttisena vetynä.

Laskentakaava:

```
R_JALOH2TUOTANTO = R_REF3H2TUOT + R_VYH2TUOT + R_VY2H2TUOT +
R_MEMBH2TUOT + $L247.DBCV.V.
```

7 Vetyä kuluttavat prosessiyksiköt

Jalostamolla on 14 prosessiyksikköä, jotka tarvitsevat vetyä erilaisten reaktioiden mahdollistamiseksi. Tällaisia reaktioita ovat mm. rikinpoisto, vetykrakkaus, hydraus ja aromaattien poisto sekä isomerointi. Prosessiyksiköiden yhteydessä kerrotaan yleisellä tasolla yksikön tarkoitus ja vedyn tarve sekä vetypitoisten kaasuvirtojen ajomahdollisuudet kyseessä olevan yksikön näkökulmasta.

7.1 Syötön rikinpoistoyksikkö (SYRP)

Yksikön alkuperäinen tarkoitus oli poistaa rikkiä leijukatalyyttisen krakkauksen (FCC) syötöstä. Nykyisin yksiköllä tehdään talvi- ja kesälaatuista dieseliä sekä MK-1-komponenttia. Näiden tuotteiden rikkitulo on alle 10 ppm. Syöttönä yksikössä on kaasuöljy tai raskas kaasuöljy, jotka saadaan varastosyöttönä tai toisista prosessiyksi-

köistä jatkojalostettaviksi. Syöttötaso on noin 310 t/h, ja syötön koostumuksesta riippuen yksikkö kuluttaa vetytitoista kaasua 3,9—8,5 t/h [8, s. 4].

Vetytitoinen kaasu saadaan pääosin REF3:sta ja VY2:lta komprimoimalla kaasu yksikön tuorevetykompressorin GB34001/S imupaineeseen, joka on noin 18 bar. Lisäksi yksiköön voidaan ottaa VK:n ja PÖY:n tuore- ja pursutusvetyä sekä perusöljy-yksikön (VHVI) pursutusvetyä. Rikinpoistoreaktiot tapahtuvat noin 360 °C:ssa ja 100 bar:n paineessa vedyn ja katalyytin läsnä ollessa.

Yksiköstä poistuu paineensäädön kautta käyttämätöntä vetykaasua. Ylimäärävety pursutetaan ensisijaisesti joko KARP3:een ja/tai kaasuöljyn rikinpoisto 2:een (KARP2). Myös pursutus polttokaasuverkkoon on mahdollista.

Liitteessä 4 on esitetty TOP-järjestelmään luodun muuttujan R_SYRPH2KULUTUS tekijät. Nämä tekijät muodostuvat apumuuttujien summana, jotka sisältävät ehdot kaasuvirtojen moolimassoista sekä venttiileiden asennoista. Yksikkö sijaitsee tuotantolinja kahdella (TL2).

Laskentakaava:

$$R_SYRPH2KULUTUS = R_SYRPH2SISYHT - R_SYRPH2ULOSYHT$$

7.2 Kaasuöljyn rikinpoistoyksikkö 2 (KARP2)

Yksikön pääasiallinen tarkoitus on poistaa kaasuöljyn sisältämä rikki. Rikinpoistoreaktiot tapahtuvat noin 340 °C:ssa ja 50 bar:n paineessa vedyn ja katalyytin läsnä ollessa [9, s. 2]. Tuotteesta valmistetaan talvi- ja kesäläatuista dieseliä sekä KAAPO:n syöttöainetta. Deseleiden laatuvaatimus rikin suhteen on maksimissaan 10 ppm ja KAAPO:n syöttöainetta tehtäessä vain 1,4 ppm. Rikki on katalyyttimyrkky KAAPO:n reaktorissa. Syöttötaso on noin 140 t/h, ja syötön koostumuksesta riippuen yksikkö kuluttaa omaan kokemukseeni pohjaten vetytitoista kaasua 0,8–1,2 t/h. Yksikkö sijaitsee TL2:lla.

Rikinpoistoreaktioiden tarvitsema vetytitoinen kaasu saadaan pääosin SYRP:stä joko tuorevetyä tai pursutuksena kiertokaasusta. Myös KARP3:n tuorevetyä voidaan käyttää. Yksikön paineensäätö tapahtuu polttokaasuverkkoon. Paineensäädöstä on vireillä hanke, jossa tullaan muuttamaan putkitusta niin, että paineen säätö voidaan tehdä

jatkossa myös pursuttamalla kiertokaasua toiseen prosessiyksikköön. Näin saadaan hyödynnettyä pursutuskaasun sisältämä vety. Liitteessä 5 on esitetty TOP-järjestelmään luodun muuttujan R_KRP2H2KULUTUS tekijät. Tekijät muodostuvat apumuuttujien summana, jotka sisältävät ehdot kaasuvirtojen moolimassoista sekä venttiileiden asennoista.

Laskentakaava:

$$R_KRP2H2KULUTUS = R_KRP2H2SISYHT - R_KRP2H2ULOS$$

7.3 Kaasuöljyn rikinpoistoyksikkö 3 (KARP3)

Yksikön alkuperäinen tarkoitus oli valmistaa talvi- ja kesälaatuista dieselkomponenttia poistamalla rikkiä syöttönä olevasta kaasuöljystä. Nykyisin yksikön tarkoitus on poistaa rikkiä FCC:n syöttöön menevistä kaasuöljyvirroista. Muutoksen yhteydessä KARP3 ja SYRP vaihtoivat siis käyttötarkoitustaan. Syynä muutokseen oli SYRP:n korkeampi painetaso, mikä mahdollistaa paremmin aromaattien poistumisen. Tätä ominaisuutta tarvitaan esimerkiksi SYRP:n valmistaessa MK-1-komponenttia. [11.]

Yksikön syöttötaso on noin 340 t/h ja rikinpoisto tapahtuu noin 350 °C:ssa ja 50 bar:n paineessa vedyn ja katalyytin läsnä ollessa. Syöttönä yksikössä on kaasuöljy tai raskas kaasuöljy, joka saadaan varastosyöttönä tai toisista prosessiyksiköistä jatkojalostettaviksi. Rikki irrotetaan öljyn rengasmolekyylistä, jolloin syntyy rikkivetyä. Reaktoreissa tapahtuu myös olefiinien hydrautumista, orgaanisten tyyppiyhdisteiden poistoa sekä vähäistä aromaattien hydrautumista. [12, s. 2.] Yksikkö sijaitsee TL3:lla.

Reaktioiden tarvitsema vety saadaan REF3:sta, KARP3:n membraanista, SYRP:n tuorevedystä tai pursutuksena SYRP:n kiertokaasusta. Yksikön paineen säätö tapahtuu pursuttamalla kiertokaasua membraaniin, polttokaasuverkkoon tai soihtuun. Puhdistamonta kiertokaasua johdetaan noin 400 kg/h myös rikitysvedyksi BERP:3:een. Liitteessä 6 on esitetty TOP-järjestelmään luodun muuttujan R_KRP3H2KULUTUS tekijät. Tekijät muodostuvat apumuuttujien summana, jotka sisältävät ehdot kaasuvirtojen moolimassoista sekä venttiileiden asennoista.

Laskentakaava:

$$R_KRP3H2KULUTUS = R_KRP3H2SISYHT - R_KRP3H2ULOSYHT$$

7.4 Pohjaöljy-yksikkö (PÖY)

Yksikössä käsitellään tyhjötislaus 2:n (TT2) ja bitumi-yksikön (BIY) tyhjötislattua pohjaöljytuotetta. Lisäksi voidaan syöttää rikillistä tai vähärikkistä raskasta kaasuöljyä varastusyöttönä. Yksikön vetyä tarvitsevat osat ovat vetykrakkaus (LCF) ja kaksivaiheinen jälkikäsitelyosa (MHC). [17, s. 4.]

LCF:ssä on kolme reaktoria, joissa tapahtuu korkeassa paineessa (n. 170 bar) ja lämpötilassa (n. 400 °C) katalyytin läsnä ollessa krakkausreaktioiden lisäksi rikin, typen ja metallien poistoa [17, s. 7].

MHC:ssa on kaksi reaktoria, joista ensimmäisessä tapahtuu pääasiassa rikin- ja typenpoistoa sekä jonkin verran aromaattien hydrautumista. Myös krakkausreaktioita tapahtuu jonkin verran. Reaktiot tapahtuvat n. 170 bar:n paineessa ja n. 400 °C:ssa katalyytin läsnä ollessa. Toisessa reaktorissa käsitellään MHC:n tislauskolonnin DA75002 pohjatuotetta, jota hydrataan ja krakataan vähärikkiseksi ja matala-aromaattiseksi kaasuöljyksi ja bensiiniksi. [17, s. 9–10.] MHC saa tarvitsemansa vedyn kaasusyöttönä LCF:stä. Kaasusyöttö sisältää mm. bensiiniä, petroolia, dieseliä ja puhdasta vetyä [17, s. 8].

TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_POYH2KULUTUS, jonka tekijät on esitetty laskentakaavassa. Tekijöiden laskentakaavoissa on ehdot kaasujen moolimassoista ja venttiileiden asennoista. Tarvitsemansa tuorevedyn PÖY saa pääsääntöisesti VY2:lta tai vetyverkosta venttiilin FC71080 kautta. Yksikkö sijaitsee TL4:llä.

Laskentakaavat:

Tuorevety VY2:lta

```
IF ((PCA68003_VE.DBCV > 1) OR (FC71080_VE.DBCV > 1))
THEN R_POYH2SIS = FIZ71089A*1000
ELSE R_POYH2SIS = 0;
```

Tuorevety SYRP:iin

```
IF ((AI71035B_4G.DBCV > 0.1) AND (FC71088_VE.DBCV > 1))
THEN R_POYH2ULOS1 =
FC71088*1000*AI71035B_4A/100*2.016/AI71035B_4G
ELSE R_POYH2ULOS1 = 0;
```

```

Kiertokaasu SYRP:iin
IF ((R_POYMEMBSYOTM.DBCV > 0.1) AND (FC71149_VE.DBCV > 1))
THEN R_POYH2ULOS2 =
FC71149*1000*AI71035A_1B/100*2.016/R_POYMEMBSYOTM
ELSE R_POYH2ULOS2 = 0;

R_POYH2KULUTUS = R_POYH2SIS - R_POYH2ULOS1 - R_POYH2ULOS2

```

7.5 Perusöljy-yksikkö (VHVI)

Yksikössä prosessoidaan raskaita öljyjakeita, jolloin tuotteena saadaan voiteluöljyluokan hiilivetyä. Yksikössä tapahtuu isomeroitumista, aromaattien poistoa sekä orgaanisten rikki- ja typpiyhdisteiden hydrautumista. [13, s. 11–12.]

Yksikkö saa tarvitsemansa vedyn VK:n tuorevetykompressorilta GB304. Paineen säätö tapahtuu pursuttamalla kiertokaasua SYRPiin tai polttokaasuverkkoon. TOP-järjestelmään luodun muuttujan R_VHVIH2KULUTUS tekijät on esitetty laskentakaavassa. Tekijät muodostuvat apumuuttujien summana, jotka sisältävät ehdot kaasuvirtojen moolimassoista sekä venttiileiden asennoista. Yksikkö sijaitsee TL1:llä.

Laskentakaavat:

Tuorevety VK:lta

```

IF ((AI324_1_MOLWT.DBCV > 0.1) AND (PCA36015_VE.DBCV > 1))
THEN R_VHVIH2SIS = FI36019*AI324_1_H2/100*2.016/ AI324_1_MOLWT
ELSE R_VHVIH2SIS = 0;

```

Pursutusvety SYRPiin

```

IF ((VHVI_KKMOLPAINO.DBCV > 0.1) AND (FC36016_VE.DBCV > 1))
THEN R_VHVIH2ULOS1 = FC36016*AI36007/100*2.016/VHVI_KKMOLPAINO
ELSE R_VHVIH2ULOS1 = 0;

```

Pursutus polttokaasuun

```

IF ((VHVI_KKMOLPAINO.DBCV > 0.1) AND (PC36016_VE.DBCV > 1))
THEN R_VHVIH2ULOS2 = FI36015*AI36007/100*2.016/ VHVI_KKMOLPAINO
ELSE R_VHVIH2ULOS2 = 0;

R_VHVIH2ULOSYHT = R_VHVIH2ULOS1 + R_VHVIH2ULOS

```

7.6 Vetykrakkausyksikkö (VK)

Vetykrakkausyksikön tarkoituksena on krakata pitkäketjuisia hiilivetyjä lyhyemmiksi. Yksikön syöttötaso on noin 130 t/h raskasta kaasuöljyä, joka saadaan varastosyöttönä tai muista prosessiyksiköistä jatkojalostettavaksi. Hiilivetyjen pilkkoutuminen tapahtuu noin 400 °C:ssa ja 140 bar:n paineessa vedyn ja katalyytin läsnä ollessa. Reaktorista saatava hiilivetyjen seos käsitellään tislaamalla se eri tuotejakeisiin. Tärkein tuote on pohjatuote, jonka laatu määräytyy VHVI:n tarpeiden mukaan. [14, s. 3–7.]

Tarvitsemansa vedyn yksikkö saa VY:stä, VY2:sta tai REF3:sta. Yksikön paineen säätö tapahtuu pursuttamalla kiertokaasua SYRPiin tai polttokaasuun. SYRP:iin menevästä linjasta on rakennettu yhteydet Biodiesel-1 (BExBTL-1)- ja Biodiesel-2 (NExBTL-2) -yksiköille.

Liitteessä 7 on esitetty TOP-järjestelmään luodun muuttujan R_VKH2KULUTUS tekijät. Tekijät muodostuvat apumuuttujien summana, jotka sisältävät ehdot kaasuvirtojen moolimassoista sekä venttiileiden asennoista. Yksikkö sijaitsee TL1:llä.

Laskentakaava:

$$R_VKH2KULUTUS = R_VKH2SIS - R_VKH2ULOSYHT$$

7.7 Bensiinin rikinpoistoyksikkö 3 (BERP3)

Yksikössä poistetaan bensiinin sisältämiä rikkiyhdisteitä katalyyttisesti vedyn läsnä ollessa. Reaktorista saatava lähes rikitön bensiini johdetaan jakotislaukseen stabiloitavaksi. Bensiinistä erotetaan tislaamalla nestekaasuja, heksaaneja, pentaaneja sekä raskasbensiiniä. Tuotteena saatava, stabiloitu raskasbensiini soveltuu reformointiyksikön syötöksi tai suoraan valmiin tuotteen tuotekomponentiksi. Prosessi voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: butaaninpoistoon, rikinpoistoon ja jakotislaukseen. [23, s. 3.]

Yksikkö kuluttaa vetyä verraten vähän. Syötön määrästä ja laadusta riippuen vedyn kulutus on 0,3–1 kg vetyä syöttötonnia kohden [23, s. 5]. Yksikön syöttötaso on noin 300 t/h ja vedyn tarve on siten 90–300 kg/h. Rikinpoistoreaktioiden lisäksi reaktorissa tapahtuu kaksoissidosten hydrautumista, mutta katalyytin ominaisuuksista ja vedyn

alhaisesta osapaineesta johtuen reaktorissa ei tapahdu merkittävässä määrin aromaattien hydrautumista. Suunnitteluolosuhteissa ei tapahdu vetykrakkautumista merkittävästi, mutta reaktiolämpötilan nostaminen lisää näitä reaktioita nopeasti. Reaktiolämpötilan noustessa vedyn osapaine laskee ja katalyytin aktiivisuus alenee, jolloin myös saanto pienenee. [23, s. 4.]

Yksikkö saa tarvitsemansa vedyn REF3:sta ja osittain VY2:lta. Yksiköstä lähtevä vetypitoinen kaasu johdetaan RVTO2:een pestäväksi amiinipesurille. Kaasun puhdistus perustuu absorptioon. Puhdistettu kaasu johdetaan tuorevetykompressorilla GB10404 KARP3:een ja tarvittaessa SYRPiin tai KARP2:een. Myös GB17381/2 on käytettävissä vedyn siirtoon mm. SYRPiin, BDH:lle tai VK:hon. Vetyverkon paineen säätö tapahtuu myös RVTO2:ssa pursuttamalla puhdistettua kaasua polttokaasuverkkoon. Yksikkö sijaitsee TL3:lla.

Yksikön vedyn kulutusta laskettaessa ongelmana on FA10201:ltä lähtevän vetypitoinen kaasun haaraantuminen moneen eri paikkaan. Poistuvan vetypitoinen kaasun massavirta saadaan viiden eri virtausmittauksen summana. Poistuvan kaasun moolimassaa mitataan analysaattorilla AI10328C_M. Analysaattorin mittauksen mukaan, lähtevän kaasun moolimassa on suurempi kuin yksikköön tulevan tuorevedyn, mikä on luonnollista. Analysaattori AI10328C_H2 mittaa yksiköstä poistuvan kaasun vedyn osuutta mooliprosenttina. Mittauksen mukaan poistuvan kaasun vetypitoisuus on suurempi kuin yksikköön tulevan tuorevedyn. Tämä ei voi pitää paikkaansa, koska rikinpoistoreaktiossa kuluu vetyä ja syntyy rikkivetyä. Virtausmittausten epätarkkuuksista ja analysaattorin AI10328C_H2 virhemittauksesta johtuen vedyn kulutus saattaa laskennassa olla negatiivinen, mikä ei luonnollisestikaan voi pitää paikkaansa. Laskentaan on luotu ehto, joka muuttaa negatiivisen laskennan vastaamaan teoreettista vedyn kulutusta (1 kg/h vetyä / 1 t/h bensiinisyyttöä). Liitteessä 2 on esitetty TOP-järjestelmään luodun muuttujan R_BERP3H2KULUTUS tekijät. Tekijät muodostuvat apumuuttujista, jotka sisältävät ehdot kaasuvirtojen moolimassoista sekä venttiileiden asennoista.

Laskentakaavat:

```

$L201.DBCV.V = R_BRP3H2SISYHT - R_BRP3H2ULOS
IF ($L201.DBCV.V < 0)
THEN R_BRP3H2KULUTUS = FIA10201 (kg/h)
ELSE R_BRP3H2KULUTUS = R_BRP3H2SISYHT - R_BRP3H2ULOS

```


7.8 Butadienien hydraus (BDH)

Yksikön tarkoituksena on käsitellä alkylointi-yksikön (ALKY) syöttöä. BDH:ssa nestekaasuista poistetaan niiden sisältämä vähäinen määrä 1,3-butadieeniä, joka aiheuttaisi ALKY:ssä emulsion muodostusta fluorivetyhapon kanssa. Yksikön tarvitsema vedyn suunnittelutarve on pieni, vain 23,1 kg/h 100-prosenttista vetyä. Butadienien hydrauksen ohella reaktorissa tapahtuu myös iseroitumista, 1-buteenit iseroituvat 2-buteeneiksi ja nostavat alkylaatin oktaanilukua. [18, s. 2–4.] Yksikkö sijaitsee TL3:lla.

TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_BDHH2KULUTUS, jonka tekijät on esitetty laskentakaavassa. Laskentakaavat sisältävät ehdot vedyn mooliosuuksista sekä venttiileiden asennoista. Koska kompressori GB406 voi saada imunsa VY2:lta, VY:stä tai kummastakin yhtä aikaa, on kaavoihin luotu suhdelaskuri, mikä ottaa tämän huomioon.

Laskentakaavat:

$$R_VYH2GB406TULO = (FI413-FI441)*1000$$

$$R_VYH2GB406LAHTO = FI448+(FI413-FI441)*1000.$$

VY2 vety

```
IF ((R_VY2H2.DBCV > 0.1) AND (PC497_VE.DBCV > 1) AND
(PC352_VE.DBCV > 1) AND (FCA16502_VE.DBCV > 1))
THEN R_BDHH2SIS1 =
(FCA16502*R_VY2H2/100*2.016/R_VY2H2M)*(FI448/R_VYH2GB406LAHTO)
ELSE R_BDHH2SIS1 = 0;
```

VY vety

```
IF ((R_VYF404WH2.DBCV > 0.1) AND (PC409_VE.DBCV > 1) AND
(PC352_VE.DBCV > 1) AND (FCA16502_VE.DBCV > 1))
THEN R_BDHH2SIS2 = ((FCA16502*R_VYF404WH2/100*2.016)/
(VY_VETY_N2/100*28.02 + VY_VETY_C1/100*16.04 +
R_VYF404WH2/100*2.016))* (R_VYH2GB406TULO/ R_VYH2GB406LAHTO)
ELSE R_BDHH2SIS2 = 0;
```

$$R_BDHH2KULUTUS = R_BDHH2SIS1 + R_BDHH2SIS2$$

7.9 Heksaanien erotusyksikkö (HEY)

Heksaanien erotus tapahtuu viidessä adsorberissa, joiden huuhteluun tarvitaan vetyä. Molekyyliseulat erottavat N-heksaanin iso- ja sykloheksaaneista. Syötön N-heksaani adsorboituu molekyyliseulamassaan ja iso- sekä sykloheksaanit läpäisevät massan. Yksikön suunnittelusyöttö on 33,5 t/h, josta noin 25 % on N-heksaania. Erotusprosessi on sekvenssiohjattu ja jatkuvatoiminen.[19, s. 3–4.]

Tuorevedyn tarve yksikössä on vähäistä, noin 110 kg/h. Desorptio eli normaaliheksaanin erotus molekyyliseulamassasta tapahtuu noin 13 bar:n vetypaineessa ja 310 °C:ssa. Desorptio perustuu adsorboituneen aineen osapaineen laskuun. Toinen mahdollisuus olisi nostaa molekyyliseulamassan lämpötilaa, mutta sekvenssin nopeudesta johtuen se ei ole mahdollista. [19, s. 9.] Yksikkö sijaitsee TL3:lla ja saa tarvitsemansa vedyn REF3:sta.

TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_HEYH2KULUTUS, jonka tekijä on esitetty laskentakaavassa. Kaava sisältää ehdot kaasun moolimassasta ja venttiilin asennosta.

Laskentakaava:

```
REF3:n vety
IF ((AI10328A_M.DBCV > 0.1) AND (PC11527_VE.DBCV > 1))
THEN R_HEYH2SIS1 = FI11516*AI10328A_H2/100*2.016/AI10328A_M
ELSE R_HEYH2SIS1 = 0;

R_HEYH2KULUTUS = R_HEYH2SIS1
```

7.10 Kaasuöljyn aromaatinpoistoyksikkö (KAAPO)

Yksikön tarkoituksena on poistaa aromaatteja kevyestä ja miltei rikittömästä kaasuöljystä. Rikki on katalyyttimyrkky KAAPO:n reaktorissa. Yksikön syöttötaso on noin 95 t/h KARP2:n tuotetta tai VK:n petroolia. Aromaatinpoistoreaktiot tapahtuvat noin 35 bar:in paineessa ja 180 °C:ssa. Tuotteen aromaattipitoisuus on maksimissaan 5 til- % [21, s. 2–4.]

Tarvitsemansa vedyn yksikkö saa VY:stä tai VY2:sta. REF3:n vety ei kelpaa yksikköön sen sisältämien kloridien vuoksi. Kloridit reagoivat syötössä olevan typen kanssa muodostaen ammoniumkloridia, joka tukkii nopeasti reaktorin. Huoltoseisokissa 2010 tehtyjen muutosten jälkeen REF3:n vetyä ei voida enää syöttää yksikköön.[21, s. 3–5.] Yksikkö sijaitsee TL1:llä.

Yksikön paineen säätö tapahtuu pursuttamalla vetytitoista kaasua VK:hon tai poltto-kaasuverkkoon. Liitteessä 8 on esitetty TOP-järjestelmään luodun muuttujan R_KAAPH2KULUTUS tekijät. Tekijät muodostuvat apumuuttujien summana, jotka sisältävät ehdot kaasuvirtojen vedyn mooliosuuksista sekä venttiileiden asennoista. Koska kompressori GB406 voi saada imunsa VY2:lta tai VY:stä tai kummastakin yhtä aikaa, on kaavoihin luotu suhdelaskuri, joka ottaa tämän huomioon.

Laskentakaava:

$$R_KAAPH2KULUTUS = R_KAAPH2SISYHT - R_KAAPH2ULOS$$

7.11 Biodiesel 1 (NExBTL1)

Yksikön tarkoituksena on valmistaa kasviöljyistä ja eläinrasvoista korkealaatuista dieseliä. Eläinrasvat ovat elintarvikkeeksi kelpaamattomia renderöityjä rasvoja, ja kasviöljyihin kuuluvat mm. rypsiöljy, soijaöljy ja palmuöljy. Kemialliselta koostumukseltaan bioöljyt ovat pääosin triglyseridejä, kolmen rasvahappoketjun muodostamia glyserolin triesteriteitä. [24, s. 33.]

Yksikkö tarvitsee vetyä isomerointiin ja vetykäsittelyyn. Isomeroinnissa muutetaan suoraketjuiset parafiinit isoparafiineiksi haluttujen kylmäominaisuuksien saavuttamiseksi. Kylmäominaisuutta eli tuotteen samepistettä säädetään isomerointireaktion lämpötilaa muuttamalla. Isomerointireaktioissa ei kulu vetyä, mutta sitä on oltava riittävästi vedynsiirtoreaktioiden ylläpitämiseksi sekä katalyytin suojaamiseksi koksautumiselta. [24, s. 21.]

Vetykäsittelyssä hajotetaan tuoesyötön sisältämä triglyseridirakenne eli hydrataan tuoesyötön sisältämät triglyseridien rasvahappoketjuissa olevat kaksoissidokset. Vetykäsittelyssä poistuvat myös triglyseridien karboksyyliyhmiä happikomponentit. Lisäksi syöttöaineen sisältämä typpi ja rikki muuttuvat ammoniakiksi ja rikkivedyksi sekä

orgaaninen kloori suolahapoksi. Reaktiotuotteena saadaan parafiinisia diesel-luokan hiilivetyjä, propaania ja vettä. [24, s. 19.]

Tarvitsemansa tuorevedyn yksikkö saa VY2:lta ja/tai REF3:lta sekä vetykäsittelyreaktorin katalyytin tarvitseman rikkivetytitoisen kaasun VK:n pursutuksesta. Rikkiä tarvitaan vedytyskatalyytin pitämiseksi aktiivisessa sulfidimuodossa [24, s. 31]. Normaaliolosuhteissa yksikön paineen säätö tapahtuu pursuttamalla kalvoerottimen retentaattia polttoaasuverkostoon niin paljon kuin vetykäsittelyosan paineen säätö vaatii [24, s. 29].

TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_BIO1H2KULUTUS, jonka tekijät on esitetty laskentakaavassa. Tekijöiden laskentakaavoissa on ehdot kaasun moolimassasta sekä venttiileiden asennoista. Yksikkö sijaitsee TL3:lla.

Laskentakaavat:

VY2:n vety

```
IF ((PCA62397_VE.DBCV > 1) AND (XCV62314.S))
THEN R_BIO1H2SIS1 = FI62375
ELSE R_BIO1H2SIS1 = 0;
```

VK:n pursutusvety

```
IF ((AI324_2_MOLWT.DBCV > 0.1) AND (FC62324_VE.DBCV > 1))
THEN R_BIO1H2SIS2 = FC62324*AI324_2_H2/100*2.016/AI324_2_MOLWT
ELSE R_BIO1H2SIS2 = 0;
```

REF3:n vety

```
IF ((XCV62313.S) AND (AI10423_MOLWT.DBCV > 0.1))
THEN R_BIO1H2SIS3 =
FI62378*1000*AI10423_H2/100*2.016/AI10423_MOLWT
ELSE R_BIO1H2SIS3 = 0;
```

Paineen säätö

```
IF ((AI62101_6_MW.DBCV > 0.1) AND (FC62309_VE.DBCV > 1) AND
(XCV62309.S))
THEN R_BIO1H2ULOS1 = FC62309*1000 *AI62101_6_H2/100 *2.016/
AI62101_6_MW
ELSE R_BIO1H2ULOS1 = 0;
```

```
R_BIO1H2KULUTUS = R_BIO1H2SIS1+ R_BIO1H2SIS2+ R_BIO1H2SIS3-
R_BIO1H2ULOS1
```

7.12 Biodiesel 2 (NExBTL2)

Yksikkö on tarkoitukseltaan ja kooltaan identtinen NExBTL1:n kanssa. TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_BIO2H2KULUTUS, jonka tekijät on esitetty laskentakaavassa. Tekijöiden laskentakaavoissa on ehdot kaasun moolimassasta sekä venttiilien asennoista. Yksikkö sijaitsee TL3:lla.

Laskentakaavat:

VY2:n vety

```
IF (PCA85397_VE.DBCV > 1)
THEN R_BIO2H2SIS1 = FI85321
ELSE R_BIO2H2SIS1 = 0;
```

VK:n pursutusvety

```
IF ((AI324_2_MOLWT.DBCV > 0.1) AND (FC85324_VE.DBCV > 1))
THEN R_BIO2H2SIS2 = FC85324*AI324_2_H2/100*2.016/AI324_2_MOLWT
ELSE R_BIO2H2SIS2 = 0;
```

REF3:n vety

```
IF ((XCV85313.S) AND (AI10423_MOLWT.DBCV > 0.1))
THEN R_BIO2H2SIS3 =
FI85378*1000*AI10423_H2/100*2.016/AI10423_MOLWT
ELSE R_BIO2H2SIS3 = 0;
```

Paineen säätö

```
IF ((AI85102_6_MW.DBCV > 0.1) AND (FC85309_VE.DBCV > 1) AND
(XCV85309.S))
THEN R_BIO2H2ULOS1 =
FC85309*1000*AI85102_6_H2/100*2.016/AI85102_6_MW
ELSE R_BIO2H2ULOS1 = 0;
```

```
R_BIO2H2KULUTUS = R_BIO2H2SIS1+ R_BIO2H2SIS2+ R_BIO2H2SIS3-
R_BIO2H2ULOS1
```

7.13 Tertiääriamyylimetyylieetteri-yksikkö (TAME)

TAME-yksikön tarkoituksena on eetteröidä FCC:n kevytbensiiniä. TAME-yksikössä käytetään kahta eri katalyyttiä: selektiivisessä hydrauksessa palladiumilla pinnoitettu alumiinioksidikatalyyttiä ja varsinaisessa eetteröintireaktiossa ioninvaihtohartsia [22, s. 4]. Yksikkö käyttää vetyä vain selektiiviseen hydraukseen. Hydrauksen tarkoituksena on poistaa syötössä olevat diolefiinit eli dieenit. Nämä ovat hiilivetyjä, joissa on kaksi kaksoisidosta. Dieenit ovat erittäin reaktiivisia ja polymeroituvat happamissa olosuhteissa nopeasti. Syötössä oleva vety reagoi dieenin kanssa ja poistaa siten toisen kaksoisidoksen. [22, s. 5.] Yksikkö sijaitsee TL1:llä.

TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_TAMEH2KULUTUS, jonka tekijät on esitetty laskentakaavassa. Laskentakaavat sisältävät ehdot vedyn mooliosuuksista sekä venttiileiden asennoista. Koska kompressori GB406 voi saada imunsa VY2:lta, VY:stä tai kummastakin yhtä aikaa, on laskentakaavoihin luotu suhdelaskuri, joka ottaa tämän huomioon.

Laskentakaavat:

VY2 vety

```
IF ((R_VY2H2 > 0.1) AND (PC497_VE.DBCV > 1) AND (PC352_VE.DBCV >
1) AND (FCA35003_VE.DBCV > 1))
```

```
THEN R_TAMEH2SIS1 = (FCA35003*R_VY2H2/100*2.016/R_VY2H2M) *
(FI448/R_VYH2GB406LAHTO)
```

```
ELSE R_TAMEH2SIS1 = 0;
```

VY vety

```
IF ((R_VYF404WH2 > 0.1) AND (PC409_VE.DBCV > 1) AND
(PC352_VE.DBCV > 1) AND (FCA35003_VE.DBCV > 1))
```

```
THEN R_TAMEH2SIS2 = (FCA35003*R_VYF404WH2/100*2.016/
(VY_VETY_N2/100*28.02 +
```

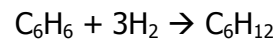
```
VY_VETY_C1/100*16.04 + R_VYF404WH2/100*2.016)) * (R_VYH2GB406TULO/
R_VYH2GB406LAHTO)
```

```
ELSE R_TAMEH2SIS2 = 0;
```

```
R_TAMEH2KULUTUS = R_TAMEH2SIS1 + R_TAMEH2SIS2
```

7.14 Bentseenien hydraus (BEHY)

Yksikön tarkoitus on poistaa bentseeniä isoheksaanista hydraamalla se sykloheksaaniksi. Hydrausreaktio tapahtuu noin 19 bar:n paineessa ja 65 °C:ssa nikkelikatalyytin läsnä ollessa. Reaktio on eksoterminen. Lämpötilan nousu reaktorissa on 30–50 °C, ja sitä hallitaan kierrättämällä syöttöön bentseenivapaata reaktiotuotetta. Alla on esitetty reaktioyhtälö bentseenin hydrautumiselle. [20, s. 2–4.]



Vety-bentseenisuhde tulee olla 6:1 reaktorin sisään menossa [20, s. 3]. Tarvitsemansa vedyn yksikkö saa REF3:sta, ja paineen säätö tapahtuu vetyverkkoon. Pursutettavasta vetypitoisesta kaasusta ei ole analysaattorin antamaa tietoa kaasun puhtaudesta vedyn suhteen eikä sen moolimassasta. Laskennassa käytetäänkin tulevan vedyn analysaattoreiden tietoa myös pursutettavan kaasun laskentakaavassa. Tämä vääristää hiukan vedyn kulutuksen laskentaa, mutta ei vaikuta merkittävästi jalostamon vetytaseeseen. Yksikkö sijaitsee TL3:lla.

TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_BEHYH2KULUTUS, jonka tekijät on esitetty laskentakaavassa. Tekijöiden laskentakaavoissa on ehdot kaasun moolimassasta sekä venttiileiden asennoista.

Laskentakaavat:

```
REF3 vety
```

```
IF ((AI10328A_M.DBCV > 0.1) AND (FCA9102_VE.DBCV > 1))
```

```
THEN R_BEHYH2SIS = FCA9102*1000*AI10328A_H2/100*2.016/AI10328A_M
```

```
ELSE R_BEHYH2SIS = 0;
```

```
Pursutus vetyverkkoon
```

```
IF ((AI10328A_M.DBCV > 0.1) AND (PCA9103_VE.DBCV > 1))
```

```
THEN R_BEHYH2ULOS = FI9105*1000*AI10328A_H2/100*2.016/AI10328A_M
```

```
ELSE R_BEHYH2ULOS = 0;
```

```
R_BEHYH2KULUTUS = R_BEHYH2SIS - R_BEHYH2ULOS
```

8 Jalostamon vedyn kulutus

Jalostamon vedyn kulutus koostuu vetyä kuluttavien prosessiyksiköiden yhteenlasketusta vedyn kulutuksesta. TOP-järjestelmään on luotu muuttuja R_JALOH2KULUTUS, joka antaa reaaliaikaista tietoa jalostamon vedyn kulutuksesta 100-prosenttisenä vetyinä.

Laskentakaava:

```
R_JALOH2KULUTUS = R_SYRPH2KULUTUS + R_KRP2H2KULUTUS +
R_KRP3H2KULUTUS + R_PÖYH2KULUTUS + R_VHVIH2KULUTUS +
R_VKH2KULUTUS + R_BRP3H2KULUTUS + R_BDHH2KULUTUS +
R_HEYH2KULUTUS + R_KAAPH2KULUTUS + R_BIO1H2KULUTUS +
R_BIO2H2KULUTUS + R_TAMEH2KULUTUS + R_BEHYH2KULUTUS
```

9 Vetytase

Jalostamon ylimäärävety saadaan vedyn tuotannon ja kulutuksen erotuksena. Jalostamon kokonaisvetytase lasketaan vähentämällä vedyn tuotannosta myös polttokaasuverkkoon pursutettavat vetymäärät. Jos laskentakaavoissa käytetyt vetykaasujen masvirtaukset sekä analysaattoreiden mittaamat kaasun moolimassat ja vedyn mooliosuudet antavat oikeaa tietoa vaadittavalla tarkkuudella, tulee ylimäärävedyn olla luonnollisesti positiivinen, jos pursutusta polttokaasuverkkoon on olemassa. Kokonaisvetytaseen tulee olla nolla, jos laskennoissa käytetyt virtausmittaukset ja analysaattoreiden antamat arvot pitävät paikkaansa. Vedyn tuotannon tulisi olla likimain kulutusta vastaavalla tasolla ja tällöin ylimäärävety olisi nolla.

Ne vetytaseiset kaasuvirrat, joita ei voida olemassa olevin prosessiteknisin keinoin ottaa talteen ja hyödyntää vetyverkossa, jätetään huomioimatta yksikön vedyn kulutusta laskettaessa. Esimerkkinä mainittakoon yksiköiden matalapaine-erottimilta polttokaasuun pursutettavat vetytaseiset kaasut. Näiden kaasujen sisältämä vety tulee kuitenkin

jalostamon vetytaseeseen, koska muuten se vähennettäisiin yksikön vedyn kulutuksesta ja jouduttaisiin vähentämään kokonaisvetytasetta laskettaessa erillisenä laskentana. Nyt tämä vety sisältyy yksikön vedyn kulutukseen. Matalapaine-erottimilta polttokaasuun pursutettavien kaasuvirtojen vetypitoisuudesta ja moolimassasta ei ole analysaattoreiden mittaamaa tietoa.

TOP-järjestelmään on luotu muuttujat R_JALOH2TASE1 ja R_JALOH2TASE2. Ensimmäinen muuttuja antaa tietoa jalostamon ylimäärävedystä 100-prosenttisenä vetynä. Toinen muuttuja antaa tietoa jalostamon kokonaisvetytaseesta 100-prosenttisenä vetynä. Vedyn tuotannon optimoinnissa muuttuja R_JALOH2TASE1 antaa tietoa siitä, kuinka paljon vedyn tuotantoa tulisi vähentää.

Tämän tiedon perusteella muutetaan VY:n tai VY2:n syöttöä niin, että vedyn tuotanto vastaa kulutusta ja muuttujan R_JALOH2TASE1 arvo alkaa lähestyä nollaa. Tällöin vetyverkon paineensäädön ja yksiköiden pursutusten polttokaasuverkkoon tulisi pienentyä tai kokonaan sulkeutua. Alla on esitetty taseiden laskentakaavat sekä muuttujan R_JALOH2POLTTOON tekijät.

Laskentakaavat:

$$R_JALOH2POLTTOON = R_KRP3H2ULOS1 + (\$L193.DBCV.V + \$L194.DBCV.V) * 1000 * AI10423_H2 / 100 * 2.016 / AI10423_MOLWT + R_KRP2H2ULOS + R_SYRPH2ULOS4 + R_VHVIH2ULOS2 + R_VKH2ULOS2 + R_KAAPH2ULOS + R_BIO1H2ULOS1 + R_BIO2H2ULOS1$$

$$R_JALOH2TASE1 = R_JALOH2TUOTANTO - R_JALOH2KULUTUS$$

$$R_JALOH2TASE2 = R_JALOH2TUOTANTO - R_JALOH2KULUTUS - R_JALOH2POLTTOON$$

10 Vetypursutusten kustannukset

Jalostamolta polttokaasuverkkoon pursutettavan vedyn hinta lasketaan sen vaihtoehdoisen käyttötarkoituksen mukaan eli tässä tapauksessa polttokaasun hinnasta. Laskennassa otetaan huomioon vedyn ja maakaasun erilaiset teholliset lämpöarvot. Jalostamon ollessa normaalitilassa vedyn tuotantoa säädetään VY2:n maakaasusyöttöä laskemalla tai nostamalla. Tämän vuoksi myös polttokaasuverkkoon pursutettavan vedyn

hinta lasketaan VY2:n tuotevedyn koostumuksen mukaan. Aikaisemmin on todettu, että VY2:n tuotevety on käytännöllisesti katsoen 100-prosenttista vetyä.

Puhtaan vedyn tehollinen lämpöarvo on 120 MJ/kg, maakaasun 49 MJ/kg ja maakaasun hinta noin 420 €/t [10, s. 7]. Näillä arvoilla laskettuna VY2:n vedyn hinta saadaan laskettua alla olevilla kaavoilla. TOP-järjestelmään on luotu muuttuja \$L210.DBCV.V, joka antaa tietoa VY2:een syötettävistä maakaasu- ja ROG-määristä sekä uunin BA66001 tarvitsemasta polttokaasusta. Muuttujan kaavassa on ehdot venttiileiden asennoista.

TOP-järjestelmään on luotu myös muuttuja R_VY2H2HINTA, joka antaa tietoa VY2:n vedyn tuotannon kustannuksista tuotettua vetytonnia kohti. Kustannukset koostuvat pääasiassa maakaasusta ja ROG:sta, jonka arvo vastaa maakaasun arvoa. Kaavaan on lisätty mm. energiakustannuksista koostuva kiinteä 100 €/t kustannus.

Polttokaasuun pursutettava vetymäärä säästää polttokaasukustannuksissa, mikä otetaan huomioon TOP-järjestelmään luodussa muuttujassa R_JALOPKSAASTO. Kaavassa on kertoimena tehollisten lämpöarvojen suhde, joka kertoo, että 1000 kg vetyä säästää 2449 kg maakaasua.

VY2:n syötön ja polttokaasun määrä:

```
IF ((PC65026B_VE.DBCV.V > 1) AND (FCQ66013_VE.DBCV.V > 1) AND
(FC71087A_VE.DBCV.V > 1) OR (FC71087B_VE.DBCV.V > 1))
THEN $L210.DBCV.V = FCQ65004+FIQ65001+FCQ66013
ELSE $L210.DBCV.V = 0;
```

Laskentakaavat:

```
R_VY2H2HINTA = $L210.DBCV.V / FIQ68003*(JALMKHINTA+VY2KIINTKUST)
R_JALOPKSAASTO = 120/49 * R_JALOH2POLTTOK / 1000 * JALMKHINTA
```

Polttokaasuverkkoon pursutettavan vedyn aiheuttamia kustannuksia voidaan seurata TOP-järjestelmään luodusta muuttujasta R_H2POLTTOK. Laskentakaavassa esiintyvän muuttujan R_JALOH2POLTTOKON tekijät on esitetty luvussa 9 sivulla 26.

Laskentakaava:

$$R_H2POLTTOK = R_VY2H2HINTA * R_JALOH2POLTTOON / 1000 - R_JALOPKSAASTO$$

Vedyn poltosta aiheutuvat kustannukset muuttuvat maakaasun hinnan ja kiinteiden kustannusten muuttuessa.

11 Laskentakaavojen testaus käytännössä

Kokeellisessa osassa vetyverkkoon tehdään muutoksia ja seurataan muuttujissa R_JALOH2TASE1 ja R_JALOH2TASE2 tapahtuvia muutoksia. Tehtävät muutokset vetyverkossa ovat lähinnä vedyn jakeluun ja tuotantoon liittyviä muutoksia. Seuranta-aikana yksiköiden syötön laatu ja määrä pidetään vakiona, joten myös vedyn kulutuksen tulisi pysyä vakiona. Kokeellisessa osassa pyritään selvittämään luotujen laskentakaavojen toimivuus eri tilanteissa.

Ennen kokeellista osaa tarkistettiin muutama massavirtausmittaus ja luvussa 7.7 mainittu epäily analysaattorin AI10328C_H2 virhemittauksesta. BERP3:een tulevan vetykaasun analysaattori AI10328A ja yksiköstä poistuvan vetykaasun analysaattori AI10328C tarkistettiin ja kalibroitiin. Kalibroinnin jälkeen yksiköstä poistuvan kaasun analysaattorin mittaama vedyn mooliosuus AI10328C_H2 oli luonteva eli pienempi kuin yksikköön tulevan vetykaasun vetypitoisuus. Tämä osoittautui kuitenkin hetkelliseksi, muutaman päivän kuluessa analysaattorin virhe palautui ennalleen. Laskennan antaessa negatiivisen vedyn kulutuksen BERP3:lle, muuttaa laskentakaavassa R_BRP3H2KULUTUS oleva ehto kulutuksen vastaamaan yksikön teoreettista vedyn kulutusta. Tämä vääristää hiukan laskentaa, mutta sillä ei ole merkitystä jalostamon kokonaisvetytaseeseen. Virtausmittauksiin ei tullut oleellista muutosta tarkistusten jälkeen.

Kokeellisen osan ajankohta valittiin niin, että kaikki jalostamon vetyä tuottavat ja sitä kuluttavat prosessiyksiköt olivat käynnissä. Seurantajakson aikana Borealis oli huoltokorjauseisokissa eikä sieltä vetyä tullut. Kuvassa 3 on lyhyt historiapiirto vetytaseiden käyttäytymisestä. Keltainen piirto on R_JALOH2POLTTOON, violetti piirto on R_JALOH2TASE1, sininen piirto on R_JALOH2TASE2, valkoinen piirto on

R_JALOH2TUOTANTO ja vihreä piirto on R_JALOH2KULUTUS-muuttujien kuvaajat. Kuvasta havaitaan, että ylimäärävedyn lisääntyessä myös polttokaasuun menevän vedyn määrä lisääntyy. Kuvasta havaitaan myös, että vedyn tuotannon laskiessa ylimäärävyt vähenee kulutuksen pysyessä vakiona. Voidaan todeta, että laskentakaavat toimivat hyvin tilanteessa, jossa vetyä kuluttavat prosessiyksiköt ovat normaalisyötöllä ja jalostamon vedyn kulutus on runsasta.

Kuvassa 4 on pidempi historiapiirto, jossa vedyn kulutukseen on tullut selvä muutos. Kuvasta havaitaan, että ylimäärävyt on lisääntynyt vedyn tuotannon pysyessä aluksi vakiona. Tämä olisi pitänyt näkyä selvemmin myös muuttujassa R_JALOH2POLTTOON, joka antaa tietoa polttokaasuun pursutettavasta kaasumäärästä. Kun polttokaasuun pursutettavan vedyn määrä kasvaa tarpeeksi, alkaa paineensäätäjä PCA10501 avautua ja kaasu virrata myös virtausmittauksen FI10503:n kautta. Normaalisti ylimäärävyt ei jouduta pursuttamaan PCA10501:n kautta, vaan paineensäädön kykenee tekemään pienempi paineensäätäjä PCA10501C, jolloin polttokaasuun menevää vetymäärää mittaava virtausmittaus FI10511. Ilmeisesti virhemittaus FI10503:lla aiheuttaa virheen muuttujassa R_JALOH2POLTTOON.

Tämä aiheuttaa virhettä myös jalostamon kokonaisvetytaseeseen R_JALOH2TASE2, sillä sen tulisi olla tilanteesta riippumatta vakio. Kokonaisvetytase lasketaan tuotannon ja kulutuksen sekä polttokaasuun menevien vetymäärien erotuksena. Ennen kuin vedynkulutus pieneni, ylimäärävedyn ja polttokaasuun pursutettavan vedyn määrät seurasivat hyvin toisiaan, kokonaisvetytaseen ollessa lähellä nollaa. Kuvia katsottaessa on otettava huomioon piirtojen skaalaus kuvan oikeasta reunasta.



Kuva 3. Historiapiirto vetytaseista TOP-järjestelmästä.



Kuva 4. Historiapiirto vetytaseista TOP-järjestelmästä.

12 Hanke-ehdotukset

Jalostamon vetyasetta laskettaessa suurimmat epävarmuudet kohdistuvat REF3:n vedyn tuotannon laskemiseen ja BERP3:n vedyn kulutuksen laskemiseen.

REF3:n tuotevedyn massavirta saadaan viiden virtausmittauksen summana ja kolmen virtausmittauksen erotuksena. Yksiköstä lähtevän vedyn määrää pitäisi mitata pisanerotin FA10334 jälkeen ennen virtauksen haaraantumista eri yksiköille. Näin saadaan mittausvirhe rajattua yhteen virtausmittaukseen ja poistettua mahdollinen mittausvirheiden kertautuminen. Myös uuden analysaattorin sijoittaminen saman pisanerotin jälkeen antaisi yksiselitteisen koostumuksen lähtevälle tuotevedylle.

BERP3:n vedyn kulutuksen laskemisessa on samanlaisia epävarmuustekijöitä yksiköstä poistuvan vetytitoisen kaasun massavirran laskemisessa. Yksiköstä poistuvan vetytitoisen kaasun massavirta saadaan viiden virtausmittauksen summana ja yhden virtausmittauksen erotuksena. Yksiköstä poistuvan kaasun vetytitoisuutta ja moolimassaa analysoiva analysaattori on oikeassa paikassa.

Yksiköstä poistuvan vetytitoisen kaasun massavirta pitäisi mitata erotussäiliön FA10201 jälkeen, ennen RVTO2:ta. Mittaus tulisi tehdä samasta paikasta, mistä analysaattori AI10328C ottaa näytevirtansa. Yksikköön tuleva tuorevetyvirtaus on yksiselitteinen.

Analysaattorin puuttuminen BERP3:n ohituslinjassa aiheuttaa epätarkkuutta vetytaseen laskennassa silloin, kun myös REF3:n vetyä joudutaan ajamaan BERP3:n ohi. BERP3:n ohitusvirtaus FI11311, on mukana REF3:n vedyn tuotannon laskennassa ja BERP3:n vedyn kulutuksen laskennassa. Laskentakaavat ottavat ohitusvirtauksen huomioon 100-prosenttisenä vetyä. Tämä pitääkin paikkansa tilanteessa, missä ohituslinjassa virtaa vain VY2:n ja Borealoksen vetyä.

Analysaattorin puuttuminen BERP3:n ohituslinjasta aiheuttaa epätarkkuutta myös RVTO2:sta polttokaasuun pursutettavan kaasun vetytitoisuuden laskemisessa. Muuttujien R_RVTO2H2POLTT1 ja R_RVTO2H2POLTT2 laskentakaavoissa käytetään analysaattorin AI10423 antamaa tietoa kaasun vetytitoisuudesta ja moolimassasta. Tämä on oikein tilanteessa, missä BERP3:n ohituslinjassa ei ole virtausta. Jos ohituslinjassa on

virtausta, muuttuu polttokaasuun pursutettavan kaasun koostumus ja poikkeaa analysoittorin AI10423 antamasta tiedosta. Putkitus vetyverkossa on rakennettu niin, että ohituslinjassa virtaava kaasu poistuu polttokaasuun ensimmäisenä eikä ole mukana analysoittorin AI10423 mittauksessa.

13 Yhteenveto

Tämä insinööri työ on tehty Porvoon öljynjalostamon kehitysosaston toimeksiantona. Työn tavoitteena oli luoda TOP-järjestelmään laskentakaavat, jotka antavat reaaliaikaista tietoa jalostamon vedyn tuotannosta ja kulutuksesta. Tavoitteena oli myös optimoida jalostamon vedyn tuotanto vastaamaan sen kulutusta niin, ettei vetyä jouduttaisi tarpeettomasti pursuttamaan polttokaasuverkkoon.

Jalostamon vedyn tuotannon optimointi ei ole helppo tehtävä. Haastavan asiasta tekee se, että vedyn tuotannon säätö ei tapahdu automaattisesti tietokoneen ohjaamana. REF3 tuottaa vetyä, jonka määrää ei säädetä, koska tuotettu vety on reformointireaktion sivutuote.

Vety-yksiköistä vanhempi, VY, halutaan pitää toistaiseksi käynnissä mahdollisten vedyn tuotannon häiriöpiikkien tasaamiseksi. Jalostamo ei ole riippuvainen VY:n tuottamasta vedystä VY2:n toimiessa normaalisti. Tämä aiheuttaa sen, että vedyn kulutuksen ollessa normaalia vähäisempää esim. rikinpoistoyksikön ollessa huoltokorjauseisokissa on VY:n tuottama vety ylimääräistä vetyä, jota ei voida kompensoida kokonaan pienentämällä VY2:n vedyn tuotantoa. Vedyn tuotannon optimoinnin kannalta olisi järkevää pysäyttää VY. Tämä aiheuttaisi kuitenkin lisähaittaa häiriötilanteissa, joissa vedyn tuotanto on normaalia pienempää.

VY2 on jalostamon tärkein vedyn tuottaja. Luvussa 5.3 mainitaan, että yksikkö tuottaa puhdasta vetyä 6,4 – 13,8 t/h. Käytännössä on kuitenkin niin, että yksikön minimituototarve tulee TL4:n vety tarpeesta. Luvussa 7.4 on mainittu, että PÖY saa tarvitsemansa tuorevedyn VY2:lta tai vetyverkosta. Jos VY2:n vedyn tuotantoa pienennettäisiin optimointitarkoituksessa ja se korvattaisiin REF3:n vedyllä PÖY:ssä, jouduttaisiin tilanteeseen, jossa PÖY:n tuorevetykompressorin GB71001 A/B/S imupainetta pitäisi alen-
taa, jotta vety siirtyisi REF3:sta PÖY:lle. Toistaiseksi jalostamolla ei ole kokemusta täl-

laisesta tilanteesta, eikä siitä, mitä aiheutuu PÖY:n tuorevedyn laadun huonontumisesta, jos vetyä otetaan yksikköön myös REF3:sta.

Jalostamon ollessa normaalitilassa vedyn tuotannon optimointi on mahdollista. TOP-järjestelmään luodusta muuttujasta R_JALOH2TASE1 saadaan karkea käsitys siitä, kuinka paljon jalostamolla on ylimäärin vetyä. Lähtökohtana vedyn tuotannon optimoinnille on vetyä kuluttavien prosessiyksiköiden vetytarpeen optimointi. Tämä tarkoittaa sitä, että yksikköihin syötettävä vetymäärä olisi sellainen, ettei paineen säätöä tarvitsisi tehdä pursuttamalla vetypitoista kaasua polttokaasuverkkoon. Vetyä kuluttavien prosessiyksiköiden vetytarpeen optimoinnin jälkeen jalostamon ylimäärävety poistuu paineen säädön kautta polttokaasuverkkoon ainoastaan RVTO2-yksiköstä.

BERP3:n H_2/HC -moolisuhde tulee olla vähintään 0,5. Tähän moolisuhteeseen päästään hyvin käyttämällä pelkästään REF3:n vetyä. Tästä johtuen VY2:n vetyä ei tarvitsisi ajaa BERP3:n suuntaan ollenkaan. VY2:n vetylinjauksissa on olemassa tietokonesäätö, jota kuitenkin kannattaa käyttää hyväksi vedyn tuotannon optimoinnissa. Tietokonesäädön vety PSA → BERP3 virtausrajoitteen tulee olla pieni, mutta ei nolla. Tietokonesäätö pienentää automaattisesti VY2:n vedyn tuotantoa, jos vetyvirtaus FC68008:lla BERP3:n suuntaan menee asetusarvoa suuremmaksi ja jos vetyvirtaus ei riitä, niin vedyn tuotto VY2:ssa lisääntyy tietokonesäädön ajamana.

REF3:n vety riittää hyvin BEHY:n, HEY:n, BERP3:n, KARP3:n ja VK:n vetytarpeen tyydyttämiseen. REF3:n vetyä riittää myös SYRPiin kompressorilla GB17381/2 ajettuna säätimen FC17388 kautta tai kompressorilla GB10401S ajettuna säätimen PC34050 kautta. Tämä ei kuitenkaan riitä kokonaan tyydyttämään SYRP:n vetytarvetta, ja lisävely kannattaakin ottaa VY2:sta säätimen FC34133 kautta. Myös NExBTL1/2:n tarvitsema vety kannattaa ottaa VY2:sta säätimien PCA62397 ja PCA85397 kautta. Vetyvirtaukset SYRPiin ja NExBTL1/2-yksiköille lähtevät ennen säädintä FC68008, joka on mukana tietokonesäädössä.

Jos esimerkiksi SYRP:n tarvitsema lisävely otetaan VY2:sta säätimen FC34133 kautta, lisääntyy VY2:n vedyn tuotto tietokonesäädön ajamana niin, että vety PSA → BERP3 pysyy asetetun virtausrajoitteen sisällä. Vedyn lisäys täytyy tehdä rauhallisesti, jotta tietokonesäätö ehtii korjaamaan lisääntynyttä vedyn tarvetta.

Vetyvirtaukset SYRP:iin FC17388:n tai PC34050:n kautta säädetään sellaisiksi, että paineen säätö RVTO2:sta polttokaasuverkkoon olisi mahdollisimman pienellä tai kokonaan kiinni. Vetyverkon minimipaineelle asettaa rajaotuksen kompressoreiden GB17381/2 ja GB10401 tarvitsema imupaine.

Vetytaseiden luotettavuuteen täytyy suhtautua varauksella. Vaikka luodut laskentakaa-
vat ovatkin oikeita, ovat niissä olevat muuttujat epävarmoja. Massavirtauksien ja ana-
lysaattoreiden luotettavuus on osoittautunut ongelmaksi. Erityisesti analysaattoreilla on
taipumus alkaa hitaasti "ryömiä" virheelliseen suuntaan, ja sitä on lyhyellä aikavälillä
vaikea havaita. Säännöllinen analysaattoreiden kalibrointi ja huolto lisää niiden luotet-
tavuutta. Massavirtauksien epäluotettavuuteen reagoidaan yleensä vain silloin, kun
mittaus on selvästi virheellinen ja se aiheuttaa ongelmia esimerkiksi tietokonesäädöis-
sä.

Lähteet

- 1 ABB Industry Oy. 2007. PMSNT. Käyttöopas.
- 2 Kiviniemi, A., Mäkitie, O. 1988. Kemia. Keuruu: Otava.
- 3 Neste Oil. 2008. Sisäinen ohje OQD-5870.
- 4 Verkkodokumentti.
www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/oljytuotteet/tuotantoprosessit.
Luettu 3.8.2012.
- 5 Neste Oil. 2009. Sisäinen ohje OQD-1758.
- 6 Neste Oil. 2007. Sisäinen ohje OQD-1752.
- 7 Neste Oil. 2007. Sisäinen ohje OQD-973.
- 8 Neste Oil. 2009. Sisäinen ohje OQD-1658.
- 9 Neste Oil. 2009. Sisäinen ohje OQD-1602.
- 10 Neste Oil. 2011. Sisäinen ohje OQD-2256.
- 11 Strengell Pertti. 2012. Tuotannonsuunnittelija, Neste Oil Oyj. Keskustelu 6.10.2012.
- 12 Neste Oil. 2009. Sisäinen ohje OQD-1584.
- 13 Karhula, Tarja. 2009. Perusöljyä valmistavan VHVI-yksikön tuotteiden optimointia. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 14 Neste Oil. 2011. Sisäinen ohje OQD-715.
- 15 Verkkodokumentti.
www3.lut.fi/webhotel/teke/ktp/2012/KTPkeski2012.pdf. Luettu 26.6.2012.
- 16 Hase, A., Komppa, V., Lokio, A., Riistama, K., Vuori, M. 1990. Suomen kemianteollisuus. Mikkeli: Länsi-Savo Oy.
- 17 Neste Oil. 2008. Sisäinen ohje OQD-5600.
- 18 Neste Oil. 2009. Sisäinen ohje OQD-1632.

- 19 Neste Oil. 2006. Sisäinen ohje OQD-1773.
- 20 Neste Oil. 2007. Sisäinen ohje OQD-1735.
- 21 Neste Oil. 2011. Sisäinen ohje OQD-1026.
- 22 Neste Oil. 2008. Sisäinen ohje OQD-8012.
- 23 Neste Oil. 2006. Sisäinen ohje OQD-1596.
- 24 Neste Oil. 2010. Sisäinen ohje OQD-6624.
- 25 Rayner-Canham, G., Overton, T. 2010. Descriptive inorganic chemistry. New York: W.H. Freeman and Company.
- 26 Zumdahl, S.S., Zumdahl, S.A. 2010. Chemistry. Belmont, Brooks Cole.
- 27 Weissermel, K., Arpe, H-J. 1997. Industrial organic chemistry. Weinheim. VCH Verlagsgesellschaft mbH.

BERP3:n apumuuttujien kaavat

Tuorevety

```
IF ((AI10328A_M.DBCV > 0.1) AND (FCA10334_VE.DBCV > 1))
THEN R_BRP3H2SIS1 =
FCA10334*1000*AI10328A_H2/100*2.016/AI10328A_M
ELSE R_BRP3H2SIS1 = 0;
```

Rikitysvety

```
IF (FC10490_VE.DBCV > 1)
THEN R_BRP3SIS2 = FC10490*45.9/100*2.016/21.2
ELSE R_BRP3SIS2 = 0;
```

```
R_BRP3H2SISYHT = R_BRP3H2SIS1+ R_BRP3SIS2;
```

```
IF (PCA10205A_VE.DBCV > 1)                                KARP3:een
THEN $L190.DBCV.V = FI10402
ELSE $L190.DBCV.V = 0;
```

```
IF (PCA10205A_VE.DBCV > 1)                                GB17381/2:lle
THEN $L191.DBCV.V = FI10510
ELSE $L191.DBCV.V = 0;
```

```
IF (PCA10510_VE.DBCV > 1)                                GB17381/2:lle
THEN $L192.DBCV.V = FC10512/1000
ELSE $L192.DBCV.V = 0;
```

```
IF (PCA10501C_VE.DBCV > 1)                                Polttokaasuksi
THEN $L193.DBCV.V = FI10511
ELSE $L193.DBCV.V = 0;
```

```
IF (PCA10501_VE.DBCV > 1)                                Polttokaasuksi
THEN $L194.DBCV.V = FI10503
ELSE $L194.DBCV.V = 0;
```

\$L245.DBCV.V = FI11311

BERP3:n ohitus

IF (AI10328C_M.DBCV. > 0.1)

THEN R_BRP3H2ULOS =

(\$L190.DBCV.V+\$L191.DBCV.V+\$L192.DBCV.V+\$L193.DBCV.V+\$L194.DBCV.
V-\$L245.DBCV.V)*1000*AI10328C_H2/100*2.016/AI10328C_M

ELSE R_BRP3H2ULOS = 0;

Apumuuttujan R_REF3H2LAHTO kaava

```
IF (FCA10334_VE.DBCV > 1)
THEN $L240.DBCV.V = FCA10334
ELSE $L240.DBCV.V = 0
```

```
IF (FCA9102_VE.DBCV > 1)
THEN $L241.DBCV.V = FCA9102
ELSE $L241.DBCV.V = 0;
```

```
IF (PC11527_VE.DBCV > 1)
THEN $L242.DBCV.V = FI11516/1000
ELSE $L242.DBCV.V = 0;
```

```
IF (FC368_VE.DBCV > 1)
THEN $L243.DBCV.V = FC368
ELSE $L243.DBCV.V = 0;
```

```
IF (FC10397_VE.DBCV > 1)
THEN $L244.DBCV.V = FC10397
ELSE $L244.DBCV.V = 0;
```

```
R_REF3H2LAHTO = $L240.DBCV.V + $L241.DBCV.V + $L242.DBCV.V +
$L243.DBCV.V + $L244.DBCV.V
```

```
IF (PC10370_VE.DBCV > 1)
THEN $L245.DBCV.V = FI11311
ELSE $L245.DBCV.V = 0;
```

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

```
IF (PC458B_VE.DBCV > 1)
THEN $L247.DBCV.V = FI11312/1000
ELSE $L247.DBCV.V = 0;
```

R_BRP3H2OHITUS = (\$L246.DBCV.V -\$L245.DBCV.V+\$L247.DBCV.V) *1000

IF (R_BRP3H2OHITUS < 0)

THEN R_BRP3H2OHITUS = (\$L246.DBCV.V-\$L245.DBCV.V+\$L247.DBCV.V) *
1000* AI10328A_H2/100*2.016/AI10328A_M

SYRP:n apumuuttujien kaavat

SYRP GB-34001/S imusäiliö

```
IF ((AI34022.DBCV > 0.1) AND (FCA34063_VE.DBCV > 1))
THEN R_SYRPH2SIS1 = FCA34063*1000*AI34008D/100*2.016/AI34022
ELSE R_SYRPH2SIS1 = 0;
```

VK tuorevety

```
IF ((AI324_1_MOLWT.DBCV > 0.1) AND (FC30008_VE.DBCV > 1))
THEN R_SYRPH2SIS2 = FC30008*AI324_1_H2/100*2.016/ AI324_1_MOLWT
ELSE R_SYRPH2SIS2 = 0;
```

VHVI pursutusvety

```
IF ((VHVI_KKMOLPAINO.DBCV > 0.1) AND (FC36016_VE.DBCV > 1))
THEN R_SYRPH2SIS3 = FC36016*AI36007/100*2.016/VHVI_KKMOLPAINO
ELSE R_SYRPH2SIS3 = 0;
```

VK pursutusvety

```
IF ((AI324_2_MOLWT.DBCV > 0.1) AND (HC362_VE.DBCV > 1))
THEN R_SYRPH2SIS4 = (FIA311*1000-FC62324-FC85324) *
AI324_2_H2/100*2.016/AI324_2_MOLWT
ELSE R_SYRPH2SIS4 = 0;
```

PÖY pursutusvety

```
IF ((R_POYMEMBSYOTM.DBCV > 0.1) AND (FC71149_VE.DBCV > 1))
THEN
R_SYRPH2SIS5=FC71149*1000*AI71035A_1B/100*2.016/R_POYMEMBSYOTM
ELSE R_SYRPH2SIS5 = 0;
```

PÖY tuorevety

```
IF ((AI71035B_4G.DBCV > 0.1) AND (FC71088_VE.DBCV > 1))
THEN R_SYRPH2SIS6 = FC71088*1000*AI71035B_4A/100*2.016/
AI71035B_4G
ELSE R_SYRPH2SIS6 = 0;
```

```
R_SYRPH2SISYHT = R_SYRPH2SIS1 + R_SYRPH2SIS2 + R_SYRPH2SIS3 +  
R_SYRPH2SIS4 + R_SYRPH2SIS5 + R_SYRPH2SIS6
```

Pursutusvety KARP2

```
IF ((AI34021.DBCV > 0.1) AND (FC34104_VE.DBCV > 1))  
THEN R_SYRPH2ULOS1 = FC34104*1000*AI34008A/100*2.016/AI34021  
ELSE R_SYRPH2ULOS1 = 0;
```

Tuorevety KARP-2/KARP3

```
IF ((AI34022.DBCV > 0.1) AND (FC34103_VE.DBCV > 1))  
THEN R_SYRPH2ULOS2 = FC34103*1000*AI34008D/100*2.016/AI34022  
ELSE R_SYRPH2ULOS2 = 0;
```

Pursutusvety KARP3

```
IF ((AI34021.DBCV > 0.1) AND (FC34099_VE.DBCV > 1))  
THEN R_SYRPH2ULOS3 = FC34099*AI34008A/100*2.016/AI34021  
ELSE R_SYRPH2ULOS3 = 0;
```

Pursutus polttokaasuun

```
IF ((AI34021.DBCV > 0.1) AND (FC34035_VE.DBCV > 1))  
THEN R_SYRPH2ULOS4 = FC34035*1000*AI34008A/100*2.016/AI34021  
ELSE R_SYRPH2ULOS4 = 0;
```

```
R_SYRPH2ULOSYHT = R_SYRPH2ULOS1 + R_SYRPH2ULOS2 + R_SYRPH2ULOS3  
+ R_SYRPH2ULOS4
```

KARP2:n apumuuttujien kaavat

SYRP pursutusvety

```
IF ((AI34021.DBCV > 0.1) AND (FC34104_VE.DBCV > 1))  
THEN R_KRP2H2SIS1 = FC34104*1000*AI34008A/100*2.016/AI34021  
ELSE R_KRP2H2SIS1 = 0;
```

SYRP tuorevety

```
IF ((AI34022.DBCV > 0.1) AND (FC34103_VE.DBCV > 1))  
THEN R_KRP2H2SIS2 = FC34103*1000*AI34008D/100*2.016/AI34022  
ELSE R_KRP2H2SIS2 = 0;
```

KARP3 tuorevety

```
IF ((AI10423_MOLWT.DBCV > 0.1) AND (FC2828_VE.DBCV > 1))  
THEN R_KRP2H2SIS3 =  
FC2828*1000*AI10423_H2/100*2.016/AI10423_MOLWT  
ELSE R_KRP2H2SIS3 = 0;
```

```
R_KRP2H2SISYHT = R_KRP2H2SIS1 + R_KRP2H2SIS2 + R_KRP2H2SIS3
```

Pursutus polttokaasuun

```
IF ((KRP2_KK_M.DBCV > 0.1) AND (PCA2806_VE.DBCV > 1))  
THEN R_KRP2H2ULOS = FI2808*AIA34008_3_H2/100*2.016/KRP2_KK_M  
ELSE R_KRP2H2ULOS = 0;
```

KARP3:n apumuuttujien kaavat

```
IF (PC34050_VE.DBCV > 1)
THEN $L230.DBCV.V = FI10442    Tässä luodaan ehto vedylle
KARP3→SYRP
ELSE $L230.DBCV.V = 0;
```

Tuorevety

```
IF ((AI10423_MOLWT.DBCV > 0.1) AND (FI10402.DBCV > 0.1))
THEN R_KRP3H2SIS1 = (FI10402- $L230.DBCV.V)*1000*AI10423_H2/100*
2.016/AI10423_MOLWT
ELSE R_KRP3H2SIS1 = 0;
```

Membraanin vety

```
IF ((KRP3_H2TU_M.DBCV > 0.1) AND (HC10405_VE.DBCV > 1))
THEN R_KRP3H2SIS2 =
FIA10471*1000*AI10421_H2/100*2.016/KRP3_H2TU_M
ELSE R_KRP3H2SIS2 = 0;
```

SYRP pursutusvety

```
IF ((AI34021.DBCV > 0.1) AND (FC34099_VE.DBCV > 1))
THEN R_KRP3H2SIS3 = FC34099*AI34008A/100*2.016/AI34021
ELSE R_KRP3H2SIS3 = 0;
```

SYRP tuorevety

```
IF ((AI34022.DBCV > 0.1) AND (FC34103_VE.DBCV > 1))
THEN R_KRP3H2SIS4 = FC34103*1000*AI34008D/100*2.016/AI34022
ELSE R_KRP3H2SIS4 = 0;
```

```
R_KRP3H2SISYHT = R_KRP3H2SIS1 + R_KRP3H2SIS2 + R_KRP3H2SIS3 +
R_KRP3H2SIS4
```

Pursutus polttokaasuun

```
IF ((AI10414_MOLWT > 0.1) AND (FC10475_VE.DBCV > 1))
THEN R_KRP3H2ULOS1 =
FC10475*1000*AI10414_H2/100*2.016/AI10414_MOLWT
ELSE R_KRP3H2ULOS1 = 0;
```

Pursutus soihtuun

```
IF ((AI10414_MOLWT > 0.1) AND (PC10482_VE.DBCV > 1))
THEN R_KRP3H2ULOS2 =
FC10475*1000*AI10414_H2/100*2.016/AI10414_MOLWT
ELSE R_KRP3H2ULOS2 = 0;
```

Pursutus membraan

```
IF ((AI10414_MOLWT > 0.1) AND (FC10485_VE.DBCV > 1))
THEN R_KRP3H2ULOS3 =
FC10485*1000*AI10414_H2/100*2.016/AI10414_MOLWT
ELSE R_KRP3H2ULOS3 = 0;
```

Rikitysvety BERP3

```
IF (FC10490_VE.DBCV > 1)
THEN R_KRP3H2ULOS4 = FC10490*45.9/100*2.016/21.2
ELSE R_KRP3H2ULOS4 = 0;
```

```
R_KRP3H2ULOSYHT = R_KRP3H2ULOS1 + R_KRP3H2ULOS2 + R_KRP3H2ULOS3
+R_KRP3H2ULOS
```

VK:n apumuuttujien kaavat

Tuorevety

```
IF ((AI324_1_MOLWT.DBCV > 0.1) AND (FC368_VE.DBCV > 1) OR  
(FC30007_VE.DBCV > 1) OR (FI441.DBCV > 0.1))  
THEN R_VKH2SIS = R_VKVETY*1000*AI324_1_H2/100*2.016/  
AI324_1_MOLWT  
ELSE R_VKH2SIS = 0;
```

Pursutus SYRP

```
IF ((AI324_2_MOLWT.DBCV > 0.1) AND (HC362_VE.DBCV > 1))  
THEN R_VKH2ULOS1 = FIA311*1000*AI324_2_H2/100*2.016/  
AI324_2_MOLWT  
ELSE R_VKH2ULOS1 = 0;
```

Pursutus polttokaasuun

```
IF ((AI324_2_MOLWT.DBCV > 0.1) AND (HC363_VE.DBCV > 1))  
THEN R_VKH2ULOS2 = FIA313*1000*AI324_2_H2/100*2.016/  
AI324_2_MOLWT  
ELSE R_VKH2ULOS2 = 0;
```

```
R_VKH2ULOSYHT = R_VKH2ULOS1 + R_VKH2ULOS
```

KAAPO:n apumuuttujien kaavat

VY2 vety

```
IF ((R_VY2H2 > 0.1) AND (PC497_VE.DBCV > 1) AND (FC8503_VE.DBCV > 1))
```

```
THEN R_KAAPH2SIS1 = (FC8503*1000*R_VY2H2/100*2.016/R_VY2H2M) *  
(FI448/R_VYH2GB406LAHTO)
```

```
ELSE R_KAAPH2SIS1 = 0;
```

VY vety

```
IF ((R_VYF404WH2 > 0.1) AND (PC409_VE.DBCV > 1) AND  
(FC8503_VE.DBCV > 1))
```

```
THEN R_KAAPH2SIS2 = ((FC8503*1000*R_VYF404WH2/100*2.016)/  
(VY_VETY_N2/100*28.02 + VY_VETY_C1/100*16.04 +  
R_VYF404WH2/100*2.016)) * (R_VYH2GB406TULO/ R_VYH2GB406LAHTO)
```

```
ELSE R_KAAPH2SIS2 = 0;
```

```
R_KAAPH2SISYHT = R_KAAPH2SIS1 + R_KAAPH2SIS2
```

Pursutus VK/polttikaasu

```
IF ((KAAP_KK_M.DBCV > 0.1) AND (PC8506_VE.DBCV > 1))
```

```
THEN R_KAAPH2ULOS = FI8524*1000*AI8512/100*2.016/KAAP_KK_M
```

```
ELSE R_KAAPH2ULOS = 0
```