



**Aalto-yliopisto**  
Kemian tekniikan  
korkeakoulu

**Kemian tekniikan korkeakoulu**  
**Kemian tekniikan tutkinto-ohjelma**

**Jenni Rautanen**

**KRAKKAUSPROSESSIN TISLAUSOSAN OPEROINNIN TAVOITEMITTARISTO**

**Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin  
tutkintoa varten Espoossa 13.3.2015.**

**Valvoja**

**Professori Ville Alopaeus**

**Ohjaajat**

**Diplomi-insinööri Esa Tamminen**

**Diplomi-insinööri Mika Kulin**

---

**Tekijä** Jenni Rautanen

---

**Työn nimi** Krakkausprosessin tislauksen operoinnin tavoitemittaristo

---

**Laitos** Biotekniikan ja kemian tekniikan laitos

---

**Professori** Tehdassuunnittelu

**Professuurikoodi** KE-107

---

**Työn valvoja** Professori Ville Alopaeus

---

**Työn ohjaajat** DI Esa Tamminen, DI Mika Kulin

---

**Päivämäärä** 13.3.2015

**Sivumäärä** 114 + 13

**Kieli** Suomi

---

## Tiivistelmä

Tislaus on yleisin ja eniten energiaa kuluttava erotusmenetelmä. Tässä diplomityössä käsitellään tislauksen kannattavuutta operoinnin tavoitemittariston ja energiankulutuksen minimoinnin näkökulmista. Tavoitemittariston kohde on Neste Oilin Porvoon jalostamon Pohjaöljyn käsittely-yksikön MHC-tislausosa. Mittariston pohjana käytetään yksikön suunnitteluvaiheessa Aspen Plus -ohjelmalla tehtyä steady state -simulointimallia. Kehitetty tavoitemittaristo on tarkoitettu päivittäisen operoinnin tueksi ohjaamo-operaattorin käyttöön.

Kirjallisuusosassa lähestytään tislauksen operoinnin kannattavuutta energiankulutuksen minimoinnin kautta. Tislauskolonnin termodynaaminen analyysi on pinch-analyysiin pohjautuva menetelmä, jonka avulla suunnitteluvaiheessa tiedetään, kuinka lähellä ollaan prosessin parasta mahdollista suorituskykyä. Ennen suunnitteluvaihetta tunnistetaan lämmönsiirtojärjestelmän lämpökuorman vähimmäismäärät. Menetelmässä hyödynnetään kolonniprofiileja eli kuvaajia, jotka havainnollistavat tislaukskolonnin energiantarvetta välipohjakohtaisesti. Profiilityyppejä ovat kolonnin yhdistelmäkäyrä sekä höyry- ja nestevirtakäyrä.

Soveltavan osan aluksi käydään läpi Pohjaöljyn käsittely-yksikön toimintaa, sekä erityisesti sen MHC-tislausosaa. MHC-tislausosasta selvitetään prosessin kulku, suunnittelu- ja tuotantomäärät, laatuvaatimukset ja -mittaukset, muuttujat ja rajoitteet sekä kate.

MHC-tislausosan simulointimallia verrataan todelliseen prosessiin tislaukskolonnien rakenteiden sekä virtausmäärien osalta. Lisäksi tarkastellaan todellisen prosessin rajoitteita. Simulointimallin käyttäytymistä testataan kolmella simulointikokeella, jotka edustavat tyypillisiä muutoksia MHC-tislausosassa. Kokeista kahdessa jäljitellään prosessihäiriöitä, jotka ovat muutos syötön laadussa ja määrässä. Kolmannessa kokeessa muutetaan petrolituotteen laatua.

Tavoitemittaristoon luotiin Excel-pohjainen valvomonäytön kaltainen käyttöliittymä, jonka avulla simulointeja voidaan ajaa. Tavoitemittaristoa käyttämällä operaattori voi tunnistaa todellisessa prosessissa tapahtuneiden muutosten aiheuttamia vaikutuksia sekä arvioida uusia ajotavoitteita niiden jälkeen. Samaa lähestymistapaa simulointimallista tavoitemittaristoksi voidaan soveltaa myös muihin Porvoon jalostamon yksiköihin.

---

**Avainsanat** Tislaus, öljynjalostus, termodynaaminen analyysi, steady state -simulointi

---

---

<b>Author</b>	Jenni Rautanen	
<b>Title of thesis</b>	Monitoring the distillation section of a cracking process	
<b>Department</b>	Department of Biotechnology and Chemical Technology	
<b>Professorship</b>	Plant Design	<b>Code of professorship</b> KE-107
<b>Thesis supervisor</b>	Professor Ville Alopaeus	
<b>Thesis advisors</b>	M.Sc. Esa Tamminen, M.Sc. Mika Kulin	
<b>Date</b>	<b>Number of pages</b>	<b>Language</b>
13.3.2015	114 + 13	Finnish

---

## Abstract

Distillation is the most common and energy-consuming separation method. This thesis handles the cost-effectiveness of distillation from the viewpoints of process monitoring and energy consumption minimization. A distillation monitoring tool was developed for the MHC distillation section of the Residual Hydrocracking Unit at Neste Oil Porvoo refinery. An Aspen Plus steady state simulation model was used as the basis of the monitoring tool. The tool is intended for the support of every-day operations carried out by the operators.

The literature review approaches cost-effectiveness of distillation through the minimization of energy consumption. Thermodynamic analysis of a distillation column is a Pinch analysis based method, which tells already in the unit design phase, how close the best performance of the process is. Even before the design phase, the minimum heat load in the heat exchanger network is recognized. The method utilizes column profiles, i.e. graphs, that illustrate the tray-wise energy consumption. Different column profile types are Column Grand Composite Curve and Column Composite Curve.

The experimental part starts with a description of the Residual Hydrocracking Unit and especially its MHC distillation section. Of the distillation section, operation, planning and production quantities, quality requirements, variables, limitations and its profit are covered.

The simulation model of the MHC distillation section is compared to the real process through the column internals and flow quantities. In addition, the limitations of the real process are evaluated. The behaviour of the simulation model is tested with three simulation trials which represent typical changes in the MHC distillation section. Two of the experiments imitate disturbances in the process: changes in feed quality and amount. The third experiment alters kerosene quality.

An Excel-based user interface was created for the monitoring tool to run simulations and to imitate operation room controls. By using the tool, the operator can identify influences caused by changes in the real process and evaluate new run targets after the changes. The same approach from a simulation model to a monitoring tool can be applied also in other units of the Porvoo refinery.

---

**Keywords** Distillation, oil refining, thermodynamic analysis, steady state simulation

---

## **Esipuhe**

Tämä diplomityö on tehty Neste Oilin Porvoon jalostamon kehitysosastolla 1.9.2014–28.2.2015. Haluan kiittää Neste Oilia mahdollisuudesta tehdä diplomityö monipuolisesta aiheesta, jolla on läheinen yhteys todellisuuteen. Olosuhteet työnteolle olivat erinomaiset.

Haluan kiittää ohjaajiani Esa Tammista ja Mika Kulinia Neste Oililla. Erityisesti kiitän Esaa säännöllisestä ja selkeästä ohjauksesta sekä laajemman näkökulman tuomisesta.

Esitän kiitokseni professori Ville Alopaeukselle työn valvomisesta ja kommenteista työn aikana.

Lopuksi haluan osoittaa kiitollisuuteni vanhemmilleni tuesta opiskeluissani. Kiitos myös SB Vantaan naisten edustusjoukkueelle vapaa-aikani hallitsemisesta sekä joukkueessa mukana olleille tärkeistä asioista elämässäni.

Espoossa 13.3.2015

Jenni Rautanen

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	1
1.1	Työn tausta .....	1
1.2	Työn tavoitteet.....	1
1.3	Työn rakenne .....	2
	KIRJALLISUUSOSA.....	3
2	Tislauskolonnin termodynaaminen analyysi .....	3
2.1	Taustaa kirjallisuustarkastelulle .....	3
2.1.1	Pinch-analyysi .....	4
2.1.2	Eksergia.....	5
2.1.3	Termodynaaminen minimitila .....	5
2.1.4	Kolonnin välipohjan tehontarve .....	6
2.2	Kolonniprofiilit .....	7
2.2.1	Yhdistelmäkäyrä.....	7
2.2.2	Höyry- ja nestevirtakäyrät .....	10
2.3	Kuvaajien piirtäminen .....	13
2.3.1	Yhdistelmäkäyrä.....	15
2.3.2	Höyry- ja nestevirtakäyrät .....	18
2.4	Kolonneihin tehtävien muutoksien järjestys.....	21
2.4.1	Palautussuhteen muuttaminen .....	22
2.4.2	Syötön esilämmityksen tai -jäähdytyksen lisäys.....	23
2.4.3	Sivukiehuimen ja -lauhduksen lisäys.....	24
2.5	Kolonnien integrointi taustaprosessiin .....	25
2.5.1	Yhden kolonnin integrointi .....	25
2.5.2	Usean kolonnin integrointi .....	28
2.6	Kolonnin termodynaamisen analyysin oletusten tarkistusmenetelmiä .....	30
2.7	Analyysin hyödyt .....	32
	SOVELTAVA OSA.....	35
3	Pohjaöljyn käsittely -yksikkö.....	35
3.1	Operaattorin, käyttöinsinöörin ja tuotantomestarin tehtävät.....	35

3.2	Laadun ja kulutuksen seurantatavat ja -järjestelmät.....	37
3.3	Yksikön kuvaus .....	39
4	MHC-tislausosa .....	43
4.1	Laatuvaatimukset .....	44
4.1.1	Laadun seuranta.....	45
4.1.2	Laatuennusteiden laskenta.....	46
4.2	Syötön määrittely .....	47
4.2.1	Tyhjötislattu raskas kaasuöljy KART .....	49
4.2.2	Hydrattu raskas kaasuöljy KARH .....	51
4.2.3	MHC:n 1. vaiheen reaktorin tuote .....	51
4.3	Tuotantomäärät .....	52
4.4	Rajoitteet ja muuttujat .....	58
4.4.1	Rajoitteet .....	58
4.4.2	Prosessimuuttujat .....	59
4.5	Käyttöhyödykkeet .....	60
4.6	Katetarkastelu.....	62
4.6.1	Katteen laskenta tuotteelle .....	62
4.6.2	Paras mahdollinen saanto .....	65
4.6.3	Energiankäytön optimointi .....	67
5	Simulointi .....	68
5.1	Simulointimalli .....	68
5.2	Optimointia rajoittavat käytännön tekijät.....	81
5.3	Syötön koostumuksen muutos simulointikokeella .....	86
5.3.1	Muutos ja sen vaikutukset.....	86
5.3.2	Operointi ja tulokset .....	88
5.4	Syötön määrän muutos simulointikokeella .....	94
5.4.1	Muutos ja sen vaikutukset.....	94
5.4.2	Operointi ja tulokset .....	96
5.5	Tuotelaadun muutos simulointikokeella .....	102
5.6	Tavoitemittaristo.....	105
6	Johtopäätökset.....	110

7 Yhteenveto.....	113
Lähteet.....	115

## LIITTEET

Liite 1. Tuotantolinja 4:n ajo-opaste

Liite 2. Simuloinnin ajotuloste, muutos syöttölaadussa

Liite 3. Simuloinnin ajotuloste, muutos syötön määrässä

Liite 4. Koch-Glitsch KG-TOWER Software -mitoitustulokset

Liite 5. Simuloinnin ajotuloste, muutos petrolituotteen leimahduspisteessä

## Symboliluettelo

$B$	Alite
$d$	Deficit, (teho)vaje
$D$	Tisle
$F$	Syöttö
$h$	Heavy, raskas
$\dot{m}$	Massavirta, t/h
$l$	Light, kevyt
$L$	Liquid, neste
$p$	Paine, kPa(a)
$P$	Teho, kW
$Q$	Teho, MW
$T$	Lämpötila, °C
$T_{FP}$	Leimahduspiste, °C
$T_L'$	Lauhduttimen nesteen kyllästyslämpötila, °C
$v$	Vapour, kaasu
$x$	Nesteen mooliosuus
$y$	Kaasun mooliosuus
*	Tasapainokoostumus



## Lyhenneluettelo

ASTM	ASTM International, aiemmin the American Society for Testing and Materials, amerikkalainen standardi
ASW	Aspen Simulation Workbook
ATM	Atmosfäärinen tislau
BE	Bensiini
BERP3	Bensiinin rikinpoistoyksikkö 3
BIY	Bitumiyksikkö
CCC	Column Composite Curve, kolonnin höyry- tai nestevirtakäyrä
CGCC	Column Grand Composite Curve, kolonnin yhdistelmäkäyrä
EN	European Standard, eurooppalainen standardi
GCC	Grand Composite Curve, pinch-analyysin yhdistelmäkäyrä
FC	Virtausmittaus ja -säätö
FCC	Fluid catalytic cracker, Leijukatalyyttinen krakkausyksikkö
FI	Virtausmittaus
FSC	Feed Stage Correction, syöttöpohjan korjaus
HC	Käsiohjaus
HHV	Higher Heating Value, ylempi lämpöarvo
HP	High Pressure, korkea paine
HT	High Temperature, korkea lämpötila
ISBL	Inside battery Limits, prosessialue
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardointijärjestö)
KA	Kaasuöljy
KAK	Kevyt kaasuöljy

KAKT	Tyhjötislattu kevyt kaasuöljy
KARH	Hydrattu raskas kaasuöljy
KARP3	Kaasuöljyn rikinpoistoyksikkö 3
KART	Tyhjötislattu raskas kaasuöljy
KTY	Kaasuöljytislausyksikkö
LCA	Pinnan korkeuden mittaus ja säätö, hälytys
LCF	Lummus Cities Fining -yksikkö
LHV	Lower Heating Value, alempi lämpöarvo
LIMS	Laboratory Information Management System
LP	Low Pressure, matala paine
LT	Low Temperature, matala lämpötila
m-%	Massaprosentti
MDF	Minimum Driving Force, pienin ajava voima
MHC	Mild Hydrocracker -yksikkö
MP	Medium Pressure, keskitasoinen paine
MT	Medium Temperature, keskitasoinen lämpötila
OSBL	Outside Battery Limits, varastoalue
PC	Painemittaus ja säätö
PDI	Paine-eron mittaus
PI(A)	Painemittaus (hälytys)
PÖY	Pohjaöljyn käsittely -yksikkö
REF3	Bensiinin reformointiyksikkö 3
SDA	Solvent Deasphalting, Syötön esikäsittely -yksikkö
SG	Specific Gravity, ominaispaino
SYRP	Syöttö-öljyn rikinpoistoyksikkö

TBP	True Boiling Point, todellinen kiehumispiste
TC	Lämpötilamittaus ja -säätö
TI	Lämpötilamittaus
til-%	Tilavuusprosentti
TT2	Tyhjötislausyksikkö 2
UMS	Utility Management System, käyttöhyödykkeiden seurantajärjestelmä
VE	Venttiilin asento
VY2	Vedyn tuotantoyksikkö 2
ZC	Asennon mittaus ja säätö
ÖP	Polttoöljy

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Neste Oil on korkealaatuisiin puhtaamman liikenteen polttoaineisiin keskittyvä jalostus- ja markkinointiyhtiö. Maailmanlaajuisesti Neste Oililla on tuotantolaitoksia viidessä eri maassa. Suomessa toimii Porvoon jalostamo, jonka viidestä tuotantolinjasta yksi sijaitsee Naantalissa. Porvoossa jalostustoiminta alkoi vuonna 1965 ja Naantalissa vuonna 1957. Raakaöljyn jalostuskapasiteetti Porvoossa on noin 200 000 barreliä päivässä eli noin 12,5 miljoonaa tonnia vuodessa. Porvoon jalostamon neljä tuotantolinjaa koostuvat yli 40 prosessiyksiköstä. Yksi uusimmista suurista investoinneista on Tuotantolinja 4, jolla tuotetaan dieseliä. Vuonna 2017 Tuotantolinja 4:lle valmistuu Syötön esikäsittely -yksikkö (SDA). (Neste Oil, 2014a)

Tuotantolinja 4:ään kuuluu Pohjaöljyn käsittely -yksikkö (PÖY) ja Vedyn tuotantoyksikkö 2 (VY2). VY2 on maailman suurimpia vety-yksiköitä (Vuori, 2012). Se on vahvasti sidoksissa Pohjaöljyn käsittely -yksikköön, joka kuluttaa eniten vetyä jalostamalla. Tuotantolinja 4:llä jalostetaan rikillisestä pohjaöljystä erityisesti korkealaatuista rikitöntä citydieseliä. Syöttönä Pohjaöljyn käsittely -yksikköön käytetään raakaöljyn tyhjötislattua pohjatuotetta. Vetykrakkausosassa rikkiä, typpeä ja metalleja poistetaan pohjaöljystä vedyn ja katalyytin avulla. Jakotuotekolonnin päätuote on petroli- ja kaasuöljyjakeista valmistettava diesel.

## 1.2 Työn tavoitteet

Kirjallisuusosan tavoitteena on tarkastella operoinnin kannattavuuden parantamista energiankulutuksen vähentämisen kautta. Soveltavan osan tavoitteena puolestaan on kehittää steady state -simulointimalliin pohjautuva tavoitemittaristo Pohjaöljyn käsittely -yksikön MHC-tislausosan operatiiviseen seurantaan. Mallin avulla saadaan ohjaamo-operaattorin käyttöön vuorokohtainen operoinnin onnistumista kuvaava

mittaristo, jolle tehdään yksinkertainen käyttöliittymä. Tavoitemittariston testaus rajataan käsittämään kolmea erilaista muutostilannetta. Tilanteita ovat muutos syöttölaadussa, muutos syötön määrässä sekä tuotelaatumuutos. Tavallisesti yksikköä säätää tietokonesäätö. Yksikön toimintaa tarkastellaan ilman tietokonesäätöjen vaikutusta, jotta operaattorin toiminnan painoarvo on suuri.

### **1.3 Työn rakenne**

Kirjallisuusosassa käsitellään energiankulutuksen minimointia tislauskolonnin termodynaamisen analyysin avulla luvussa 2. Soveltava osa koostuu luvuista 3–5. Luvussa 3 käydään läpi Pohjaöljyn käsittely -yksikön päivittäisen toiminnan työntekijäryhmiä ja järjestelmiä. Luvussa 4 tarkastellaan MHC-tislausosan toimintaa laadun, syötön määrittelyn, tuotantomäärien sekä energiankulutuksen kautta. Luvussa 5 perehdytään MHC-tislausosan simulointimallin toimintaan ja todellisen prosessin rajoitteisiin suhteessa simulointimalliin. Lisäksi luvussa 5 testataan simulointimallin toimintaa kolmella kokeella ja esitellään tavoitemittariston toiminta ja käyttöliittymä. Lopuksi luvussa 6 kerrotaan tehdyt johtopäätökset ja esitetään suosituksia työn pohjalta.

# KIRJALLISUUSOSA

## 2 Tislauskolonnin termodynaaminen analyysi

### 2.1 Taustaa kirjallisuustarkastelulle

Tämän työn tavoitteena on steady state -simuloinnin hyödyntäminen tislausosan operoinnin tukena. Työssä keskitytään käytännönläheiseen operoinnin optimointiin prosessin ollessa vakaassa tilassa. Kirjallisuustarkastelun jälkeen todettiin, ettei aiheesta löydy merkittävää kirjallisuutta. Dynaamista simulointia hyödynnetään kirjallisuuden mukaan prosessin alas- ja ylösajojen sekä prosessihäiriöiden mallintamiseen esimerkiksi koulutussimulaattoreissa. Steady state -simulointia puolestaan on hyödynnetty prosessin optimointiin suunnitteluvaiheessa joko revamp-tilanteissa tai kokonaan uusille yksiköille (Shyamsundar ja Rangaiah, 2000; More, *et al.*, 2010), muttei jo olemassa oleville, käynnissä oleville yksiköille.

Tislaus on yleisin ja eniten energiaa kuluttava erotusmenetelmä (Kemp, 2007). Koska simuloinnin perimmäinen tarkoitus on operoinnin kannattavuuden maksimointi, lähestytään kannattavuuden näkökulmaa energiankulutuksen minimoinnin kannalta. Energiankulutusta tarkastellaan tislauskolonnin termodynaamisella analyysillä. Se on pinch-analyysistä johdettu menetelmä, jolla on runsaasti analogioita pinch-analyysiin. Dhole ja Linnhoff (1993) esittelivät termodynamiikkaan perustuvan menetelmän tislauskolonnien suunnitteluun, jossa lauhduttimen ja kiehuttimen lämpökuormalle selvitetään vähimmäismäärät, tavoitteet, kyseisellä lämpötila-alueella jo ennen suunnitteluvaihetta. Näin suunnitteluvaiheessa tiedetään, kuinka lähellä ollaan kyseisen prosessin parasta mahdollista suorituskykyä.

Kolonnin termodynaaminen analyysi on kuvaajia laajasti hyödyntävä menetelmä. Kuvaajien tarkoituksena on osoittaa lämmönsiirtojärjestelmän kohdat, joihin muutoksia tekemällä saadaan prosessista tehokkaampi. Menetelmällä

kolonniprofiileja voidaan piirtää konvergoidun simuloinnin perusteella monikomponenttiselle, epäideaaliselle tislaukselle. Kolonniprofiililla (*Column Profile*) tarkoitetaan tässä yhteydessä kuvaajaa, jolla havainnollistetaan tislauksolonnin pohjakohtaista energiantarvetta. Kolonniprofiilissa pystyakselilla on lämpötila  $T$  (°C) ja vaaka-akselilla teho  $P$  (kW). Tätä ennen kolonniprofiilit olivat olleet teoreettisia käsitteitä, jotka sopivat ainoastaan ideaaliseen binääritislaukseen.

Analyysin etuja muihin menetelmiin on sen havainnollisuus ja läheinen suhde termodynamiikan ymmärtämiseen. Kuvaajat kertovat prosessin todellisesta tilanteesta, jolloin tarkastelun tekijän tulee ymmärtää kolonnin toimintaa. Toisaalta kuvaajat auttavat säilyttämään käsityksen kolonnin tilasta, jolloin käyttäjä tietää, mihin muutokset kohdistuvat. Menetelmä on varsin yksinkertainen, ja sen avulla päästään käsiksi sekä energiankulutukseen että kustannuksiin. Jotta energiankulutusta voidaan vähentää, on ensin tiedettävä missä sitä kuluu ja mihin. Kolonnin termodynaamisella analyysillä nähdään nopeasti muutostarve, ja sen jälkeen tehtyjen muutosten vaikutus erotustehokkuuteen. Analyysin taustatietoina vaaditaan simulointidataa kolonnin höyry- ja nestevirroista. Yhden simuloinnin perusteella voidaan tunnistaa suurimmat parannuskohteet.

### **2.1.1 Pinch-analyysi**

Pinch-analyysi on teollisten prosessien energiankulutuksen minimointiin kehitetty työkalu. Siinä prosessin jäähdytys- ja lämmitystarpeista tarkastellaan, kuinka paljon energiatarpeesta voidaan kattaa prosessin sisäisellä lämmönsiirrolla ja kuinka paljon tarvitaan ulkopuolista jäähdytystä ja lämmitystä. Pinch-analyysin peruselementtejä ja sen soveltamista prosessisuunnittelussa on esitelty kirjallisuudessa (Linnhoff, 1993; Kemp, 2007).

Neste Oililla on tehty aiemmin useita pinch-analyysejä, ja pinch-analyysiä on käsitelty Neste Oilille tehdyissä lopputöissä jo aiemmin useaan kertaan. Olli Oksanen käsitteli diplomityössään pinch-teknologian soveltamista tislauksyksikköön (1990) ja Matti Laakso lämmitys- ja jäähdytystehtävien yhdistelyä raakaöljyn

tislausyksiköissä sekä tyhjötislausyksikössä (1991). Pinch-analyysin aiemman käsittelyn vuoksi tässä työssä aiheen tarkempi esittely sivuutetaan.

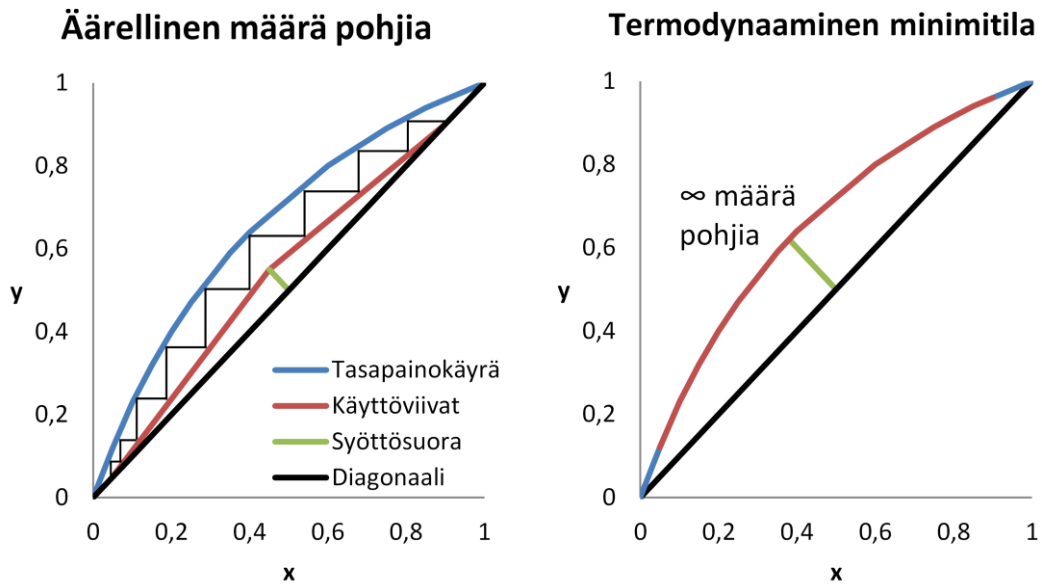
### **2.1.2 Eksergia**

Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan energia säilyy, eikä sitä voi luoda tai tuhota. Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan vapaan energian määrä vähenee, eikä kaikkea energiaa pystytä hyödyntämään sen muuttaessa muotoaan. Tätä voidaan kutsua energian laadun heikkenemiseksi. Eksergia on käsite, jolla kuvataan energiavirrasta saatavan tai systeemin tuottaman käytettävissä olevan energian enimmäismäärää (Kotas, 1995). Vaikka tässä työssä ei paneuduta eksergiaan enempää, on termin ymmärtämisestä hyötyä kolonnin tehokkuutta tarkasteltaessa.

### **2.1.3 Termodynaaminen minimi-tila**

Kolonne toimii tehokkaimmin, kun se lähestyy termodynaamista minimi-tilaa. Termodynaaminen minimi-tila (*Minimum Thermodynamic Condition*) tarkoittaa tilannetta, jossa kolonnin termodynaamiset häviöt ovat olemattomia tai tislauksen palautettavissa (Dhole ja Linnhoff, 1993). Palautettavuus tarkoittaa sitä, että eksergiahäviöitä ei ole, vaan kaikki energia on mahdollista käyttää uudelleen (Demirel, 2006). Termodynaamisessa minimi-tilassa kolonnin lämmönsiirtotarve on jaettu tasaisesti kaikille pohjille. Jokaiselle pohjalle tarvitaan sopivankokoinen välikiehutin ja lauhdutin. Jokainen lisälämmönsiirrin lähentää käyttöviivoja kohti tasapainokäyrää ja palautussuhde on minimi. Minimi-tilassa käyttöviivat asettuvat tasapainokäyrän päälle (Kuva 1). Tähän pääsemiseksi tarvitaan ääretön määrä pohjia ja siten myös ääretön määrä sivulämmönvaihtimia. Dholen ja Linnhoffin (1993) termodynaamiseen analyysiin on tehty tarkennusehdotuksia, joissa keskitytään eksergiaprofiileihin (Zemp, *et al.*, 1997), syöttöpohjien tehojen tarkentamiseen (Bandyopadhyay, *et al.*, 1998) sekä sivulämmönsiirtimen täsmällisempään suunnitteluun (Soares Pinto, *et al.*, 2011).

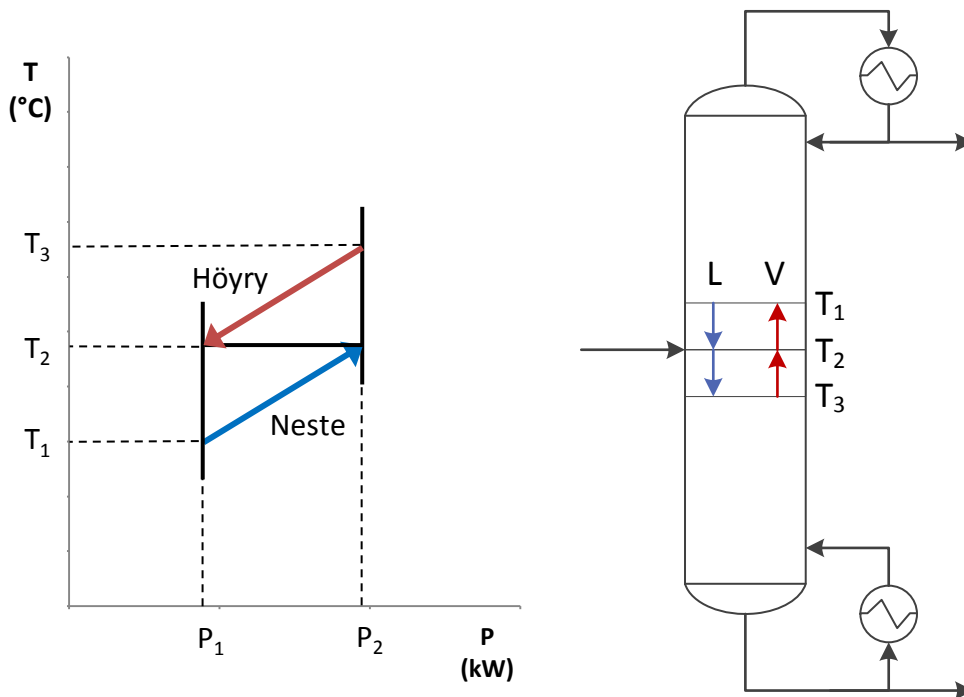




Kuva 1. Kolonnin lähestyessä termodynaamista minimitilaa pohjien määrä lähestyy ääretöntä. Nesteen mooliosuutta merkitään x:llä ja höyryn mooliosuutta y:llä.

#### 2.1.4 Kolonnin välipohjan tehontarve

Tehontarvetta tarkastellaan tässä kolonnin yksittäisen pohjan näkökulmasta. Välipohjalle nousee alemmalta pohjalta höyryä, joka pulppuaa pohjalla olevan nesteen läpi. Neste virtaa alaspäin painovoiman vaikutuksesta. Höyry asettuu tasapainoon pohjalla olevan nesteen kanssa, tai ainakin lähestyy tasapainoa. Nouseva höyry siirtyy korkeammasta lämpötilasta matalampaan, ja lauhtuessaan se luovuttaa höyrystymiseen tarvittavan määrän lämpöenergiaa. Ylemmältä pohjalta valuva neste tulee matalammasta lämpötilasta, ja se sitoo lämpöenergiaa höyrystyessään. Samassa lämpötilassa esiintyy nestettä ja höyryä, joiden tehontarve muuttuvat vastakkaisiin suuntiin. Kuvassa 2 esitetään tehon muuttuminen välipohjalla. Tehon muutoksia voidaan katsoa myös ajavien voimien näkökulmasta. Mitä suurempi tehon muutos, sitä suurempi ajava voima muutokseen tarvitaan.



Kuva 2. Tehontarve välipohjalla. Lämpötila  $T_2$  on pohjan lämpötila,  $T_3$  puolestaan alemman ja  $T_1$  ylemmän pohjan. Korkeampaan lämpötilaan virtaava neste sitoo lämpöenergiaa. Höyry vapauttaa lämpöenergiaa viiletessään. Neste  $L$  virtaa kolonnissa alaspäin ja höyry  $V$  ylöspäin. (Dhole ja Linnhoff, 1993)

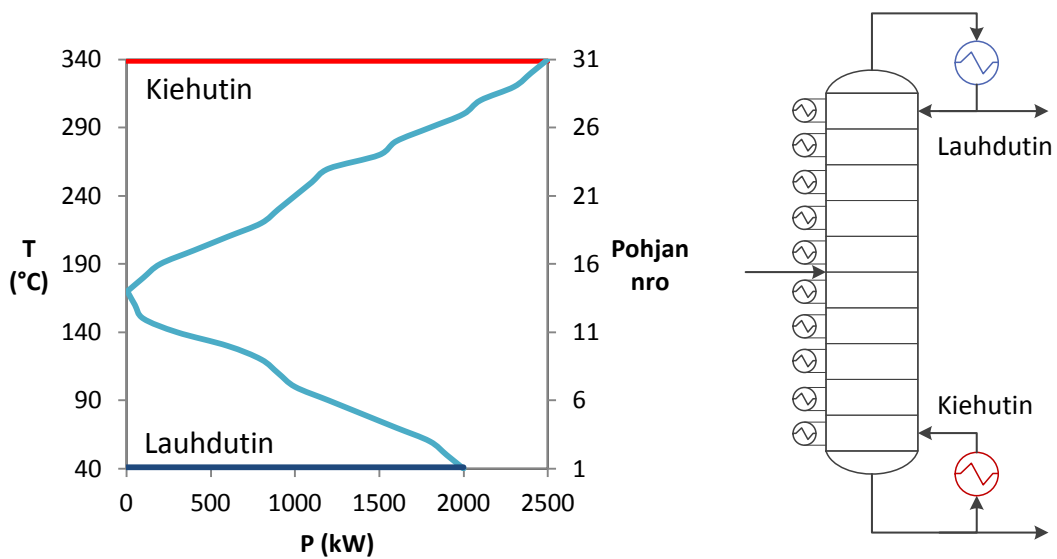
## 2.2 Kolonniprofiilit

Kolonniprofiileja käytetään havainnollistamaan energiantarvetta kolonnin kullekin pohjalle erikseen. Kuvaajissa pystyakselilla on lämpötila  $T$  (°C) ja vaaka-akselilla teho  $P$  (kW). Teho kuvaa energian tarvetta pohjien välillä. Alkuperäisessä artikkelissa (Dhole ja Linnhoff, 1993) käytetään teho-termin sijasta entalpiaa, mikä on harhaanjohtavaa SI-yksikön ollessa (kilo)watti.

### 2.2.1 Yhdistelmäkäyrä

Kuvassa 5 on tyypillinen kolonniprofiili, jota kutsutaan kolonnin yhdistelmäkäyräksi (*Column Grand Composite Curve*, CGCC). Käyrä on analoginen pinch-analyysin yhdistelmäkäyrän (*Grand Composite Curve*, GCC) kanssa. Kuvaajasta nähdään, paljonko prosessissa on ulkoista lämmitys- ja jäähdytystarvetta. Tilanteessa

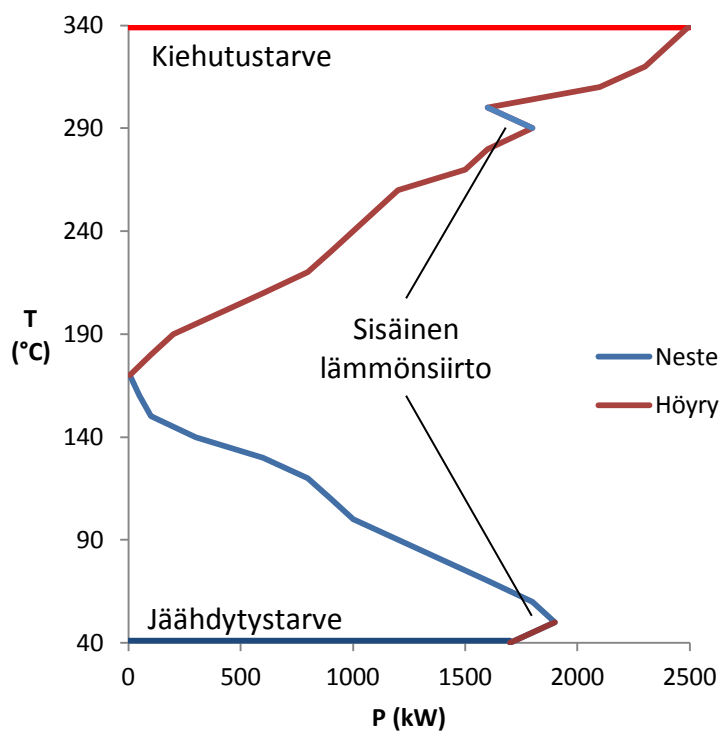
jokaisella pohjalla on ideaalinen lämmönsiirrin. Ulkopuolisia lämmönsiirtimiä ovat kiehutin ja lauhdutin. Koska kolonnin korkein lämpötila on alimmalla pohjalla eli kiehuttimella ja matalin lauhduttimella, voidaan lämpötilan sijasta kuvaajan pystyakselina käyttää myös pohjien lukumäärää. Kolonniprofiilit piirretään kolonniin nähden ylösalaisin siten, että korkein lämpötila on kuvaajassa ylimpänä. Kiehutin, joka tislauskolonnissa sijaitsee alaosassa, on kolonniprofiilin yläreunassa.



Kuva 3. Kolonnin yhdistelmäkäyrä. Pystyakselilla on joko pohjan lämpötila  $T$  (°C) tai vaihtoehtoisesti pohjien numerointi. Lauhdutin on 1. välipohja. Vaaka-akselilla on teho  $P$  (kW). Käyrien ja vasemman pystyakselin väliin jäävä pinta-ala kuvaa kolonnin sisäisen lämmönsiirron suuruutta. Tislauskolonnin sivuun on merkitty näkyviin jokaisen välipohjan ideaaliset lämmönsiirtimet. Kiehutin sijaitsee kolonnin alaosassa, mutta yhdistelmäkäyrällä se on käyrän yläosassa.

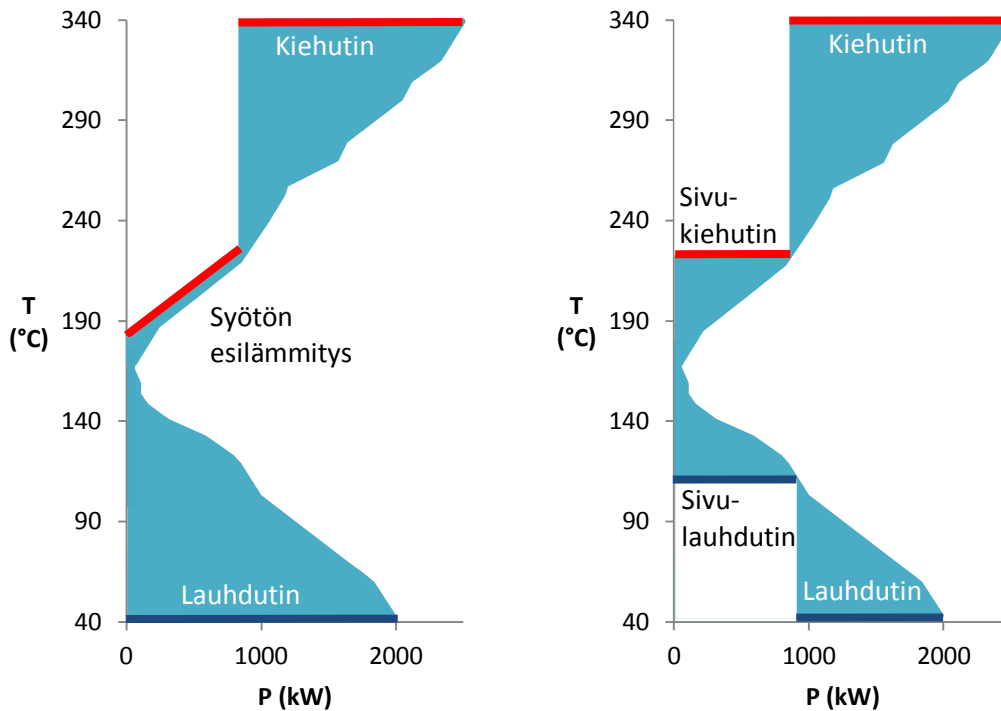
Yhdistelmäkäyrän avulla selvitetään tavoitteet kolonnin ulkoisen lämmönsiirron määrälle. Kuvaajan yläosassa (kolonnin alaosassa), jossa käyrä nousee vasemmalta oikealle, tarvitaan lämmitystä, sillä nestevirtausta on enemmän kuin höyryvirtausta. Vastaavasti vasemmalta oikealle laskevan käyrän kohdalla on jäähdytystarve, ja enemmän höyryä kuin nestettä. Kolonnin tarvitsema ulkopuolinen lämmitysteho on sama kuin käyrän ylimmän pisteen etäisyys pystyakseliin, ja ulkopuolinen

jäähdytystehontarve on alimman pisteen etäisyys pystyakseliin. Käyrän ylimmältä ja alimmalta kohdalta voidaan samalla lukea kiehuttimen ja lauhduttimen lämpötilatasot. Pinch-lämpötila sijaitsee kohdassa, jossa käyrä on lähimpänä pystyakselia. Pinch-kohta kertoo optimaalisen syöttöpohjan paikan. Käyrän jyrkkiä suunnanmuutoksia kutsutaan lämpötaskuiksi (Smith, 2005). Näissä kohdissa tarvittava lämmönsiirto tapahtuu kolonnissa sisäisesti (Kuva 4).



Kuva 4. Kolonnissa tarvittava lämmönsiirto. Lämpötaskujen kohdalla käytetään kolonnin sisäistä lämmönsiirtoa.

Yhdistelmäkäyrä visualisoi ulkoisten energianlähteiden tarpeen ja suuruuden. Lämmitykseen ja jäähdytykseen käytetään ensisijaisesti kiehutinta ja lauhdutinta. Kiehuttimen ja lauhduttimen avuksi voidaan kolonniin suunnitella kuvaajan antaman informaation perusteella syötön esilämmitin sekä sivukiehutin ja -lauhduutin (Kuva 5).



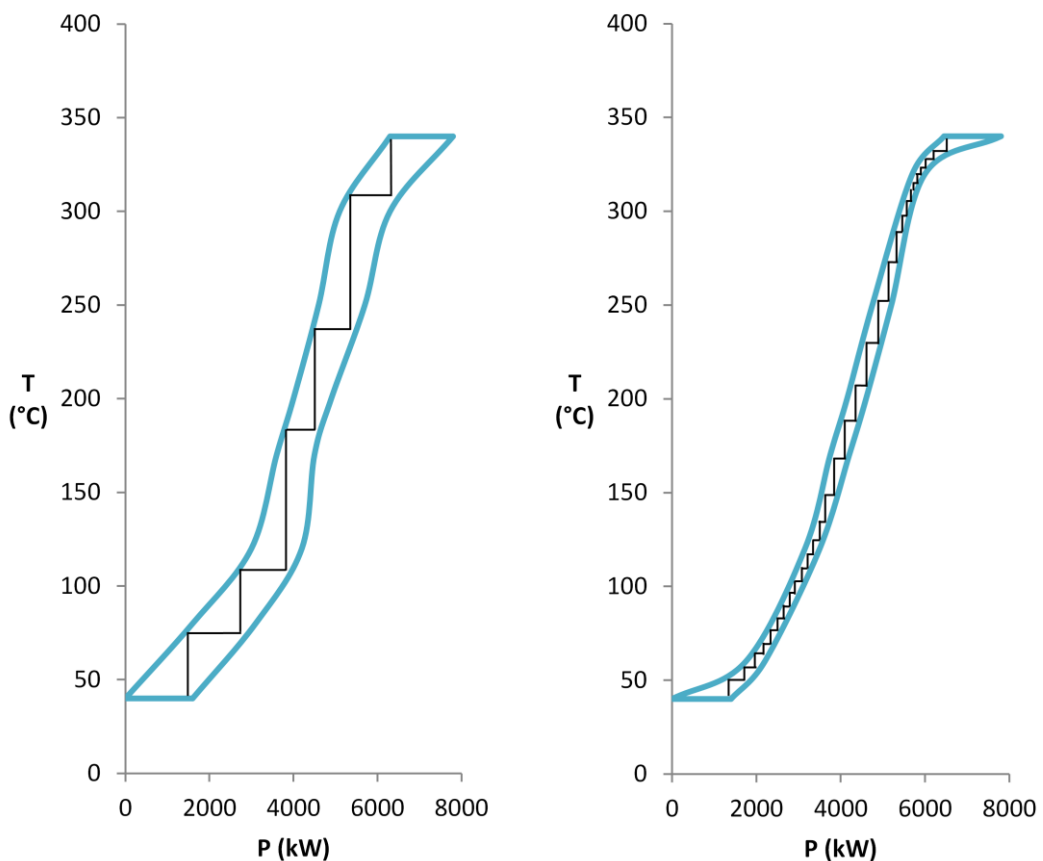
Kuva 5. Ulkoisten energianlähteiden vaikutus yhdistelmäkäyrään. Vasemmalla eräs mahdollinen kohta lisätä syötön esilämmitin. Oikealla näkyvät sivukiehuttimen ja -lauhduttimen yhdet mahdolliset lisäyskohdat.

## 2.2.2 Höyry- ja nestevirtakäyrät

Kolonnin yhdistelmäkäyrä voidaan järjestää uudelleen kolonnin höyry- ja nestevirtakäyriin (*Column Composite Curves, CCC*). Höyry- ja nestevirtakäyrät havainnollistavat nesteen ja höyryn kulkua pohjakohtaisesti kolonnissa, ja ne antavat käsityksen kolonnin hankintakustannuksista ja ajavista voimista. Virtakäyrissä ylempi kuvaa höyryä ja alempi nestettä. Käyrien väliin jäävästä pinta-alasta ja sen muodosta nähdään lämmön- ja aineensiirron ajavien voimien suuruus. Mitä pienempi pinta-ala käyrien väliin jää, sitä vähemmän lämmön- ja aineensiertoa menee hukkaan. Väliin jäävän alueen muotoa on havainnollistettu alla (Kuva 6). Alueen tiukka muoto kuvaa vähäisiä ajavia voimia, jolloin kolonnin

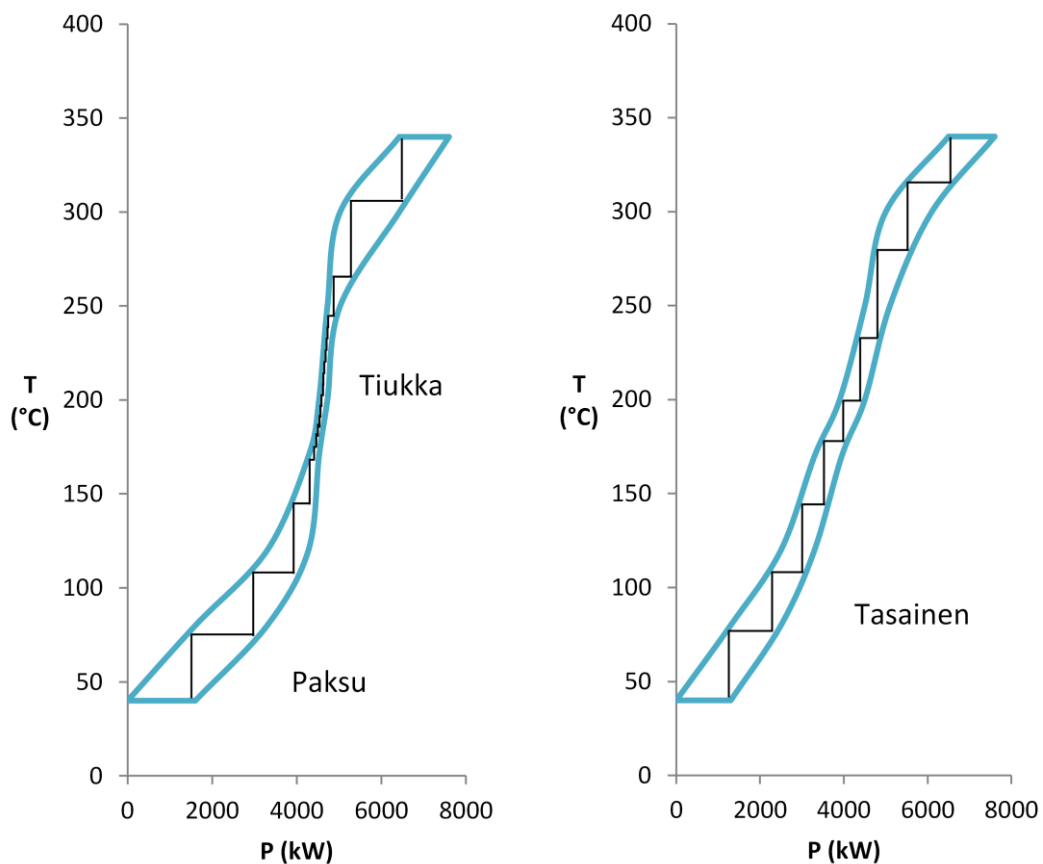
hankintakustannukset ovat suuret. Jotta tiukka muoto olisi mahdollinen, tarvitaan käyrien väliin useampia askelia eli kolonniin enemmän pohjia, mikä luonnollisesti nostaa hankintakustannuksia. Paksu alueen muoto on puolestaan hankintakustannuksiltaan edullisempi vaihtoehto, sillä askeleita tarvitaan vähemmän. Pohjien määrän muuttaminen aiheuttaa muutoksia kolonnin erotuskyvyssä. Jotta erotuskyky ei kärsisi pohjia vähennettäessä, on palautussuhdetta lisättävä. Palautussuhteen kasvattaminen taas nostaa kustannuksia. Käyrien muotoon vaikuttaa myös lämmönsiirron suuruus ja paikka. Jakamalla lämmönsiirtoa sivulämmönsiirtimille saadaan aineensiirron ajavia voimia vähennettyä ja käyrien muotoa tiukennettua. Polley (1993) suosittelee kolonnin eri kohtiin teholtaan maltillisia kiehuttimia, jotta niiden vaikutus ajaviin voimiin olisi vähäinen.

Jos käyrien väliin jäävä alue on leveydeltään epätasainen, merkitsee se epätasaista ajavien voimien jakaumaa kiehuttimen ja lauhduttimen välillä. On edullista pyrkiä tasaiseen jakaumaan, sillä se nostaa kolonnin termodynaamista tehokkuutta (Zemp, *et al.*, 1997). Väliin jäävän alueen muodot esitetään kuvassa 7. Käyttämällä rinnakkain höyry- ja nestevirtakäyriä (CCC) ja yhdistelmäkäyrää (CGCC) voidaan modifikaatioiden tarve päätellä. Kun yhdistelmäkäyrän perusteella tehdään kolonnin rakenteeseen muutos, nähdään höyry- ja nestevirtakäyrien väliin jäävästä alueesta muutoksen vaikutus kolonnin sisäisiin tapahtumiin.



Kuva 6. Höyry- ja nestevirtakäyrät ja niiden väliin jäävä alue. Ylempi käyrä on höyry- ja alempi nestevirtakäyrä. Vasemmassa kuvaajassa alue on paksu ja oikealla alue on tiukka. Paksussa alueessa lämmön- ja aineensiiirtoa menee enemmän hukkaan, mutta askelia tarvitaan vähemmän.

Askeleiden korkeuteen kuvaajassa vaikuttavat pohjien välisen lämpötilaeron suuruus. Mitä suurempi ero lämpötiloissa on, sitä korkeammaksi kyseinen väli muodostuu kuvaajassa. Askeleiden leveys kuvaa pohjalla tapahtuvaa lämmönsiirtoa. Mitä leveämpi askel, sitä laajempi ero on höyry- ja nestefaasien tehoissa. Suuri tehoero tarkoittaa suurempia vaatimuksia lämmön- ja aineensiiirrolle.



Kuva 7. Höyry- ja nestevirtakäyrien väliin jäävän alueen epätasaisuus. Vasemmalla olevassa alueessa on tiukka ja paksu kohta eli se on epätasainen. Oikealla oleva alue on muodoltaan tasainen. Tasainen käyrä kuvaa yhtäläistä kuormitusta kiehuttimelle ja lauhduttimelle. Samalla pohjien lämmön- ja aineensiirtovaatimukset tasaantuvat.

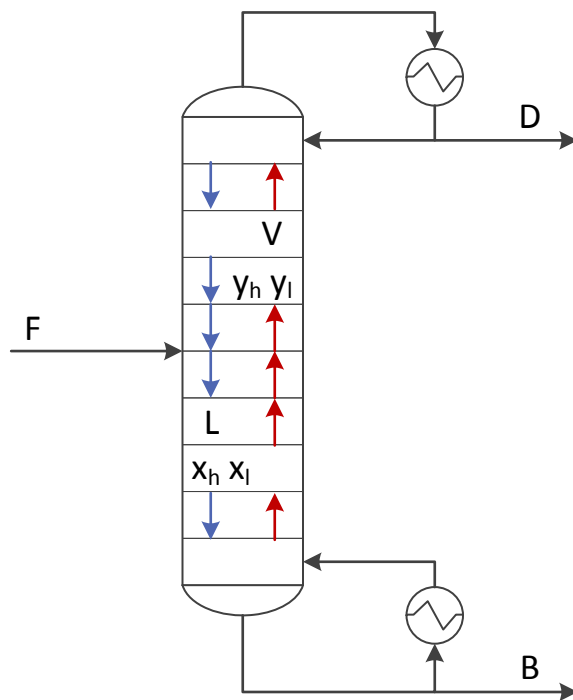
### 2.3 Kuvaajien piirtäminen

Kolonnin termodynaaminen analyysi on visuaalisuuteen perustuva menetelmä, jossa käytetään kahdenlaisia käyriä. Yhdistelmäkäyrä kuvaa kolonnin suhteessa ulkoa päin tuleviin muutoksiin. Höyry- ja nestevirtakäyrät kertovat kolonnin sisäisistä tapahtumista ja hankintakustannuksista.

Monikomponenttislauksessa jaetaan komponentit kahtia, kevyen ja raskaan avainkomponentin mukaan, jotta usean komponentin käsittely olisi yksinkertaisempaa. Kevyt ja raskas avainkomponentti ovat monikomponenttisisä



seoksessa haihtuvuusasteikolla vierekkäin, ja niiden välissä kulkee jako ylitteeseen ( $D$ ) ja alitteeseen ( $B$ ) binääritislauskolonnissa. Kevyeen jakeeseen kuuluvat kevyt avainkomponentti ja sitä helpommin haihtuvat komponentit, kun puolestaan raskaaseen jakeeseen kuuluvat raskas avainkomponentti ja sitä huonommin haihtuvat muut komponentit. Näin monikomponenttitislausta voidaan käsitellä binääritislausun tavoin. Kuvassa 8 on yksinkertaistettu tislaukolonnin toimintaperiaate. Seuraavissa kappaleissa esitellään kuvaajien piirtämiseen tarvittavat tiedot ja yhtälöt.



Kuva 8. Tislaukolonnin toimintaperiaate. Syöttö  $F$  jakautuu kolonnissa neste- ja höyryfaasiin ( $L$ , liquid ja  $V$ , vapour). Höyry ja neste voidaan jakaa kevyeen ( $l$ ) ja raskaaseen ( $h$ ) jakeeseen. Mooliosuudet höyryssä ovat  $y_l$  ja  $y_h$ , ja nesteessä vastaavasti  $x_l$  ja  $x_h$ .

### 2.3.1 Yhdistelmäkäyrä

Analyysin lähtökohtana on onnistunut simulointi lähtötilanteesta. Simuloinnin tuloksena saadaan kullekin pohjalle erikseen moolivirtaus, lämpötila ja pitoisuus. Simulointi antaa myös pohjakohtaiset höyryn ja nesteen tehot. Kolonniprofiilin piirtämiseksi käyttöviiva ja tasapainokäyrä on ratkaistava samanaikaisesti. Alla esitetyt yhtälöt tulee ratkaista jokaiselle välipohjalle erikseen. Samalta pohjalta lähtevien neste- ja höyryvirtojen koostumukset ovat tasapainossa kyseisen pohjan lämpötilassa. Jotta käyttöviiva ja tasapainokäyrä saadaan samanaikaisesti ratkaistua, yhdistetään simuloinnista saadut tasapainokoostumukset massataseisiin. Seuraavassa yhdistelmäkäyrä lasketaan ylhäältä alas -menettelyllä (*top-down approach*), jossa lauhdutin on ensimmäinen pohja (Dhole ja Linnhoff, 1993). Lauhduttimen jälkeisistä välipohjista muodostetaan kustakin lauhduttimen kanssa yhtenäinen vaippa, jonka teho lasketaan seuraavaksi. Toinen vaihtoehto olisi alhaalta ylös -järjestys (*bottom-up approach*) (Bandyopadhyay, et al., 1998). Väkevöintiosan käyttöviivan yhtälöt kevyelle (*l*) ja raskaalle jakeelle (*h*) ovat:

$$Vy_l - Lx_l = D_l \quad (1)$$

$$Vy_h - Lx_h = D_h \quad (2)$$

jossa V höyryvirtaus (mol/s)

L nestevirtaus (mol/s)

D tisleen virtaus, tarkasteltavalle komponentille (mol/s)

y höyryn mooliosuus

x nesteen mooliosuus

l kevyen jakeen alaindeksi

h raskaan jakeen alaindeksi

Termodynaaminen minimi-tila kertoo parhaan mahdollisen suorituskyvyn kolonnille, jolloin tiedetään sen olevan tavoite, jota kohti pyrkii. Yhtälöä 1 muunnetaan siten, että käyttöviivat voidaan laskea termodynaamiselle minimi-tilalle. Höyry- ja nestevirtaukset  $V$  ja  $L$  korvataan termodynaamisilla minimi-tilan virtauksilla  $V_{min}$  ja  $L_{min}$  (mol/s). Simuloinnista saadaan tislevirrat ( $D_l$  ja  $D_h$ ) sekä mooliosuudet tasapainossa olevalle höyrylle ( $y_l^*$  ja  $y_h^*$ ) ja nesteelle ( $x_l^*$  ja  $x_h^*$ ). Tähdellä (\*) merkitään tasapainotilassa olevaa suuretta.

$$V_{min}y_l^* - L_{min}x_l^* = D_l \quad (3)$$

$$V_{min}y_h^* - L_{min}x_h^* = D_h \quad (4)$$

Jotta teho voidaan ottaa huomioon tarkastelussa, tulee se esittää höyry- ja nestevirtauksien avulla. Simuloinnista saadut tehot  $P_V^*$  ja  $P_L^*$  muunnetaan virtauksien suhdeluvulla termodynaamisen minimi-tilan tehoiksi  $P_{Vmin}$  ja  $P_{Lmin}$ . Yhtälöistä 3 ja 4 ratkaistaan minimi-tilan moolivirrat  $V_{min}$  ja  $L_{min}$ , joille lasketaan suhde tasapainossa oleviin virtoihin  $V^*$  ja  $L^*$ .

$$P_{Vmin} = P_V^* \left( \frac{V_{min}}{V^*} \right) \quad (5)$$

$$P_{Lmin} = P_L^* \left( \frac{L_{min}}{L^*} \right) \quad (6)$$

jossa V      höyryn alaindeksi

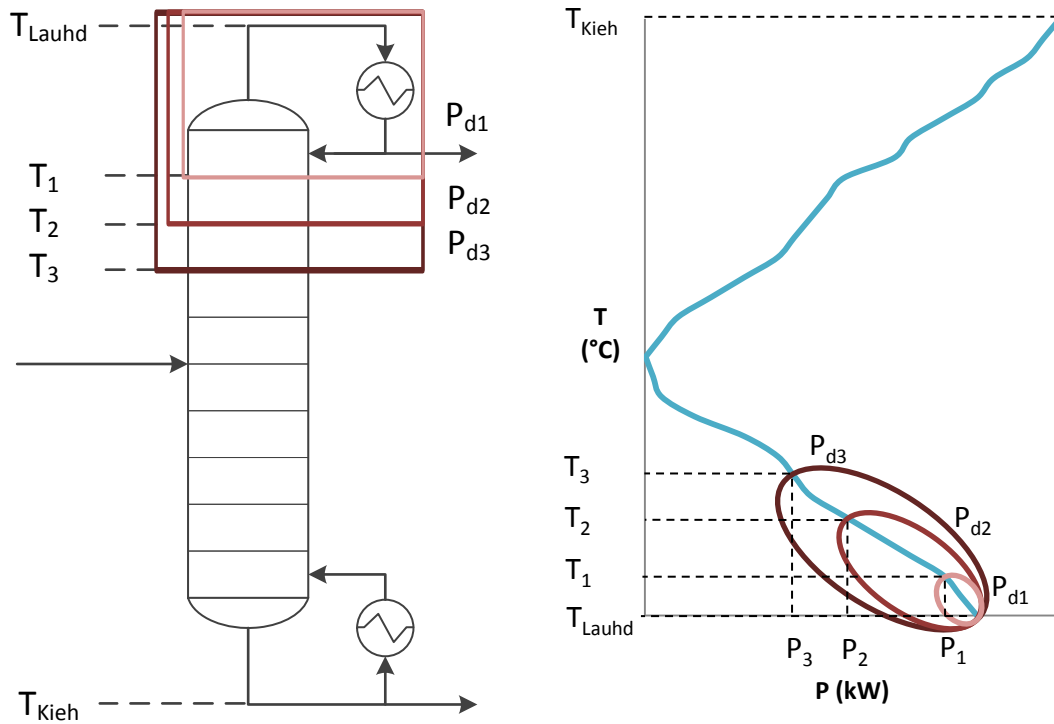
L      nesteen alaindeksi

Välipohjan tehovajeen  $P_d$  (kW) laskennassa huomioidaan minimi-tilan tehot sekä tisleen teho. Syöttöpohjalla ja sen jälkeen vähennetään tehovajeesta lisäksi syötön teho  $P_F$ .

$$P_d = P_{Lmin} - P_{Vmin} + P_D \quad \text{ennen syöttöpohjaa} \quad (7)$$

$$P_d = P_{Lmin} - P_{Vmin} + (P_D - P_F) \quad \text{syöttöpohjalla ja sen jälkeen} \quad (8)$$

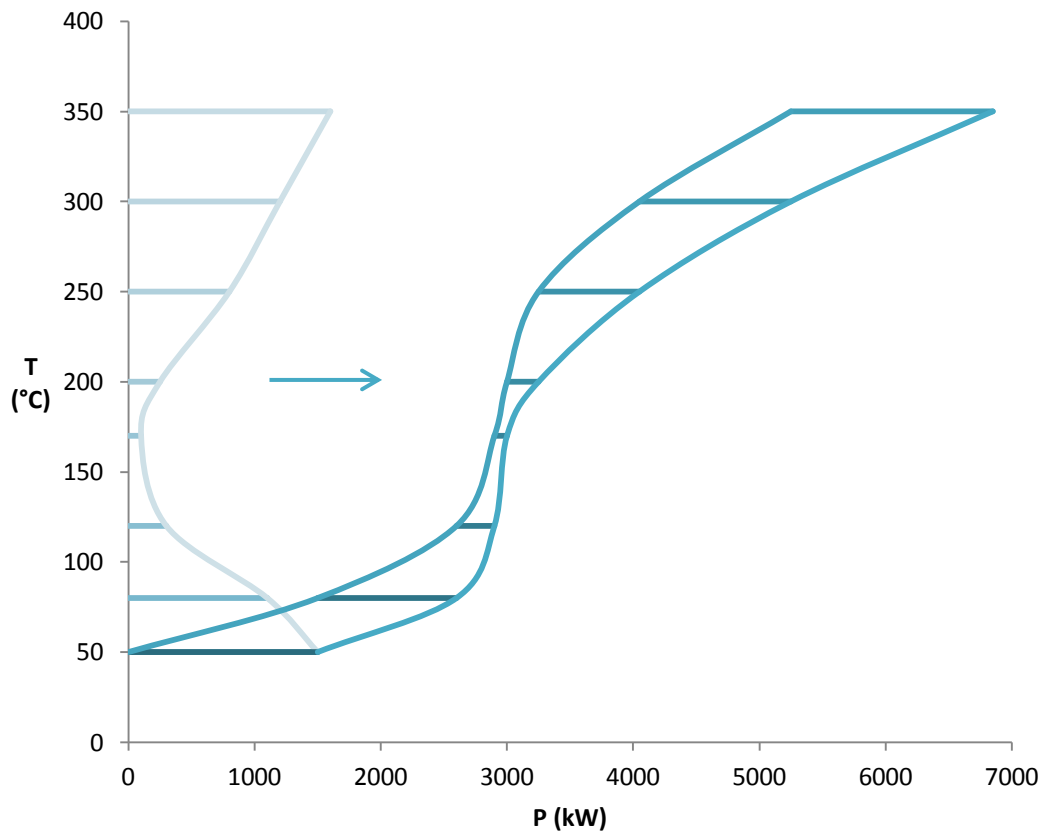
Tarvittavat tiedot kolonniprofiilien esittämiseen lämpötilan ja tehon avulla on nyt laskettu. Yhdistelmäkäyrä esitetään kuvaajassa yhtenäisenä linjana, jonka takia tehon koordinaatteja järjestellään hieman. Koska tarkastellaan tehon muutosta, ei siirto tuota ongelmaa. Tässä vaiheessa lämpötila (y-koordinaatti) on jo valmiina. Jokaisen pohjan kohdalla tarkastellaan tehovajetta suhteessa kolonnin päähän, eli tässä tapauksessa huippuun. Tehot (x-koordinaatti) halutaan järjestää siten, että edellisen pohjan tehosuoran loppupiste on sama kuin seuraavan suoran alkupiste. Käyrän pisteet lasketaan jokaiselle pohjalle erikseen. Käyrä kiinnitetään tehoasteikolla lähtemään lauhduttimen tehontarpeen kohdalta, jonka jälkeen seuraava pohja kiinnitetään edellisen loppuun. Kuvaan 9 on merkitty lauhduttimen ja sitä seuraavan kahden pohjan tehontarpeet kolonnissa ja yhdistelmäkäyrässä.



Kuva 9. Tehontarpeen muutos pohjittain.  $T_{1-3}$  on pohjan lämpötila ja  $P_{d1-3}$  kuvaa lämmönsiirron tarvetta lauhduttimelta pohjalle. (Dhole ja Linnhoff, 1993)

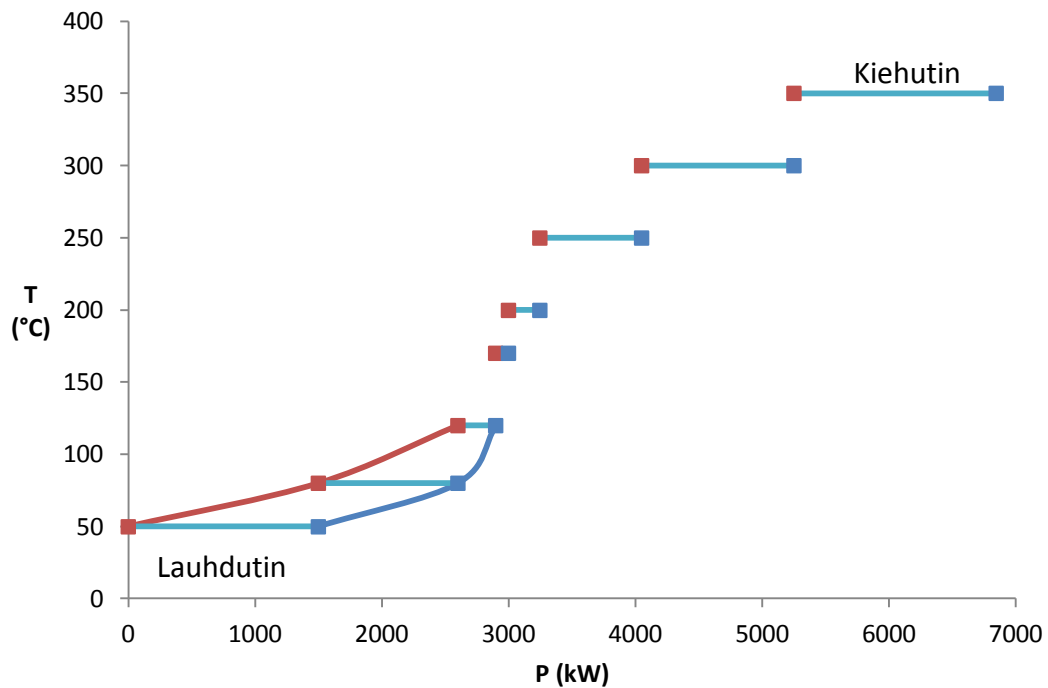
### 2.3.2 Höyry- ja nestevirtakäyrät

Yhdistelmäkäyrän perusteella voidaan helposti piirtää höyry- ja nestevirtakäyrät, tai toisin päin. Kuvaajissa on täysin sama pystyakseli, lämpötila  $T$ . Vaaka-akselin laatu, teho  $P$ , säilyy. Koska tarkkaillaan tehon muutosta eikä absoluuttista arvoa, voidaan yhdistelmäkäyrän vaakatason koordinaatteja siirtää. Kuvaan 10 on piirretty sekä yhdistelmäkäyrä että neste- ja höyryvirtakäyrät.



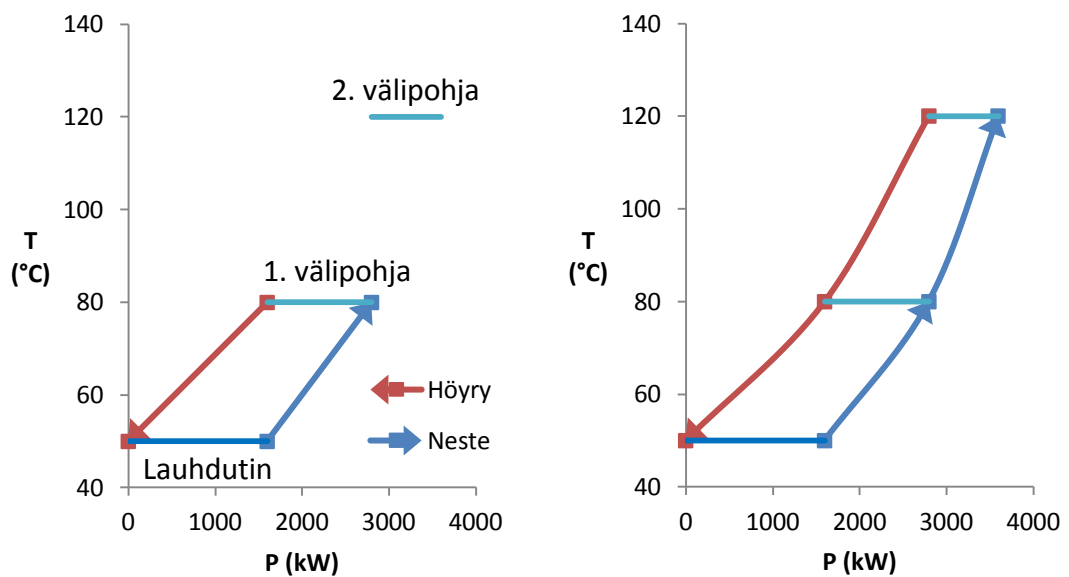
Kuva 10. Yhdistelmäkäyrästä höyry- ja nestevirtakäyriin. Lämpötila säilyy samana, kuten myös tehon suuruus. Tehon paikka siirtyy alemmassa lämpötilassa olevan pohjan tehon oikealle puolelle.

Yhdistelmäkäyrän laskennassa selvitettiin kullekin pohjalle höyryn ja nesteen teho pohjan lämpötilassa. Höyry- ja nestevirtakäyrien piirtämisessä käytetään samoja, jo olemassa olevia tietoja. Käyrät piirretään osa kerrallaan, jolloin kumpikin käyrä rakentuu samanaikaisesti. Kuva 11 havainnollistaa käyrien muodostumista datapisteiden avulla. Käyrien alku voidaan sijoittaa kiinni pysty akseliin, jolloin tehontarve on helposti nähtävissä. Ensimmäisenä on ylimmäksi pohjaksi luokiteltava lauhdutin. Lauhduttimelle tulee alemmalta pohjalta höyryä, joka lauhtuessaan luovuttaa lämpöä. Lauhduttimen lämpötilassa höyry lauhtuu nesteeksi, jolloin lämpötila pysyy vakiona mutta teho muuttuu. Pohjalla tapahtuvia tehon muutoksia käsiteltiin aiemmin kappaleessa 2.1.4 Kolonnin välipohjan tehontarve.



Kuva 11. Höyry- ja nestevirtakäyrien rakentuminen pohjakohtaisten tehojen perusteella. Vasemmanpuoleiset pisteet ovat höyryn tehoja ja oikeanpuoleiset nesteen.

Kuvassa 12 hahmotellaan käyrien piirtämistä lauhduttimesta lähtien. Lauhdutin ottaa talteen lämpöä, jolloin  $\Delta P > 0$ . Lauhdutin on höyryvirtakäyrän päätöspiste. Seuraava väli käyriin saadaan samoin kuin lauhduttimen ja ensimmäisen välipohjan välinen osa. Alemman pohjan höyryn teho asetetaan samaan kohtaan kuin sitä ylempänä olevan välipohjan nesteen. Kuvassa 12 tämä tarkoittaa sitä, että lämpötilassa  $T_1$  olevan pohjan höyryn teho on sama kuin lauhduttimen nesteen teho ( $P_1$ ). Samoin lämpötilassa  $T_2$  olevan pohjan höyryn teho on sama kuin lämpötilassa  $T_1$  olevan pohjan nesteen teho ( $P_2$ ).



Kuva 12. Lauhduttimen ja seuraavien pohjien höyry- ja nestevirtausten lämpötila tehon funktiona. Pystyakselilla on kunkin pohjan lämpötila. Välipohjalla tapahtuu nesteen virtausta alaspäin ja höyryn nousua ylöspäin.

## 2.4 Kolonniin tehtävien muutoksien järjestys

Kolonnin termodynaamista analyysiä tehdessä tulisi rakenteelliset muutokset tehdä tietyssä järjestyksessä (Dhole ja Linnhoff, 1992):

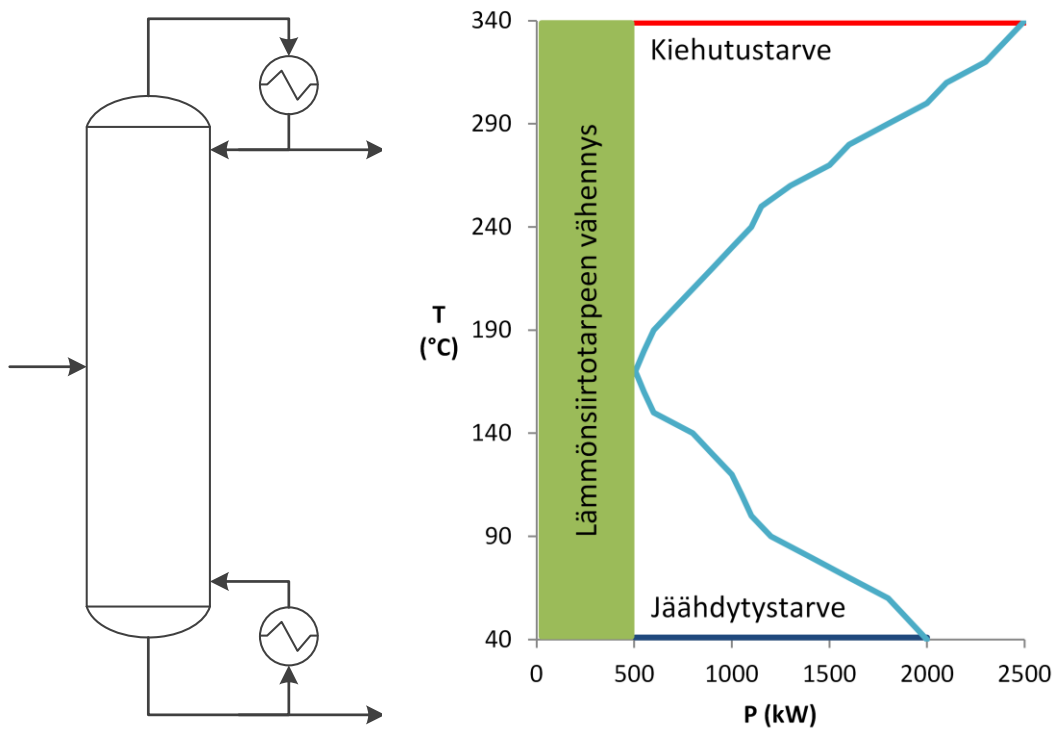
1. Palautussuhteen muuttaminen
2. Syötön esilämmityksen tai -jäähdytyksen lisääminen
3. Sivukiehuuttimen ja -lauhduttimen lisäys

Muutokset aloitetaan yksinkertaisimmasta vaihtoehdosta. Ennen muutoksien tekoa syöttöpohjan paikka tulee olla valittu sopivaksi. Väärin valittu syöttökohta ilmenee yhdistelmäkäyrästä jyrkkinä vinoumina tehon muutoksissa (Demirel, 2004).



### 2.4.1 Palautussuhteen muuttaminen

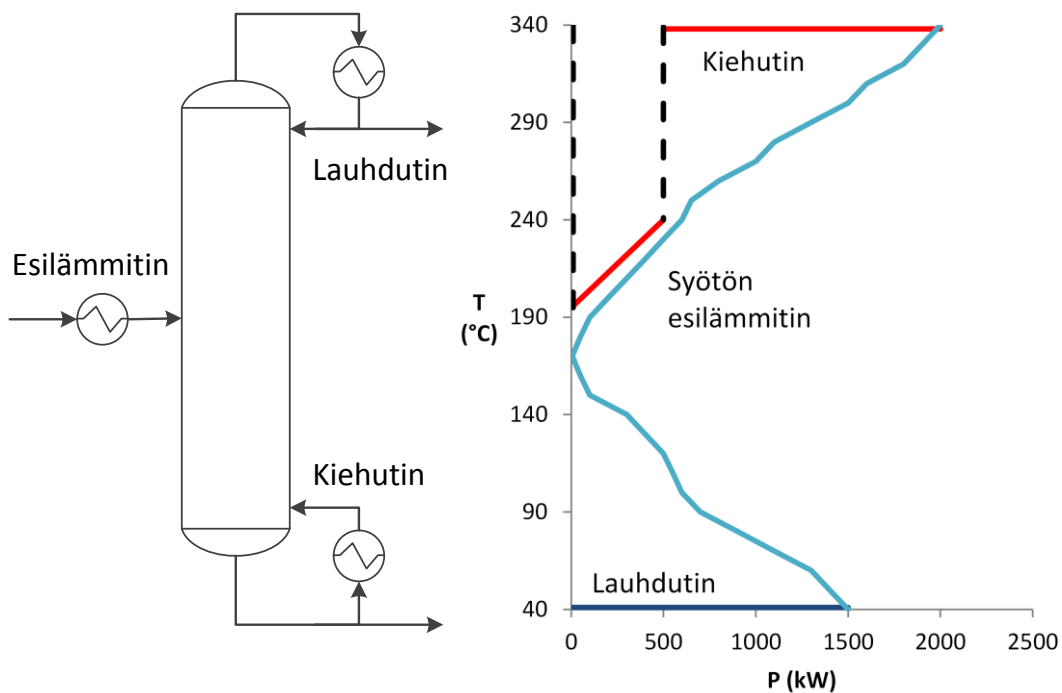
Palautussuhteen muuttaminen vähentää kuormitusta ulkopuoliselle lämmönsiirrolle, joten se tulee tehdä ensiksi. Palautussuhteen pienentämisen vaikutusalue on pinch-kohdasta pystyakselia kohti (Kuva 13). Palautussuhdetta pienentämällä yhdistelmäkäyrä siirtyy vasemmalle, ja parhaassa tapauksessa pinch-kohta koskettaa pystyakselia. Muutos vähentää sekä kiehuttimen että lauhduttimen lämmönsiirtotarvetta siirtymän verran. Palautussuhdetta pienennetään pohjien lukumäärää lisäämällä.



Kuva 13. Palautussuhteen pienentämisen vaikutusalue. Vasemmalla kolonni ja sen lämmönsiirtojärjestelmä ennen termodynaamisen analyysin tuomia muutoksia. (Dhole ja Linnhoff, 1993)

## 2.4.2 Syötön esilämmityksen tai -jäähdytyksen lisäys

Syötön esilämmityksellä voidaan pienentää kiehuttimen kuormitusta. Jos kolonniin lisätään lämpölähteitä tai -nieluja, kolonnin toiminta muuttuu. Huonosti valitulla syöttöpohjalla tapahtuu sekoitusilmiö, jossa eri lämpötiloissa ja koostumuksessa olevat virrat kohtaavat ja sekoittuvat (Zemp, *et al.*, 1997). Tämä aiheuttaa eksergiahäviöitä syöttöpohjan läheisyydessä. Esilämmitys nostaa höyryn osuutta syötöstä, jolloin syöttöpohjan optimaalinen paikka siirtyy. Nesteen osuus eli L/V-suhde pienenee kolonnin strippausosassa, ja höyryn osuus kasvaa väkevöintiosassa. Muutokset heikentävät erotustehokkuutta, sillä neste ja höyry eivät pääse yhtä hyvään kontaktiin toistensa kanssa. Erotustehokkuuden huononeminen pienentää energiaintegroinnin hyötyjä. Pohjien lukumäärää lisäämällä erotustehokkuutta voidaan parantaa. Syötön lämpötilan muuttaminen on todennäköisesti hankintakustannuksiltaan huomattavasti sivulämmönsiirtimien lisäämistä edullisempaa (Kemp, 2007).

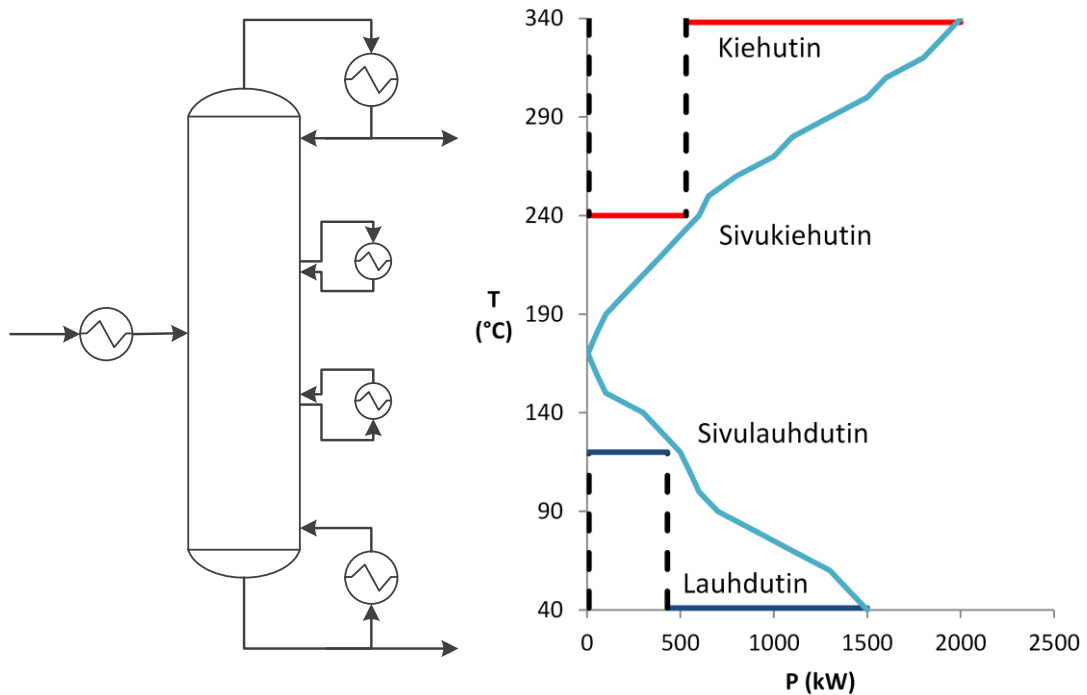


Kuva 14. Esilämmitys vähentää kiehuttimen lämpökuormaa. Vasemmalla kolonni ja siihen lisätty esilämmönsiirrin. (Dhole ja Linnhoff, 1993)

Syötön esilämmityksellä vähennetään kolonnissa tarvittavaa kiehutusta, sillä suurempi osa syötöstä höyrystyy. Syöttöä voidaan tarvittaessa myös vaihtoehtoisesti viilentää. Esimerkiksi liian kylmä syöttö kolonniin aiheuttaa nesteen tihkumista välipohjan reikien läpi. Tämä johtuu liian pienestä höyryn osuudesta. Syötön esilämmityksen tarpeen voi tunnistaa käyrän kulmakertoimen suuruudesta pinch-kohdan eli syötön läheisyydessä. Syötön esilämmityksen tarve näkyy yhdistelmäkäyrän yläosassa terävänä tehon muutoksena (Kuva 14). Muutoksen terävä kohta määrittää esilämmityksen tehontarpeen suuruuden.

### **2.4.3 Sivukiehuttimen ja -lauhduttimen lisäys**

Sivulämmönsiirtimien lisäyksellä voidaan pienentää kolonnin kiehuttimen ja lauhduttimen tehontarvetta. Sivukiehuttimen tai -lauhduttimen optimaalinen paikka on ennen kohtaa, josta käyrä jyrkkenee. Lämmönsiirtimen suunnittelulla kyseiseen kohtaan pyritään minimoimaan käyrän ja pystyakselin väliin jäävää pinta-alaa, mikä on verrannollinen lämmönsiirron tarpeeseen. Sivukiehuttimen tuoma lämmitys kohdistuu lähemmäs syöttöpohjaa, ja pääkiehuttimen tehtäväksi jää sivukiehuttimen ja pohjan välisen osan lämmönsiirto. Kuvassa 15 on esitetty kolonni muutosten jälkeen.



Kuva 15. Sivulämmönsiirtimet pienentävät kiehuttimen ja lauhduttimen tehontarvetta. Vasemmalla kolonniin lisätyt lämmönsiirtimet. Sivulämmönsiirrin kierrättää fluidin takaisin samalle välipohjalle. (Dhole ja Linnhoff, 1993)

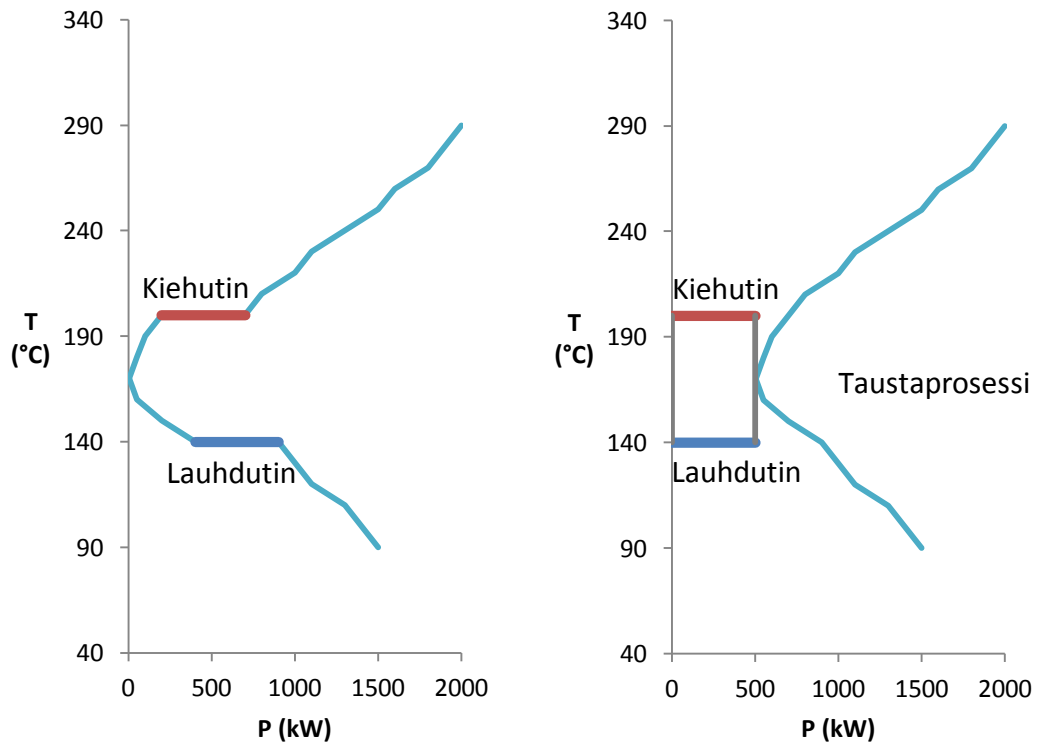
## 2.5 Kolonnien integrointi taustaprosessiin

Yllä esitetty energiatehokkuuden optimointi käsitteli vain yhtä kolonnia. Yleensä prosessiin kuuluu muitakin kolonneja tai laitteita, jolloin on kannattavaa parantaa koko prosessin energiatehokkuutta yhteisesti. Integroinnissa kolonni lainaa lämpöä muusta prosessista ja palauttaa sen takaisin edelleen käyttökelpoisena.

### 2.5.1 Yhden kolonnin integrointi

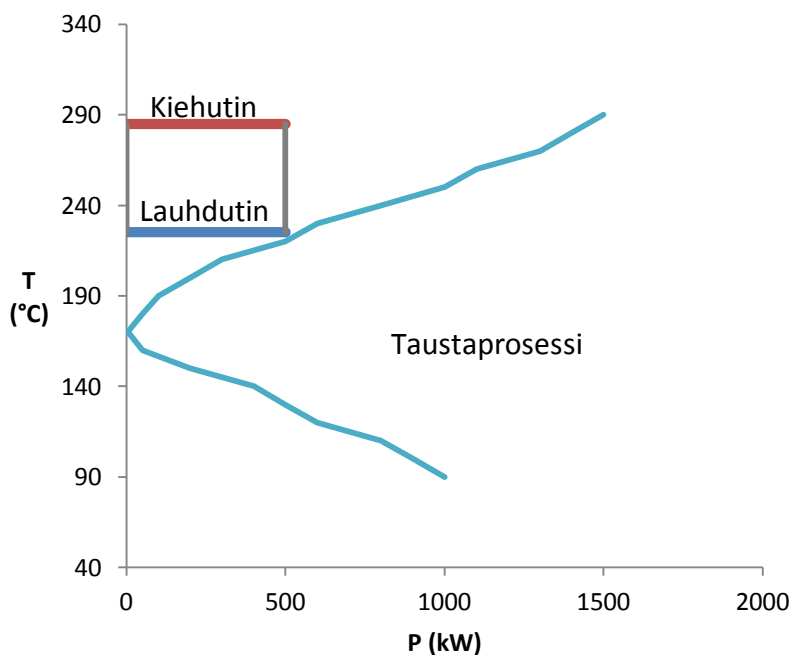
Yksittäisen kolonnin lämmönsiirtoa muun prosessin kanssa kuvataan kuvassa 16. Jotta voidaan integroida kolonni muuhun prosessiin, on ensin erotettava kolonni sen taustaprosessista. Näin nähdään kumpikin omina toimintoinaan. Kuvasta näemme kiehuttimen ottavan lämpöä prosessista pinch-kohdan yläpuolelta ja lauhduttimen luovuttavan lämpöä prosessin pinch-kohdan alapuolelle. Huomataan,

että kolonni kuljettaa lämpöä pinch-kohdan yli, mikä ei Pinch-analyysin sääntöjen mukaan ole sallittua. Tilanteessa lämmitys- ja jäähdytystarpeet ovat yhtä suuret kuin kolonnilla ja taustaprosessilla erikseen, joten integrointi on hyödytön (Linnhoff March, 1998).



Kuva 16. Vasemmalla yhdistelmäkäyrä prosessista, johon kuuluu tislaukolonni. Oikealla saman prosessin jaettu yhdistelmäkäyrä, jossa kolonni ja tausta ovat omina prosesseinaan. (Kemp, 2007)

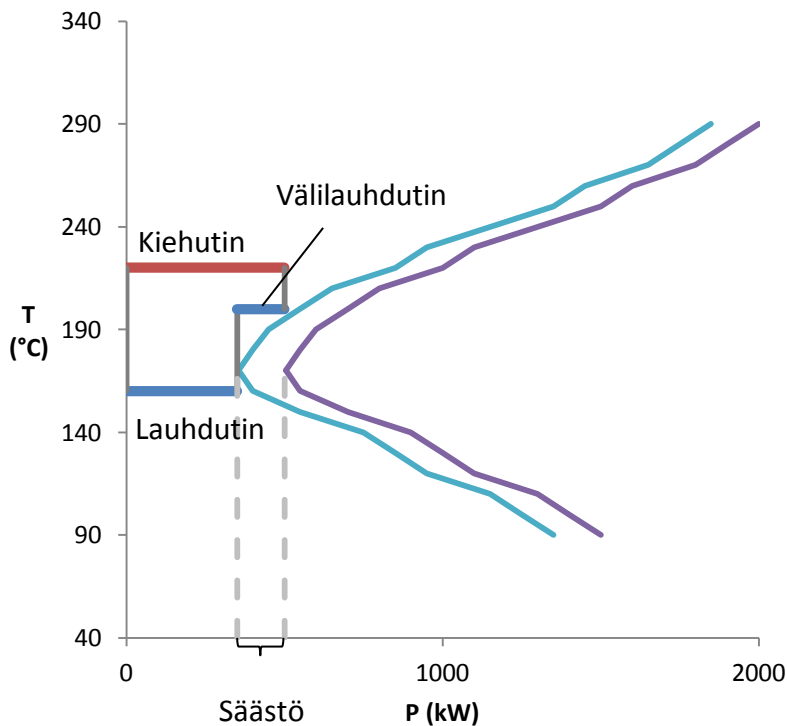
Kolonnia kuvaava laatikko tulisi siirtää siten, että kiehutin ja lauhdutin ovat samalla puolella pinch-kohdalla, jolloin pinchin yli ei kulje lämpöä (Kuva 17). Kolonnin lämpöintegrointi on siis mahdollista toteuttaa vain lauhduttimelle tai kiehuttimelle (Kemp, 2007).



Kuva 17. Tislauskolonni integroituna taustaprosessin yhdistelmäkäyrän pinch-kohdan yläpuolelle. (Kemp, 2007)

Kolonnin siirto eri toimintalämpötilaan tapahtuu muuttamalla sen operointipainetta. Painetta nostamalla kolonnin lämpötila nousee, ja laskemalla lämpötilakin laskee. Prosessista riippuen tämä voi olla liian vaativa operaatio olemassa olevalle prosessille, eikä sitä pystytä välttämättä suorittamaan kokonaan uudessakaan projektissa. Paineen nostoa rajoittaa kiehuttimen korkein sallittu lämpötila. Tarvittavan lämpötilan noston voi estää tislattavien komponenttien lämmönkestävyys, tai ettei tarpeeksi kuumaa lämmitysainetta ole saatavilla. Paineen alennusta rajoittaa haluttomuus jäädyttämiseen tai tyhjötislaukseen. Jos kiellettyä lämmönsiirtoa ei voida kokonaan välttää, on keskityttävä vähentämään lämmön siirtymistä pinch-kohdan yli. (Kemp, 2007)

Lämmönsiirto pinch-kohdan yli pienenee yhtä paljon kuin pinch-kohtaa saadaan tuotua lähemmäs pystyakselia. Kuvassa 16 kolonnia edustavaa laatikkoa pitää siis kaventaa pinchin kohdalta mahdollisimman paljon. Lisäämällä välilauhdutin (Kuva 18) saadaan kolonnia integroitua taustaprosessiin välilauhduttimen tehon verran.

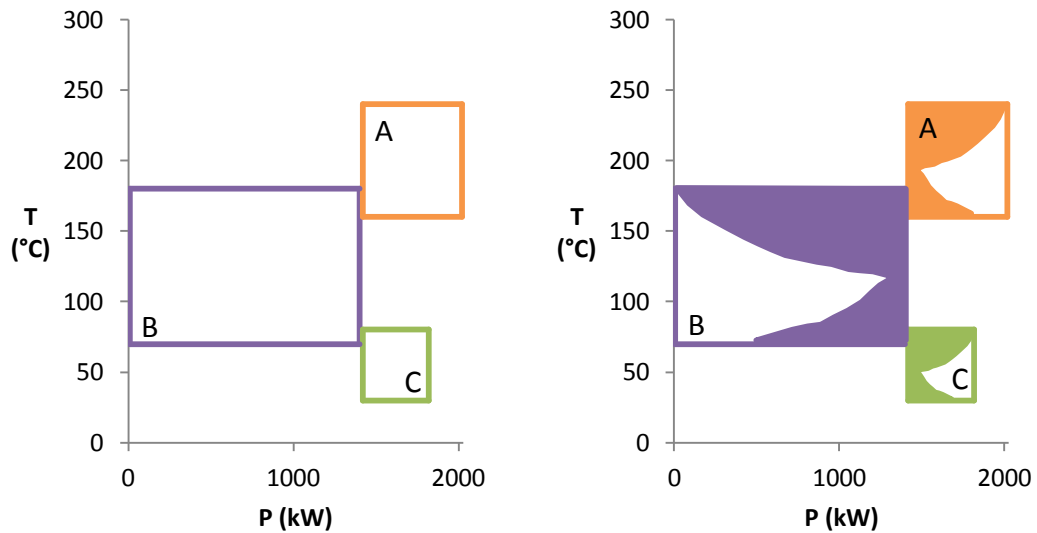


Kuva 18. Välilauhdutin tuo yhdistelmäkäyrän lähemmäs pystyakselia. Energiasäästö on verrannollinen käyrän siirtymään.

### 2.5.2 Usean kolonnin integrointi

Tarkastellaan yhden kolonnin integroinnissa käytettyä laatikkokuvausta usean kolonnin jakamisessa erilleen taustaprosessista ja toisistaan (Kuva 19). Tavoitteena on taas saada mahdollisimman pieni yhteislämmönsiirto, jolloin A- ja C-kolonnilaatikat pitäisi saada tuotua lähemmäs pystyakselia, pois B-laatikon takaa jo valmiiksi isosta lämmönsiirtotarpeesta. Laatikkomallista eivät lämpötilan ja tehon välinen yhteys näy, sillä se kuvaa ainoastaan kokonaislämmitys- ja jäähdytystarpeita. Kuten kappaleessa 2.1.4 Kolonnin välipohjan tehontarve kerrottiin, antavat yhdistelmäkäyrät tarkempaa informaatiota kolonnin toiminnasta. Kolonnin yhdistelmäkäyrät kertovat, mihin lämpötilaan ja kuinka suurella teholla toimivia sivulämmönsiirtimiä voidaan kolonniin lisätä. Korvataan laatikat

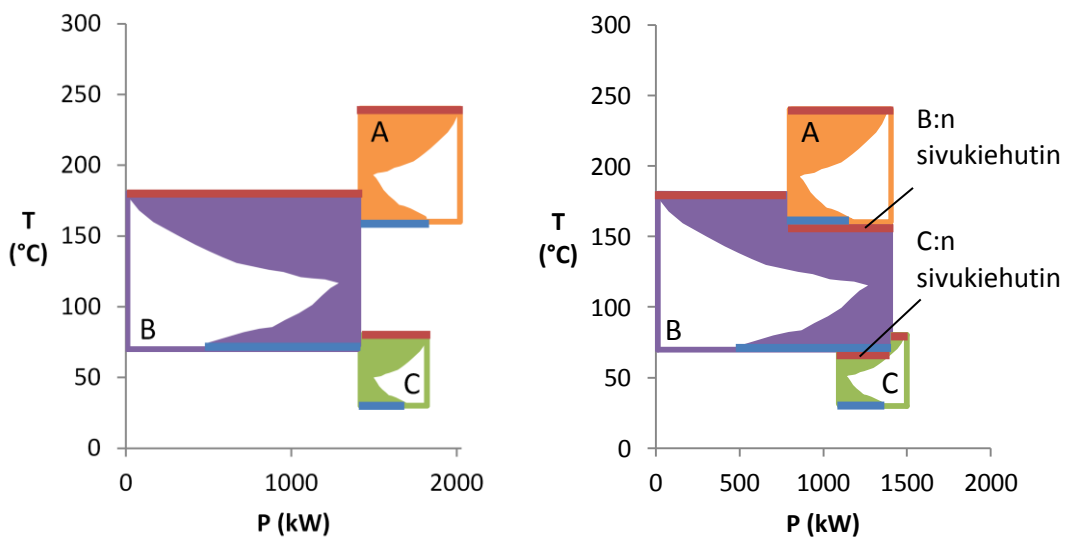
yhdistelmäkäyrillä samaan kuvaan. B-kolonnin yhdistelmäkäyrä on käännetty, koska näin nähdään integrointikohdat paremmin.



Kuva 19. Usean kolonnin prosessi havainnollistettuna laatikoilla. Oikealla olevaan kuvaajaan on merkitty yhdistelmäkäyrät näkyviin. (Dhole ja Linnhoff, 1993)

Yhdistelmäkäyrien antaman informaation perusteella voidaan tehdä kolonnikohtaisia muutoksia. A-kolonne saadaan kokonaan lämpöintegroitua B-kolonnin oheen, kun B-kolonneiin lisätään sivukiehutin. Sivukiehutin pienentää B-kolonnin laatikon pinta-alaa riittävästi, jolloin A-kolonnia voidaan siirtää vasemmalle kuvaajassa. Koska B-kolonnin jäähdytystarve on jo valmiiksi hyvin pieni verrattuna C-kolonnin kiehutustarpeeseen, ei B-kolonneiin tehdä muita muutoksia. C-kolonneiin puolestaan lisätään sivukiehutin, jolla C-kolonne saadaan pidettyä samassa lämpötilassa, mutta suurimmaksi osaksi lämpöintegroitua. Valmis integrointi on kuvassa 20.





Kuva 20. Vasemmalla nähdään kiehutustarpeet punaisella ja lauhdutustarpeet sinisellä. Oikealla kolonniprofiilien avulla integroitu prosessi, johon on lisätty kaksi sivukiehutinta. (Dhole ja Linnhoff, 1993)

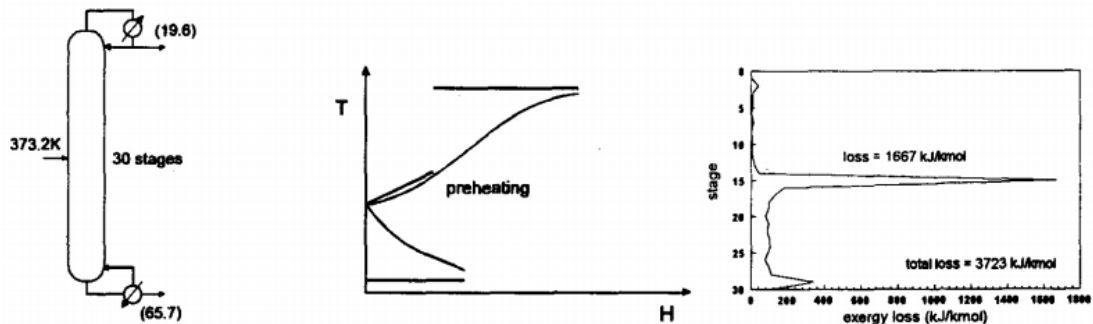
Lämpötilatasojen säilyttämisessä on huomioitava, että lämmön tuominen ja poistaminen suunnittelun vaatimilla täsmällisillä tasoilla voi vaatia monimutkaisia järjestelyjä (Kemp, 2007), jolloin voi kuitenkin olla kannattavampaa muuttaa painetta hieman ja näin siirtää lämpötilatasoja.

## 2.6 Kolonnin termodynaamisen analyysin oletusten tarkistusmenetelmiä

Dhollen ja Linnhoffin menetelmä perustuu termodynaamiseen minimitilaan, joka on todellisuudessa saavuttamaton tilanne. Menetelmässä yksinkertaistetaan monikomponenttisislausta LK-HK -menettelyllä (*Light Key - Heavy Key*, kevyt ja raskas avainkomponentti), vaikkei avainkomponenttien keskinäinen täydellinen erotus monikomponenttisislauksessa ole mahdollista (Soares Pinto, *et al.*, 2011). Analyysin tulosten tarkkuutta voidaan parantaa vähentämällä tehtyjä oletuksia. On kuitenkin hyvä muistaa, että vaikka tehdyt oletukset aiheuttavat epätäydellisiä suunnittelutuloksia tietyissä olosuhteissa, on termodynaaminen analyysi yksinkertaisuutensa ja havainnollisuutensa vuoksi erittäin käyttökelpoinen työkalu.

Seuraavassa esitellään lyhyesti tarkennusmenetelmien kohde ja yleinen toimintaperiaate.

Zemp *et al.* (1997) lisää kolonnin termodynaamisen analyysin tueksi eksergiaprofiiliin. Zempin *et al.* mukaan prosessin täydellisen palautumiskyvyn oletus rajoittaa erityisesti monikomponenttislauksen käsittelyä. Eksergiaprofiili näyttää eksergiahäviöt pohjakohtaisesti. Profiilin avulla voidaan vertailla kolonnin kiehutus- ja väkevöintiosia keskenään tasavertaisesti. Eksergiaprofiili ja ajavia voimia kuvaava xy-diagrammi antavat samanlaisia tuloksia, mutta eksergiaprofiilin luonne on herkempi ja näin ollen piikit ja muut poikkeamat näkyvät siinä paremmin. Eksergiaprofiilin käyttöä esitetään kuvassa 21. Termodynaamiseen analyysiin verrattuna eksergiaprofiilin tekoon vaaditaan lisäksi entropiataseet, jotka yhdistetään tehotaseisiin.



Kuva 21. Eksergiaprofiili tislaukskolonnin termodynaamisen analyysin tukena. Vasemmalla kolonnin rakenne, keskellä yhdistelmäkäyrä ja oikealla eksergiaprofiili. Eksergiaprofiilin piikki näkyy selvästi. (Zemp, *et al.*, 1997)

Bandyopadhyay *et al.* (1998) tarkastelee palautussuhteen muuttamisen laskemista. Palautussuhteen muuttaminen on sidoksissa yhdistelmäkäyrän (CGCC) pinch-kohtaan, joka yleensä on lähellä syöttöpohjaa. Yhdistelmäkäyrä saa syöttöpohjien kohdalla hieman erilaisia arvoja riippuen siitä, aloitetaanko käyrän rakentaminen kiehuttimen vai lauhduttimen päästä, sillä yhdistelmäkäyrän teossa ei huomioida syöttöpohjien tehotasapainoa. Simuloinnista saadaan syötön tehoksi sama kuin

syöttöpohjan teho, vaikka syötön ja syöttöpohjan koostumus voi olla hieman erilainen. FSC-menetelmässä (*Feed Stage Correction*, syöttöpohjan korjaus) syöttöpohjan todellista tehoa approksimoidaan simuloinnista saatujen komponenttien suhteellisen haihtuvuuden avulla.

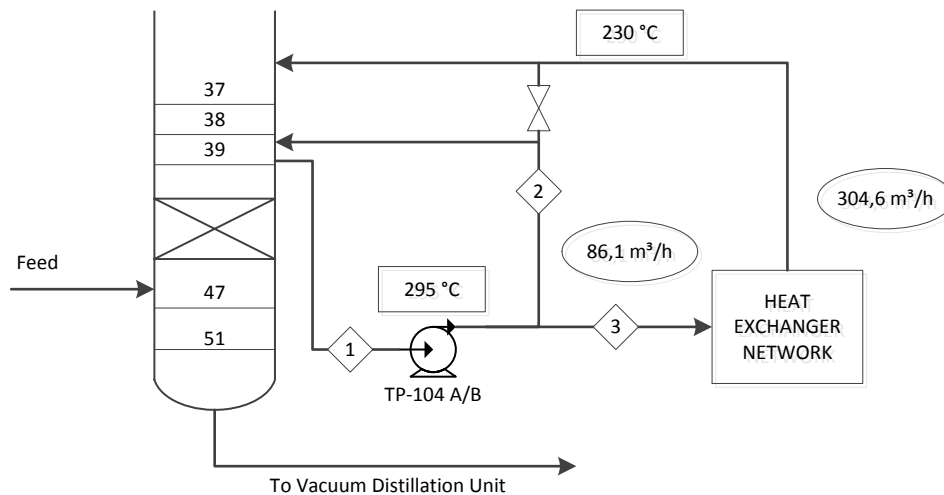
Soares Pinto *et al.* (2011) ehdottaa vaihtoehtoa sivulämmönsiirtimien lisäyksen suunnitteluun. MDF-profiilimenetelmässä (*Minimum Driving Force*, pienin ajava voima), hyödynnetään eksergiaprofiileja. MDF-menetelmässä eksergiahäviöiden todetaan olevan verrannollisia käyttöviivojen ja tasapainokäyrän väliseen etäisyyteen, joka kertoo ajavien voimien suuruudesta kullakin välipohjalla. MDF-menetelmä eroaa Dholen ja Linnhoffin (1993) palautettavaan prosessiin perustuvasta menetelmästä käsittelemällä kolonna vähemmän ideaalisilla oletuksilla. Pienintä ajavaa voimaa tarkastelemalla sivukiehuttimelle asetettu lämpökuorman vähennystavoite on vähemmän kunnianhimoinen, ja samalla huomioidaan pohjien lisäys sivukiehuttimen yläpuolelle erotustehokkuuden säilyttämiseksi. Pohjien lisäyksellä tavoitellaan pitoisuuksien säilyttämistä ennallaan.

## **2.7 Analyysin hyödyt**

Tislauskolonnin termodynaamisen analyysin hyödyntäminen onnistuu parhaiten vasta suunnitteluvaiheessa oleville yksiköille. Tällöin prosessi voidaan suunnitella heti ensimmäisellä kerralla hyvin toimivaksi. Analyysistä on kuitenkin selvää hyötyä myös käynnissä oleville yksiköille, sillä analyysin avulla saadaan tietoa kolonnin sisäisistä tapahtumista. Analyysi on hyvä pohja revamp-suunnitteluun, jolloin esimerkiksi syötön esilämmityksen lisäämisellä voidaan merkittävästi vähentää syöttöpohjan läheisyydessä tapahtuvia eksergiahäviöitä.

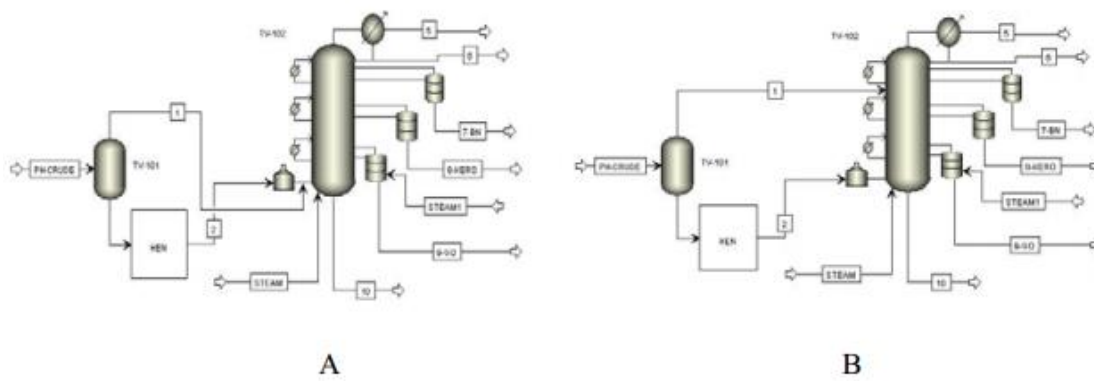
Tarighaleslami *et al.* (2011) vertailee kolmea tapaa vähentää käynnissä olevan raakaöljy-yksikön eksergiahäviöitä simulointia käyttäen. Testatut muutokset koskevat syöttölaadun vaihtelua, suurempaa jäähdytystä kiertopalautusvirralle sekä syöttövirtausten uudelleenjärjestelyä. Syöttölaadun muutoksilla ei todeta olevan mitään vaikutusta. Kiertopalautusvirran jakoa muuttamalla energiankulutus laskee

12,8 %. Samalla uunin lämpökuorma kasvaa 0,0015 %, mikä on mitättömän vähän. Kiertopalautusvirtaa muutetaan siten, että aiempaa suurempi osa kiertopalautusvirrasta kulkee jäähdytyksen kautta (Kuva 22).



Kuva 22. Kiertopalautusvirran jaon muutos. Kiertopalautusvirta 1 jaetaan virtoihin 2 ja 3. Muutoksessa pienennetään virran 2 määrää ja kasvatetaan virran 3 määrää saman verran, jolloin aiempaa suurempi osa kulkee jäähdytyksen (*Heat Exchanger Network*) läpi. (Tarighaleslami, *et al.*, 2011)

Tehokkain toimenpide artikkelin mukaan on syöttökohdan muutos (Kuva 23). Energiankulutus pienenee 18 % ja uunin lämpökuorma laskee 4 %. Alkuperäinen syöttö tulee tislaukolonnin alaosan yhdistettynä. Syötössä yhdistetään flash-kolonnin höyryjake lämmönvaihtimien ja uunin kautta kulkeneeseen nestejakeeseen. Uudistuksen jälkeen höyryjake flash-kolonnista ohjataan tislaukolonnin yläosaan sille pohjalle, jonka lämpötila vastaa parhaiten höyryjakeen lämpötilaa. Nestejake kulkee uudistetussa systeemissä edelleen lämmönvaihtimien ja uunin kautta kolonnin alaosan.



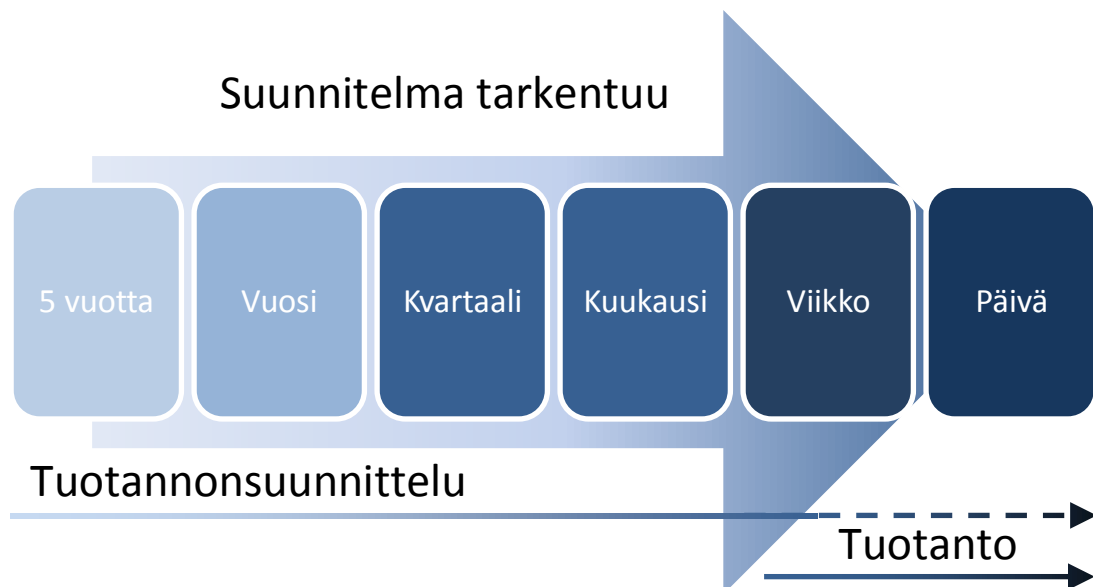
Kuva 23. Syöttökohdan muutos. Alkuperäisessä kokoonpanossa (A) flash-kolonnin höyryäe syötetään pääkolonnin alaosaan yhdessä muun syötön kanssa. Muutoksen jälkeen (B) sama höyryäe syötetään pääkolonniin sellaiselle pohjalle, jolla on höyrösyöttöä vastaava lämpötila. (Tarighaleslami, *et al.*, 2011)

## SOVELTAVA OSA

### 3 Pohjaöljyn käsittely -yksikkö

#### 3.1 Operaattorin, käyttöinsinöörin ja tuotantomestarin tehtävät

Päivittäisestä tuotannon sujumisesta ja prosessin ajamisesta on päävastuussa operaattori, jonka tukena toimivat käyttöinsinööri sekä tuotantomestari. Kuvassa 24 on havainnollistettu tuotannonsuunnittelun erilaisia aikakäsityksiä. Syöttölaadun vaihdokset ja muut isommat muutokset ovat yleensä etukäteen tiedossa. Näistä tuotannon ohjaus välittää tiedon vuoropäällikölle, jonka kautta tieto kulkee tuotantomestarille ja siitä operaattorille.



Kuva 24. Tuotannonsuunnittelun sekä valmistuksen kannalta oleelliset aikavälit. (Salmio, 2012)

Operaattorin tehtävä on vuoronsa aikana seurata ja säätää prosessia. Käyttöinsinööri tarkastelee prosessin toimintaa pidemmällä aikavälillä. Tuotantomestari on vuorojen esimies, ja vastaa koko tuotantolinjasta. Operaattorit, käyttöinsinööri ja tuotantomestari tapaavat toisiaan vähintään kolmesti viikossa palaverissa, jonka lisäksi he tekevät yhteistyötä muulloinkin. Tuotannon optimointi ja seuranta ovat käyttöinsinöörin ja operaattorin tehtäviä. Käyttöinsinööri ja tuotantomestari seuraavat tuotantoa päivä- ja viikkotasolla.

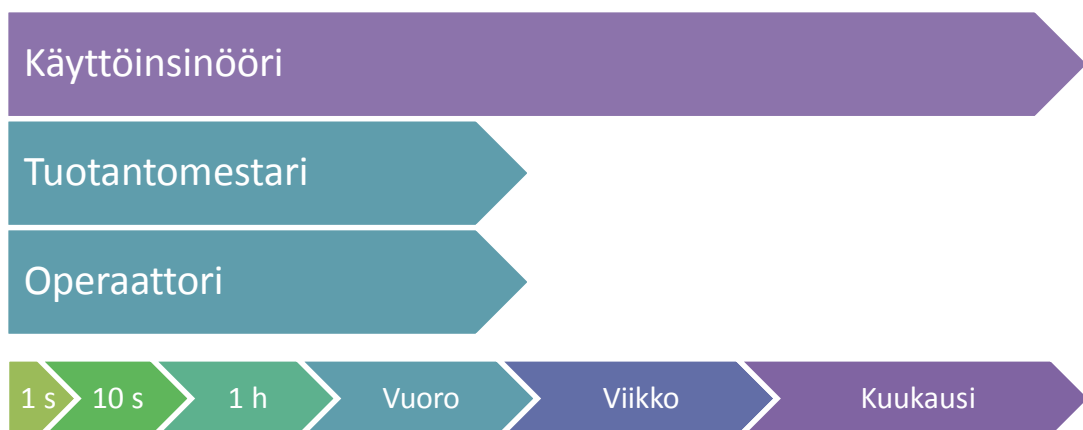
Operaattori vastaa prosessin ajamisesta valvomossa vuoronsa aikana. Hänen tehtäviinsä kuuluvat edellisen vuoron päiväkirjamerkintöjen läpikäynti sekä analyysitietojen seuranta laboratoriotietokanta OiLi:sta. Operaattorin ensisijainen työkalu on automaatiojärjestelmä Metso, josta näkyvät kaikki prosessimuuttujat. Prosessitietoja kokoavasta TOP-järjestelmästä operaattori seuraa tietokonesäätöjen toteutumista. Operaattorin velvollisuuksiin kuuluu tehdä tarvittavia muutoksia, mutta hän saa muutostarpeista tietoa myös käyttöinsinööriltä. Monimutkaisempien tietokonesäätöjen tekemisessä käyttöinsinööri on operaattorin tukena. Isommista muutoksista operaattoria ohjeistaa tuotantomestari. Prosessin toiminta on jatkuvassa muutoksessa esimerkiksi syötön koostumuksen hieman vaihdellessa.

Vuoromestari on operaattoreiden esimies ja vastaa vuoron aikana yksiköiden operoinnista. Tuotantomestari toteuttaa tuotannon ohjaukselta saadut yksiköiden ajomuutokset. Tärkeimpiä järjestelmiä tuotantomestarin työssä on päiväkirjan seuraamisen lisäksi Metson automaatiojärjestelmä, jonka avulla tuotantomestari pysyy ajan tasalla prosessin tilasta. Prosessitietoja tuotantomestari seuraa Metson lisäksi TOP-järjestelmästä päivittäin. Vähintään parin päivän välein tuotantomestari tarkistaa analyysituloksia OiLi:sta, mutta tieto poikkeavista tuloksista välittyy vuoron alkuun sijoittuvassa vuoropalaverissa. (Virolainen, 2015)

Käyttöinsinöörin tehtäviin kuuluu prosessin optimointi ja pidempiaikainen seuranta. Käyttöinsinööri seuraa prosessin tilaa päivittäin TOP-järjestelmän ja OiLi:n avulla, mutta työtehtävien moninaisuudesta johtuen käyttöinsinööri ei ole jatkuvasti tekemisissä operoinnin kanssa. Käyttöhyödykkeitä käyttöinsinööri seuraa viikko- ja

kuukausitasolla UMS-järjestelmästä. Metson automaatiojärjestelmään käyttöinsinöörillä on pääsy etäyhteyden kautta, joten hän voi seurata prosessia yhtä tarkasti kuin operaattorikin. Käyttöinsinööri ohjeistaa pienistä muutoksista suoraan operaattoria. (Kulin, 2014a)

Operaattorin, tuotantomestarin ja käyttöinsinöörin tehtävät tapahtuvat hieman erilaisilla aikaväleillä. Operaattorin ja tuotantomestarin tehtävät rajoittuvat tavallisesti yhden työvuoron ajalle, kun käyttöinsinööri tarkastelee yksikön toimintaa päivittäisen toiminnan lisäksi viikko- ja kuukausitasolla. Tuotannon päivittäisen toiminnan työntekijäryhmien tehtävien aikaväliä havainnollistetaan kuvassa 25.



Kuva 25. Tuotannon työntekijäryhmien tehtävien aikavälit. Operaattorin ja tuotantomestarin tehtävät ovat yleensä vuorokohtaisia. Käyttöinsinöörin tehtävien aikaväli on usein pidempi kuin operaattorilla ja tuotantomestarilla.

### 3.2 Laadun ja kulutuksen seurantatavat ja -järjestelmät

Porvoon jalostamolla käytetään monenlaisia seurantajärjestelmiä, sillä työntekijäryhmät tarvitsevat työtehtävissään erilaisia tietoja ja työkaluja. TOP-järjestelmässä ohjataan jalostamon tärkeimpien yksiköiden laatua ja kapasiteettia,

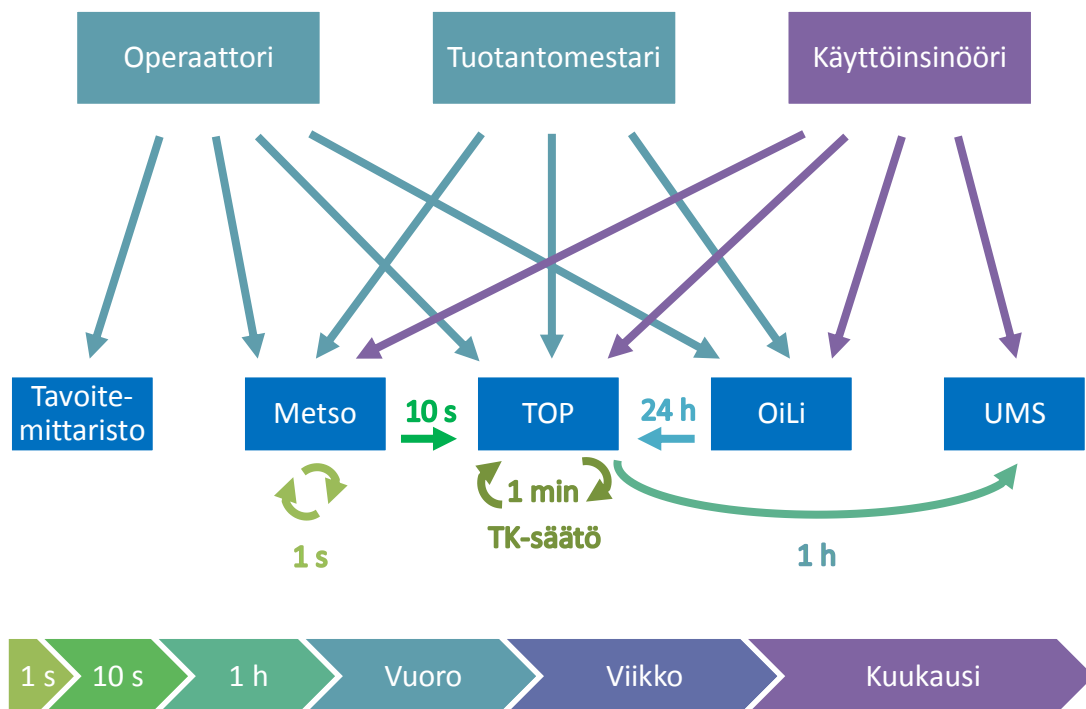


eli sitä käytetään jalostamon prosessiohjaukseen. Tietokonesäädöt toimivat TOP:n kautta. TOP-järjestelmään kuuluu jalostamon kattava prosessitietokanta. Järjestelmää käytetään jatkuvasti jalostamon ohjauksessa operoinnin apuna ja sitä hyödynnetään esimerkiksi häiriö- ja käytettävyysselvityksissä. TOP on Metson automaatiojärjestelmää pelkistetympi, eikä sieltä löydy kaikkia prosessimuuttujia tai laitteita (Kulin, 2014a). TOP-järjestelmästä nähdään kaikki oleellimmat tiedot prosessin toiminnasta. (Eerikäinen, 2007)

OiLi eli Oil Refining LIMS (*Laboratory Information Management System*) on Neste Oilin laboratorioanalyysitietokanta, jota käytetään kaikissa Neste Oilin laboratorioissa. Järjestelmällä hallitaan näytteitä tuotevirroista. OiLi:sta käyttäjät hakevat analyysituloksia ja näin seuraavat laadun toteutumista. OiLi:sta löytyy näytetuloksia pitkällä aikavälillä, jolloin voidaan seurata trendien kehittymistä. TOP ja OiLi eivät keskenään vaihda tietoja automaattisesti, mutta käyttäjä voi yhdistää kummastakin järjestelmästä saatavat tiedot. TOP-järjestelmälle voi antaa OiLi:n dataa, jota TOP pystyy käsittelemään.

UMS (*Utility Management System*) on käyttöhyödykkeiden kulutuksen ja kustannusten seurantajärjestelmä, joka otettiin käyttöön Neste Oililla elokuussa 2014. Järjestelmästä saadaan tuntitasolla tiedot höyryn, sähkön, energiantuotantoon käytettävien polttoaineiden ja veden kulutuksesta prosessiyksiköittäin. Järjestelmästä nähdään kulutuspiikit ja häiriöt, ja tietoa saadaan reaaliaikaisesti kulutuksesta sekä siihen vaikuttavista tekijöistä. Käyttöhyödykkeiden kulutusta pystytään ennustamaan UMS-järjestelmällä. UMS-järjestelmää hyödynnetään lisäksi kuukausiraportointiin ja kustannusten ennustamiseen. (Neste Oil, 2014b)

Tämän työn tavoitteena on luoda uusi työkalu, tislausosan operoinnin tavoitemittaristo. Mittaristo on suunniteltu lähinnä operaattoreiden käyttöön muiden tietokantojen ja järjestelmien rinnalla. Tuotannon järjestelmien suhde aikaan on esitetty kuvassa 26. Lisäksi kuvassa havainnollistetaan operaattorille, tuotantomestarille sekä käyttöinsinöörille olennaisimmat järjestelmät.



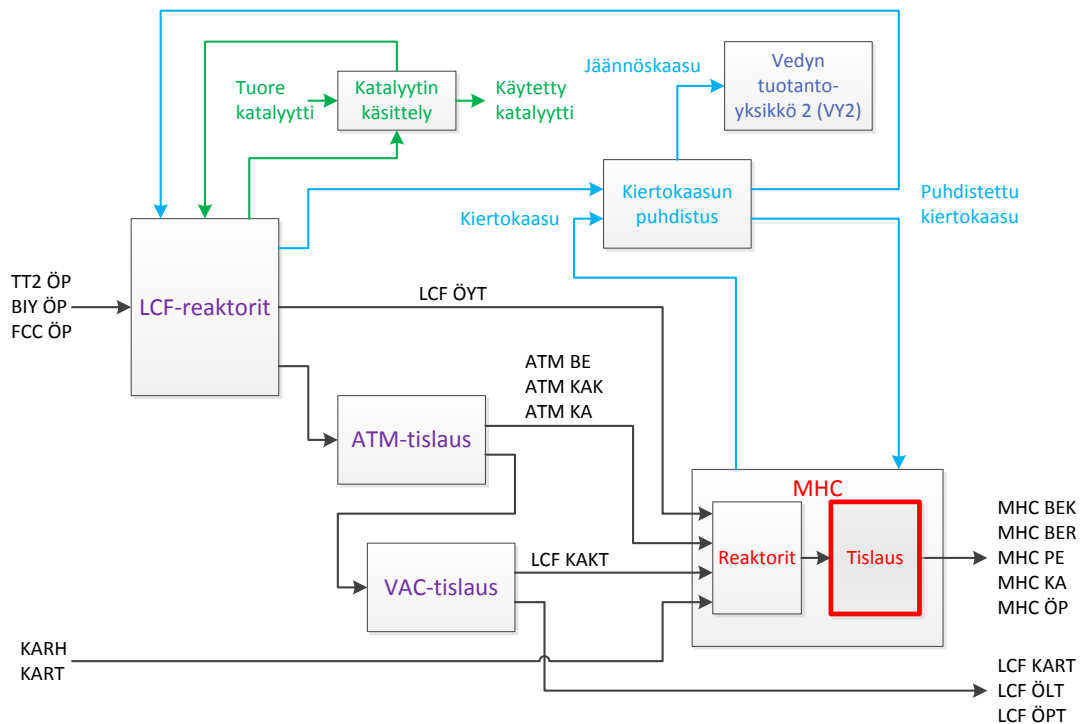
Kuva 26. Tuotannon työntekijäryhmien yleisimmin käyttämät järjestelmät sekä järjestelmien toiminta suhteessa aikaan. Automaatiojärjestelmä Metso päivittää tilatiedot yhden sekunnin välein. TOP-järjestelmän sykli on 10 sekuntia ja sen kautta toimivan tietokonesäädön yksi minuutti. Analyysituloksia tuodaan OiLi:sta TOP-järjestelmään tavallisesti kerran vuorokaudessa. Käyttöhyödykkeiden seurantajärjestelmä UMS saa tunnin välein tietoja TOP-järjestelmästä.

### 3.3 Yksikön kuvaus

Pohjaöljyn käsittely -yksikön (PÖY) päätuotteena on rikitön diesel. Prosessi on korkeapaineinen ja sisältää vetykrakkaus- ja hydrausvaiheet. Syöttönä yksikössä käytetään tyhjötislattua pohjaöljyä, jolloin pohjaöljystä saadaan kevyempiä tuotteita. Prosessin päävaiheita ovat pohjaöljyn vetykrakkaus LCF-osassa (*Lummus Cities Fining*) ja MHC-jälkikäsittely (*Mild Hydrocracker*). Yksikköön kuuluu myös katalyytin käsittelyosa, atmosfäärinen tislauk, tyhjötislaus, amiini- ja öljyepesureita,

korkeapaine-erottimia sekä käyttöhyödykejärjestelmä. Yksinkertaistettu lohkokaavio yksikön toiminnasta on kuvassa 27.

Yksikön toiminnassa on paljon vaihtelua, mihin on useampia syitä. LCF- ja MHC-osat on integroitu niin vahvasti yhteen, että esimerkiksi LCF-uunin lämpötilan muutokset heijastuvat MHC-tislausosan toimintaan. Katalyytti pitää vaihtaa kerran vuorokaudessa, mikä tarkoittaa katalyytin kunnon käyvän ääri rajoillaan joka päivä, minkä lisäksi uuden, kylmän katalyytin syöttö on prosessihäiriö. Yksikön toimintaa tasapainotetaan KART-lisäsyötön määrää vaihtelemalla. (Viertorinne, 2014a)



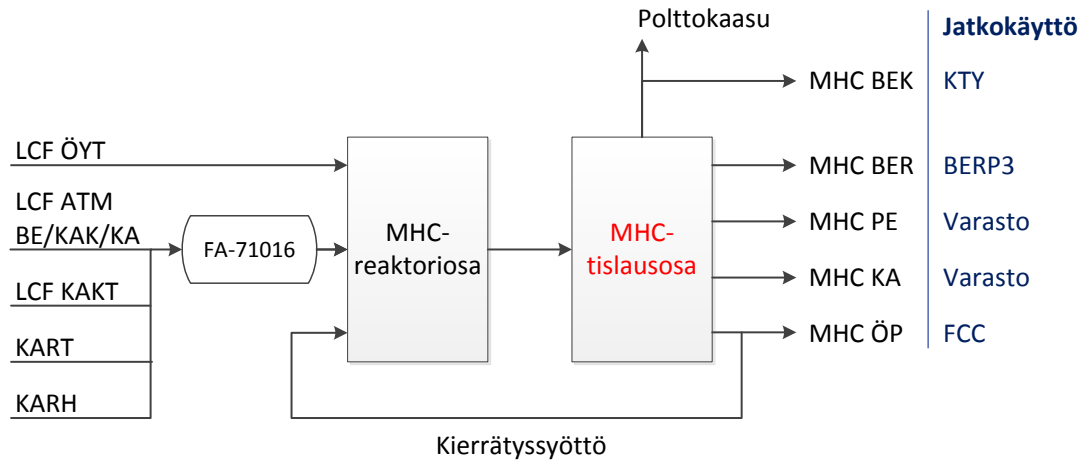
Kuva 27. Pohjaöljyn käsittely -yksikön yksinkertaistettu lohkokaavio. Tässä työssä käsitellään punaisella merkityn MHC-osan tislausta. LCF-osa on merkitty violetilla. Vedyn tuotantoyksikkö 2 (VY2) tuottaa vetyä Pohjaöljyn käsittely -yksikön tarpeisiin. Katalyytin käsittely ja kiertokaasun puhdistus ovat tukiprosesseja.

Pohjaöljyn käsittely -yksikköön syötetään tyhjötislattua pohjaöljyä Tyhjötislausyksiköstä 2 (TT2) tai Bitumiyksiköstä (BIY) sekä Leijukatalyyttisen

krakkausyksikön (FCC, *Fluid Catalytic Cracker*) aromaattipitoista pohjaöljyä. Pohjaöljysyöttö esilämmitetään tyhjötislausosassa, josta se johdetaan syöttösäiliöön FA-71001. Syöttösäiliöstä pohjaöljy pumpataan uunin BA-71001 kautta ensimmäiseen LCF-reaktoriin. LCF-reaktoreita on sarjassa kolme kappaletta (DC-71001, -71002 ja -71003), ja viimeistä ennen on välistripperi (DA-71003). Reaktoreissa käytetään katalyyttiä ja vetyä pitkien hiiliketjujen krakkaukseen sekä rikin ja metallien poistoon. Vedyn avulla estetään olefiinien eli kaksoissidosten syntyminen hiilivetyketjuihin.

Viimeisen LCF-reaktorin tuote ja siihen sekoitettu välistripperin kaasufaasi yhdistetään, josta erottunut kaasuvirta (LCF ÖYT) on osa MHC:n syöttöä. LCF-reaktorien raskaampi tuote kulkee kaksifaasivirtauksena atmosfääriseen tislaukolonniin (ATM). Atmosfäärisen tislaukolonnin (DA-72001) kevyet tuotteet (ATM BE, ATM KAK ja ATM KA) menevät MHC-osaan, ja pohjatuote jatkaa tyhjötislauskolonniin (VAC). Tyhjötislauskolonnin DA-73001 tuotevirroista yhdistetään 1. vaiheen MHC-reaktorille kevyt tyhjökaasuöljy (LCF KAKT). Muut ulosotot ovat erinäisiä välituotteita, joita ei hyödynnetä MHC-osassa.

MHC-osa jaetaan reaktoriosaan ja tislaukseen (Kuva 28). Kaikki MHC-osan syöttövirrat tulevat reaktoriosan 1. vaiheen kiintopetireaktorille DC-71004. LCF-osan syöttöjen lisäksi MHC-reaktoriosaan syötetään varastosta lisäksi hydrattua raskasta kaasuöljyä (KARH) sekä raskasta kaasuöljyä (KART). 1. vaiheen reaktorin rinnalla toimii 2. vaiheen reaktori DC-71005, johon kierrätetään ainoastaan MHC-tislauksen pohjatuotetta (MHC ÖP).

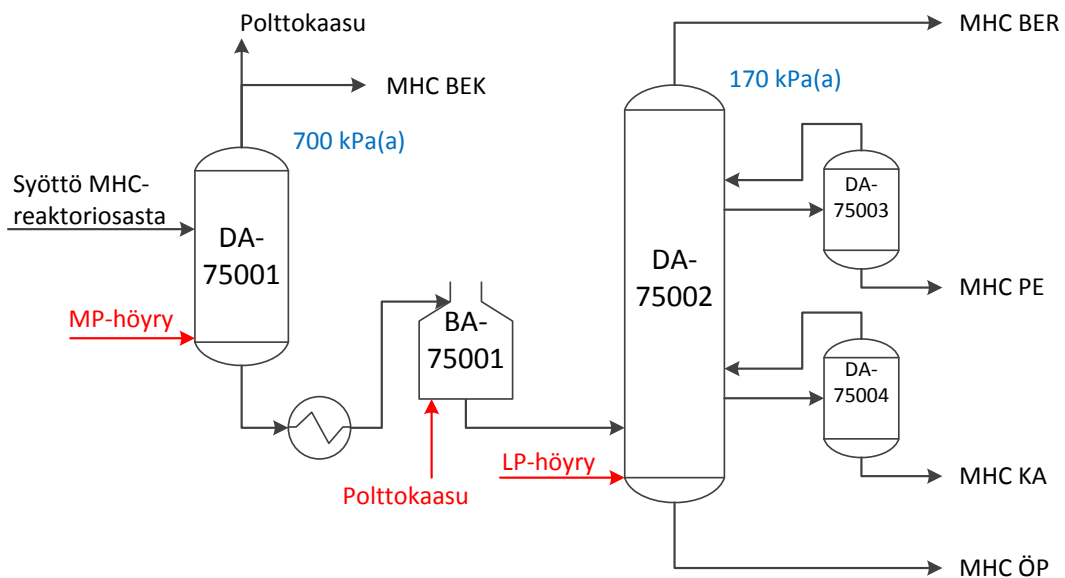


Kuva 28. MHC:n reaktori- ja tislausosa. Tässä työssä käsitellään MHC-tislausosaa. Petroli (PE) ja kaasuöljy (KA) ajetaan varastosäiliöihin, ja muut tuotteet jatkojalostetaan muissa yksiköissä.

Reaktoriosan syöttö suodatetaan kiintoaineista katalyyttikerrosten suojaamiseksi. 1. vaiheessa tapahtuu pääasiassa hydrausreaktioita ja hieman vetykrakkausta, kun taas 2. vaiheessa tapahtuu suurin osa krakkauksesta. Kevyt bensiini jatkojalostetaan Kaasuöljytislausyksikössä (KTY), raskas bensiini Bensiinin rikinpoistoyksikössä 3 (BERP3) ja MHC:n pohjaöljy FCC-yksikössä. Petroli ja kaasuöljy ajetaan varastosäiliöihin.

## 4 MHC-tislausosa

MHC-tislausosassa jaetaan MHC-reaktoriosasta tullut syöttö tuotteiksi. MHC-tislausosan syöttö on MHC:n reaktoreiden yhdistetty pohjatuote, joka kulkee erottimien kautta esistripperille DA-75001 (Kuva 29). Esistripperi erottaa kevyet nestekaasutisleet (MHC BEK) ja rikkivetyä reaktoriosan tuotteesta. Esistripperin pohjatuote lämmitetään syöttöuunissa BA-75001 ennen päätuotekolonnia DA-75002, jossa tapahtuu jakotislaus neljään jakeeseen. Jakeita ovat raskas bensiini, petroli, kaasuöljy ja pohjaöljy (MHC BER, MHC PE, MHC KA ja MHC ÖP). Petroli- ja kaasuöljyjakeiden laatua parannetaan sivustrippereissä DA-75003 ja DA-75004.



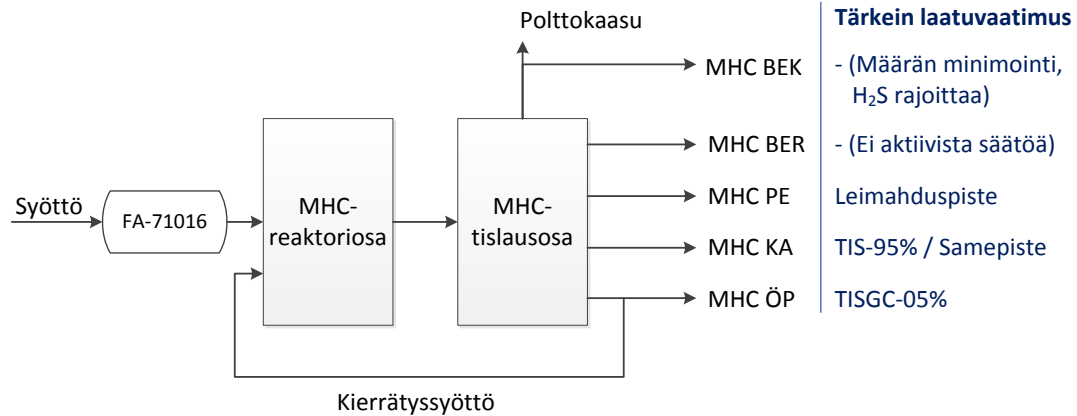
Kuva 29. MHC-tislausosan periaatteellinen virtauskaavio. Esistripperin DA-75001 toimintapaine on noin 700 kPa(a) ja päätuotekolonnin DA-75002 noin 170 kPa(a). Esistripperiin syötetään keskipainehöyryä (MP-höyry) ja päätuotekolonnin matalapainehöyryä (LP-höyry). Sivustrippereissä on kiehuttimet.

#### 4.1 Laatuvaatimukset

LCF ja MHC ovat joustavia prosesseja, jolloin ne mukautuvat helposti kapasiteetin, konversion sekä syöttö- ja tuotelaatujen muutoksiin. Ajo-opaste kertoo, miten yksikköä tulee ajaa, eli mitkä ovat jalostukselle asetetut jakeiden laatuvaatimukset. Tuotannonsuunnittelu antaa ohjeistuksen vuoropäällikölle puhelimitse tai sähköpostilla, jonka perusteella vuoropäällikkö kirjoittaa ajo-opasteen. Esimerkki ajo-opasteesta on liitteessä 1.

Ajo-opasteessa on neljä tuotteen kiehumisaluejakaumaan liittyvää laatuvaatimusta, joihin käytetään kolmea eri määrittämenetelmää. Pohjaöljyn (ÖP) TISGC-05% (°C) eli tislauksen alkupiste määritetään ASTM-standardilla D2887 (*ASTM International*, aiemmin *the American Society for Testing and Materials*). ASTM D2887 perustuu kaasukromatografiseen simuloidun tislauksen tekniikkaan (Söderlund, 2014). Raskaan bensiinin (BER) TISGC-95%:lle (°C) eli tislauksen loppupisteelle käytetään ASTM D2887:n pohjalta kehitettyä menetelmää NM94 (Pettinen, 2014). Petrolin (PE) ja kaasuöljyn (KA) TIS-95% (°C) määritetään EN ISO 3405 -menetelmällä (*European Standard*, eurooppalainen standardi; *International Organization for Standardization*, kansainvälinen standardointijärjestö). EN ISO 3405 -menetelmä vastaa standardia ASTM D86 (Selin, 2014). ASTM D2887 ja D86 eivät ole keskenään vertailukelpoisia menetelmiä (Pettinen, 2014).

Vuoropäällikkö on vastuussa ajo-opasteen käyttöönotosta. Uusi ajo voidaan aloittaa, kun tuotteelle tarkoitettu säiliö saadaan ajettua tyhjäksi. Näin säiliön sisältö on tunnettu ja laatu on kauttaaltaan yhtäläistä säiliössä. Ajoparametrien muuttuminen ei ole sidoksissa esimerkiksi vuoronvaihtoihin, vaan valmistuksen tarpeisiin. Ajo-opasteiden perusteella prosessissa tehdään muutoksia tietokonesäätöihin, joilla tuotteille asetetut vaatimukset täytetään. Ajo-opaste antaa tuotejakeesta riippuen tietyt vaatimukset. Esimerkiksi rikin määrä on toiselle jakeelle laatuvaatimus ja toiselle olennaista on vain tuotemäärän minimoiminen. Ajo-opasteet vaihtelevat haluttavan lopputuotteen mukaan. Kuvassa 30 ovat MHC-osan tuotteet ja tärkeimmät laatuvaatimukset soveltuville tuotteille.



Kuva 30. Tuotteiden tärkeimmät laatuvaatimukset.

#### 4.1.1 Laadun seuranta

Ajo-opasteessa annetaan kullekin jakeelle useitakin kriteerejä, mutta yleensä niistä vain yksi tarvitsee huomioida; muut eivät rajoita prosessia. Petroli ja kaasuöljy ovat yksikön päätuotteet, jonka takia niiden laatuvaatimukset ovat tärkeimmät. MHC-tislausosan monimuuttujasäädin MDAC ajaa ensisijaisesti prosessia kohti petrolin ja kaasuöljyn vaatimuksia. Eniten tuotteen koostumuksen määräytymiseen vaikutetaan raskaiden molekyylien erottamisella kolonnin väkevöintiosassa ja kevyiden molekyylien erottamisella strippausosassa. Petrolijakeen tuotelaatukriteerinä on yleensä leimahduspiste, jonka vaihteluväli on noin 45–70 °C. Leimahduspistettä mitataan online-analysaattorilla, jonka lisäksi se lasketaan AspenIQ-ohjelmassa muista mittaustiedoista. Laskettua ennustetta korjataan analysaattorin tuloksella (Lämsä, 2013).

Kaasuöljyn tärkein laatuvaatimus vaihtelee, sillä se riippuu haluttavien lopputuotteiden ominaisuuksista. Kriteerinä on joko TIS-95% (°C) tai samepiste (°C). TIS-95%:lla tarkoitetaan lämpötilaa, jossa 95 % tuotteesta tislautuu eli se on tislauksen loppupiste. TIS-95% -spesifikaatio on kaasuöljyjakeelle yleensä hieman alle 360 °C. Samepiste riippuu tuotelaadusta, esimerkiksi dieselin kesälaadun samepiste on 0 °C. Samepistettä ei ajon aikana pystytä suoraan mittaamaan, vaan samepiste saadaan ainoastaan laboratorionäytteestä. Laboratorioarvoja verrataan



kaasuöljyn tislaukkyrään, jota tarkkailemalla saadaan arvio samepisteen arvosta (Viertorinne, 2014b). Kaasuöljyn samepiste nousee yli sallitun arvon, jos tuotteeseen nousee liikaa raskasta jaeetta. Petrolin leimahduspiste laskee sallitun rajan alapuolelle, jos jakeeseen päätyy liikaa kevyempiä komponentteja.

MHC-esistripperillä DA-75001 poistetaan polttokaasua ja kevytbensiiniä. Kevytbensiinin määrää halutaan minimoida, koska se on vähäarvoisinta välituotetta. Minimointia kuitenkin rajoittaa rikkivety  $H_2S$ , sillä minimoitaessa bensiinin määrää vähenee myös rikkivedyn ulosotto polttokaasun seassa. Rikkivety ei varsinaisesti haittaa prosessia laatuvaatimuksien kannalta, mutta se aiheuttaa korroosiota päätuotekolonnin DA-75002 yläosassa. Raskasbensiiniä ei säädetä aktiivisesti, sillä sen typpi- ja rikkipitoisuus ovat halutuissa rajoissa prosessin toimiessa normaalisti. Pohjaöljyllä ei ole tarkkoja laatuvaatimuksia. On kuitenkin huomioitava, että pohjaöljy on FCC-yksikön syöttö, ja sen tulee olla riittävän raskasta. Tämä saadaan asettamalla tislauksen alkupiste TISGC-05% ( $^{\circ}C$ ) riittävän korkeaksi, yli  $300^{\circ}C$ :seen. Normaalissa ajossa FCC-yksikön vaatimukset eivät kuitenkaan rajoita MHC-osan toimintaa. (Viertorinne, 2014b)

#### **4.1.2 Laatuennusteiden laskenta**

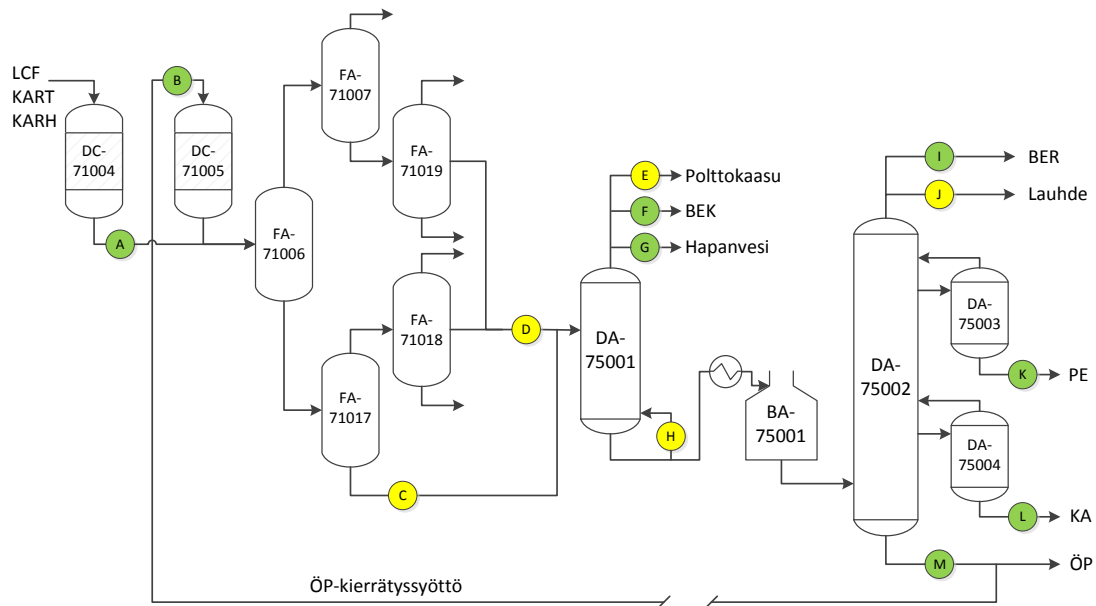
AspenIQ-ohjelma laskee ennusteet aiemmin mainitun petrolijakeen leimahduspisteen lisäksi neljälle TIS-95% -lämpötilalle. Lämpötilaennusteet saadaan BEK-, BER-, PE- sekä KA-jakeille. Laskennassa käytetyt muuttujat ovat taulukossa 1. Taulukon oikeanpuoleisimmassa sarakkeessa näkyvät yksiköt ovat mittaustietojen yksiköitä. Niitä muunnellaan laskennassa siten, että massavirtauksesta (t/h) tulee moolivirtaus (kmol/h), Celsius-asteista ( $^{\circ}C$ ) Kelvin-asteet (K) ja ylipaineesta (kPa(g)) absoluuttinen paine (kPa(a)). Petrolin leimahduspisteen ja kaasuöljyn tislauksen 95 % -pisteen laskennassa analysaattoreiden tuloksia AI75003 ja AI75006\_1H käytetään päivittämään ennustetta. Petrolin leimahduspisteen analysaattoritulos päivittyy yhden minuutin välein ja kaasuöljyn tislauksen 95 % -piste noin 32 minuutin välein (Torkkel, 2014).

Taulukko 1. AspenIQ:n laatuennusteiden laskennassa käytetyt mittaukset (Lämsä, 2013).

Laatuennuste	Kuvaus	Laskennan tagit	Kuvaus	Yksikkö
MHCTQ_DA2KEFL	PE-leimahduspisteen ennuste	TI75035	MHC PE TUOTE	°C
		PCA75018	DA-75002 YLIMENO	kPa(g)
		AI75003	MHC PE LEIMAHDUSPISTE	°C
MHCTQ_DA2PE95	PE-tislauksen 95 % -piste	TI75084	DA-75002 POHJA 11	°C
		PCA75018	DA-75002 YLIMENO	kPa(g)
MHCTQ_DA2DI95	KA -tislauksen 95 % -pisteen ennuste	FI75037	FA-75002 LAUHDE > FA-71008	t/h
		FC75017	MHC BER FA-75002 >VARASTO	t/h
		FC75038	MHC PE > DA-75003	t/h
		FC75036	MHC KA > DA-75004	t/h
		FI75016	DA-75002 NESTE > POHJA 32	t/h
		TI75086	MHC KA POHJA 31	°C
		PI75020	DA-75002 SYÖTTÖPOHJA	kPa(g)
		AI75006_1H	MHC KA-TUOTE 95% PISTE	°C
MHCTQ_DA1NA95	DA-75001 BEK:n tislauksen 95% -piste	FC75006	BEK > OSBL/KTY	t/h
		FC75001	HUIPUNPALAUTUS > DA-75001	t/h
		FI75007	FA-75001 KAASU > FA-71023	t/h
		FI75005	HAPANVESI > FA-71022	t/h
		TCA75002	DA-75001 YLIMENOKAASU	°C
		PC75005	FA-75001 KAASU > FA-71023	kPa(g)
MHCTQ_DA2NA95	DA-75002 BER:n tislauksen 95% -piste	FC75017	MHC BER FA-75002 >VARASTO	t/h
		FC75014	DA-75002 HUIPUNPALAUTUS	t/h
		FI75037	FA-75002 LAUHDE > FA-71008	t/h
		TI75018	DA-75002 YLIMENO	°C
		PCA75018	DA-75002 YLIMENO	kPa(g)

#### 4.2 Syötön määrittely

MHC-osan syötön koostumukseen vaikuttaa, missä suhteessa jakeita käytetään, mistä ne ovat tulossa ja minkälaista erää ne ovat. MHC-reaktoriosan syöttö koostuu Pohjaöljyn käsittely -yksikön LCF-osan useasta jakeesta ja kahdesta lisäsyötöstä. LCF-osan jakeet yhdistetään lisäsyöttöjen kanssa ennen MHC:n 1. vaiheen reaktoria DC-71004 (Kuva 31). MHC-tislausosan syötön koostumusta ei tällä hetkellä analysoida. Näyte voidaan tarvittaessa ottaa kuvan 31 näytekohdista C ja D. MHC-tislausosa alkaa esistripperistä DA-75001.



Kuva 31. MHC-tislausosan ja sitä edeltävät näytteenottopaikat MHC-reaktoriosan syöttöön asti. Vihreä väri tarkoittaa säännöllistä näytteenottoa ja keltainen väri pois käytöstä olevia näytteenottopaikkoja.

Taulukossa 2 on kuvan 31 näytteenottopaikkojen selitteet. Analyysituloksia voi hakea laboratoriotietokanta OiLi:sta paikan tai nimikkeen mukaan. Vihreällä värillä merkityistä näytteenottopaikoista otetaan aikataulun mukaisesti näytteitä. Keltaisella värillä merkityt näytteenottopaikat eivät ole säännöllisen näytteenoton piirissä.

Taulukko 2. Näytteenottopaikkojen selitteet. (Myllyniemi, 2013)

Kirjain	Tuote	Paikka	Nimike	Näytteenottotaajuus
A	DC-71004	SBC-71063	TUOTEMHC1	1-2/vko
B	ÖP	SC-71051-3	SYÖTMHC2	6/vko
C	FA-71017	SC-71029-3	-	-
D	FA-71018/19	SB-71013-3	-	-
E	Polttokaasu	SC-75003-13	-	-
F	BEK	SB-75005-3	BEKMHCZ	1/vko
G	Hapanvesi	SB-75004-3	SWDA75001	1/kk
H	DA-75001	SC-75002-3	ÖPDA75001	-
I	BER	S-75007-3	BERMHCZ	3-4/kk
J	Lauhde	S-75008-3	DA75002YMV	-
K	PE	S-75016-3	PEMHCZ	2-3/vko
L	KA	S-75014-3	KAMHCZ	3/vko
M	ÖP	SC-75013-9/3	ÖPMHCZ	2/kk

MHC-reaktoriosan lisäsyötöt, tyhjötislattu KART sekä hydrattu KARH, saadaan varastosäiliöistä. Tyhjötislattu KART on joko Porvoon omasta säiliöstä, Naantalista, Haminasta tai laivalla tuotua. KART:ia tuodaan laivalla keskimäärin muutaman päivän välein varastosäiliöön U7. Hydrattua KARH:ia saadaan Tuotantolinja 3:n Kaasuöljyn rikinpoistoyksiköstä 3 (KARP3), josta se ajetaan varastosäiliöön U12. KART:n, KARH:n sekä MHC-osan 1. vaiheen reaktorin DC-71004 tuotteen laatumittauksia on kerätty taulukoihin 3–5 kahden kuukauden ajanjaksolta (13.3.–15.5.2014). Varastosäiliölle U7 on merkitty neljä mittaustulosta OiLi:ssa 1.1.–15.5.2014.

#### 4.2.1 Tyhjötislattu raskas kaasuöljy KART

Tyhjötislattun raskaan kaasuöljyn tullessa laivalla jalostamolle otetaan siitä näytteitä purkauksen alussa, kesken purkausta sekä lopuksi. Näistä valmistetaan seosnäyte, joka analysoidaan. Näytteestä analysoidaan tiheys, rikkipitoisuus sekä muita alkuainepitoisuuksia, kuten vanadiini, rauta ja nikkeli. Varastosäiliölle U7 tehdään samat analyysit kuin tuontituotteelle. Taulukossa 3 esitetään OiLi:sta kerättyjä mittaustietoja laivapurkauksesta sekä varastosäiliöstä U7. Taulukon alareunaan on

merkitty varoitus- ja hälytysrajat mittauksille. Vanadiinipitoisuus on useasti ollut laivanäytteissä yli varoitusrajan. Laivasta puretaan kerrallaan keskimäärin 14 700 t KART:ia (Jawa, 2014). OiLi:ssa ja Jawassa tuotelaatu on nimeltään KARTTUZ. Varastosäiliömittauksia U7:stä suoritetaan viikoittain.

Taulukko 3. KART:n laatumittauksia laivapurkauksesta ja varastosäiliöstä U7. Punaisella merkitään varoitusrajan ylittäviä mittaustuloksia.

KART	Päivämäärä	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	Rikkipitoisuus (m-%)	Vanadiini- pitoisuus (mg/kg)
Laivapurkaus	13.3.	915,2	1,59	0,7
	14.3.	922,0	2,16	1,1
	16.3.	918,5	1,95	0,7
	19.3.	922,2	2,19	1,1
	29.3.	921,8	2,11	1,4
	31.3.	922,6	2,15	1,2
	2.4.	922,1	1,95	1,0
	8.4.	922,5	2,17	0,9
	17.4.	921,5	2,15	0,9
	19.4.	921,5	2,15	0,9
	28.4.	921,5	2,15	0,9
	1.5.	916,7	1,85	0,8
	4.5.	921,4	2,16	0,9
	7.5.	921,3	2,15	0,9
	10.5.	921,7	2,17	1,1
Keskiarvo		<b>920,8</b>	<b>2,07</b>	<b>0,97</b>
U7	2.1.	919,7	2,09	1,0
	16.2.	920,7	1,99	0,7
	27.2.	921,8	2,1	0,6
	3.4.	921,6	2,05	0,9
Keskiarvo		<b>921,0</b>	<b>2,06</b>	<b>0,80</b>
Varoitusraja		-	-	< 1,0
Hälytysraja		880 - 930	< 2,20	-

#### 4.2.2 Hydrattu raskas kaasuöljy KARH

Hydrattua KARH:ia ei analysoida erikseen varastosäiliössä. Varastosäiliöstä U12 on vuonna 2014 otettu neljä näytettä, joista kahdesta on tehty analyysit OiLi:in. Koska säiliön U12 sisältö on KARP3:n tuotetta, tarkastellaan sen analyyseja OiLi:sta. OiLi:ssa tuotelaatu on nimeltään TUOTEH3. Laatumittaukset ovat taulukossa 4. Rikkipitoisuus ylittää useasti varoitusrajan ja vesipitoisuus hälytysrajan. Mittauksia suoritetaan viikoittain.

Taulukko 4. KARP3:n tuotteen laatumittauksia. Tuote on KARH-laatu. Punaisella merkitään varoitus- tai hälytysrajan ylittäviä mittauksia.

KARH	Päivämäärä	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	Rikkipitoisuus (mg/kg)	Vesipitoisuus (m-%)
KARP3	13.3.	893,9	998	0,19
	20.3.	895,5	1140	0,25
	27.3.	880,5	580	0,15
	3.4.	886,1	787	0,28
	10.4.	881,4	764	0,33
	17.4.	888,1	803	0,38
	24.4.	892,8	829	0,38
	1.5.	889,1	648	0,27
	8.5.	895,0	887	0,32
	15.5.	891,4	590	0,35
Keskiarvo		<b>889,4</b>	<b>802,6</b>	<b>0,29</b>
Varoitusraja		-	470 - 700	-
Hälytysraja		-	-	< 0,20

#### 4.2.3 MHC:n 1. vaiheen reaktorin tuote

MHC:n 1. vaiheen reaktorin DC-71004 tuotteen näytteenottokohta on viimeinen MHC-tislausosan syöttöä edeltävä piste, josta otetaan säännöllisesti näytteitä (31, A). Toisin kuin KART:n ja KARH:n tapauksissa, näytteestä ei analysoida tiheyttä.

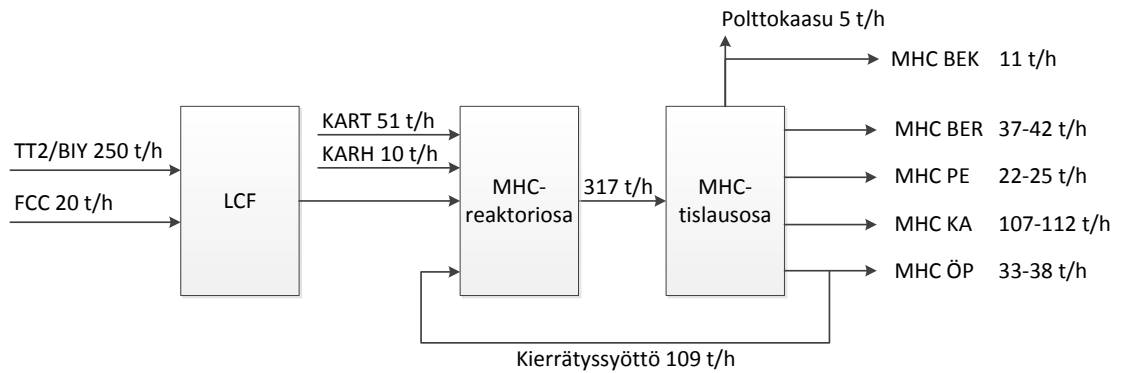
Yleisimmin tuotteesta analysoidaan kiehumisaluejakauma ja rikkipitoisuus. Näytteitä otetaan muutaman päivän välein. Laatumittaukset ovat taulukossa 5.

Taulukko 5. MHC:n 1. vaiheen reaktorin (DC-71004) tuotteen laatumittauksia. Näytteenottoa A näkyy kuvassa 31.

DC-71004:n pohjatuote	Päivämäärä	TISGC-05 (°C)	TISGC-95 (°C)	Rikkipitoisuus (mg/kg)
DC-71004	13.3.	150,4	485,0	227,5
	17.3.	147,0	481,6	242,9
	20.3.	150,4	485,0	264,7
	27.3.	153,6	484,4	249,0
	31.3.	154,0	467,4	215,9
	3.4.	151,0	479,0	214,5
	7.4.	163,4	478,6	252,5
	10.4.	153,6	482,0	332,0
	14.4.	152,6	480,8	195,0
	17.4.	157,2	461,4	248,0
	21.4.	162,4	482,4	203,4
	24.4.	160,0	478,2	168,2
	28.4.	167,8	482,0	144,3
	1.5.	141,8	499,0	254,9
	5.5.	154,0	477,4	242,0
	8.5.	154,4	464,4	112,5
Keskiarvo		<b>154,6</b>	<b>479,3</b>	<b>223,0</b>

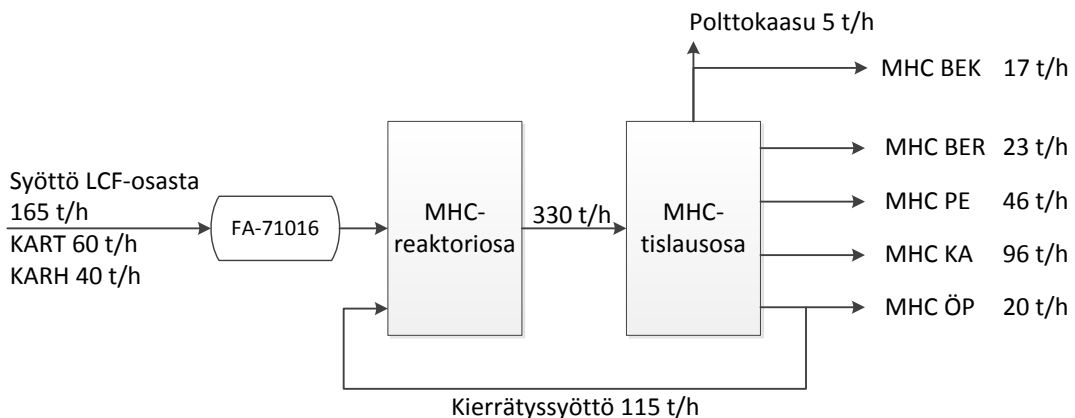
#### 4.3 Tuotantomäärät

Suunnitellut syöttö- ja tuotemäärät ovat kuvassa 32. Hiilivetyjen lisäksi LCF-osaan syötetään tuorekatalyyttiä noin 5 tonnia päivässä. Tuorevetesyöttö Pohjaöljyn käsittely -yksikköön on 10,1 t/h, jossa LCF- ja MHC-reaktioiden kemiallinen vedynkulutus on 9,6 t/h (LCF 5,5 t/h ja MHC 4,1 t/h). LCF-osan suunnittelukonversio on 78 % ja MHC-osan 65 %.



Kuva 32. Pohjaöljyn käsittely -yksikön MHC-osan suunnitellut tuotantomäärät.

Pohjaöljyn käsittely -yksikköä on viime vuosina ajettu hyvin erilaisella profiililla kuin mihin se on suunniteltu. Petroli on kaasuöljyn kanssa yksikön päätuote, ja sen tuotantomäärät ovat jopa kaksinkertaiset suunniteltuun nähden. Toistaiseksi kolonnit ovat toimineet eri olosuhteissa hyvin, eikä petrolin väkevöntikolonne ole tulvinut. Pullonkaulana saannolle on nykyisellä ajotavalla putkiston koko (Viertorinne, 2014a). Kuvassa 33 on nykyiset tuotantomäärät, joissa todellisuudessa esiintyy vaihtelua esimerkiksi haluttujen tuotteiden takia.



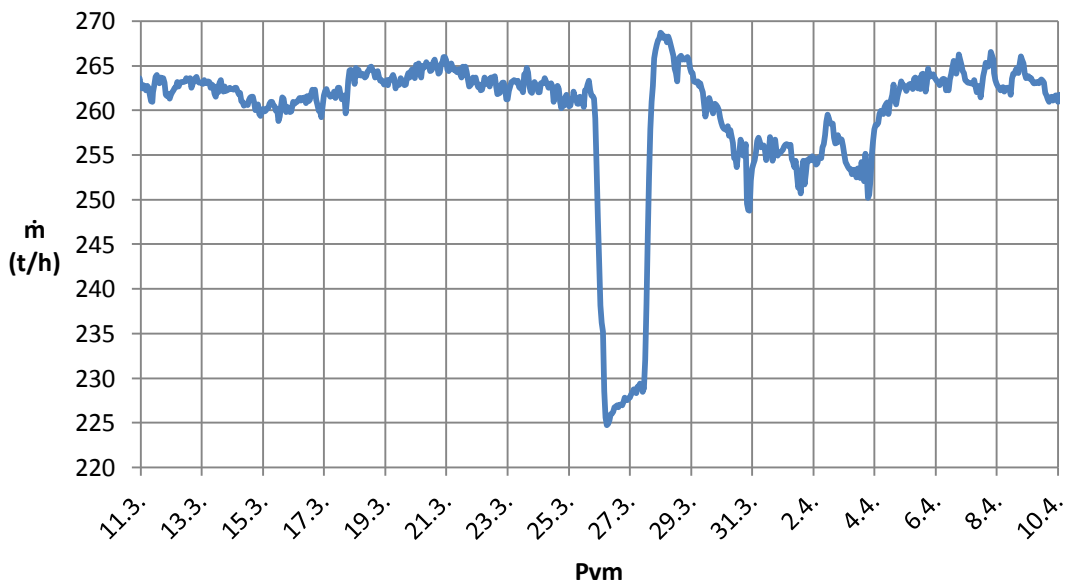
Kuva 33. Nykyiset tuotantomäärät MHC-osassa.

Ainetaset ovat erilaisia suunnitteluun verrattuna myös LCF:n pienemmästä konversiosta johtuen. LCF-reaktorit eivät toimi tarpeeksi korkeassa lämpötilassa,



minkä vuoksi massa- ja energiataseet eivät ole suunnitellun kaltaisia. Alhaisempi lämpötila vaikuttaa seuraavan vaiheen eli atmosfäärisen kolonnin (DA-72001) lämpötiloihin, minkä vuoksi myös sen painetta on jouduttu laskemaan. Katalyytin siirtämisessä käytettävää öljyä ei saada tarpeeksi kuumana eikä määrällisesti tarpeeksi paljon. Muutoksien takia varastosyöttöjen määrää on lisätty. (Hokka, 2009)

Kuukauden ajanjakson seurannassa esistripperin DA-75001 syötön tuntikeskiarvo vaihtelee vuoron aikana noin 2-3 t/h stabiilimmalla syötön määrällä ja hieman alle 10 t/h syötön määrän vaihdellessa rajummin. Kuvassa 32 näkyvä selkein pudotus johtuu toisen yksikön (bensiinin reformointiyksikkö 3, REF3) alasajosta.



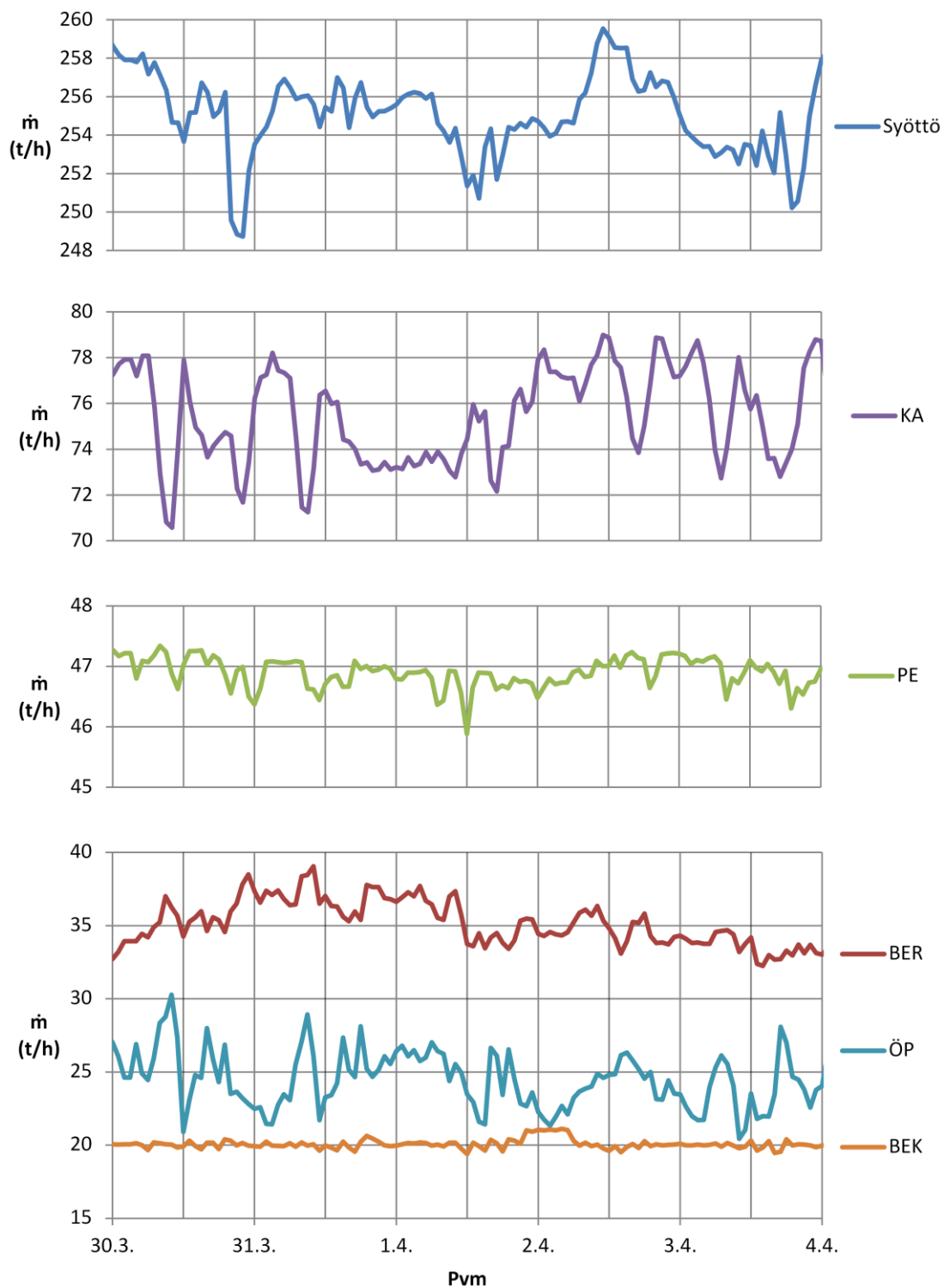
Kuva 34. Syötön tuntikeskiarvo kuukauden ajanjaksolta vuonna 2014. REF3:n alasajon vuoksi MHC:n syöttöä pudotettiin väliaikaisesti, mikä näkyy suurimpana heilahduksena syöttömäärässä.

Kuvassa 34 näkyvää heilahtelua syöttövirtauksessa on tarkasteltu lähempää kuvassa 35. Ajopäiväkirjan mukaan tietokonesäätimen toiminnassa oli ongelmia kyseisenä ajanjaksona, mikä selittänee muutoksien suuruusluokkaa. Kuvassa 35 tarkastellaan

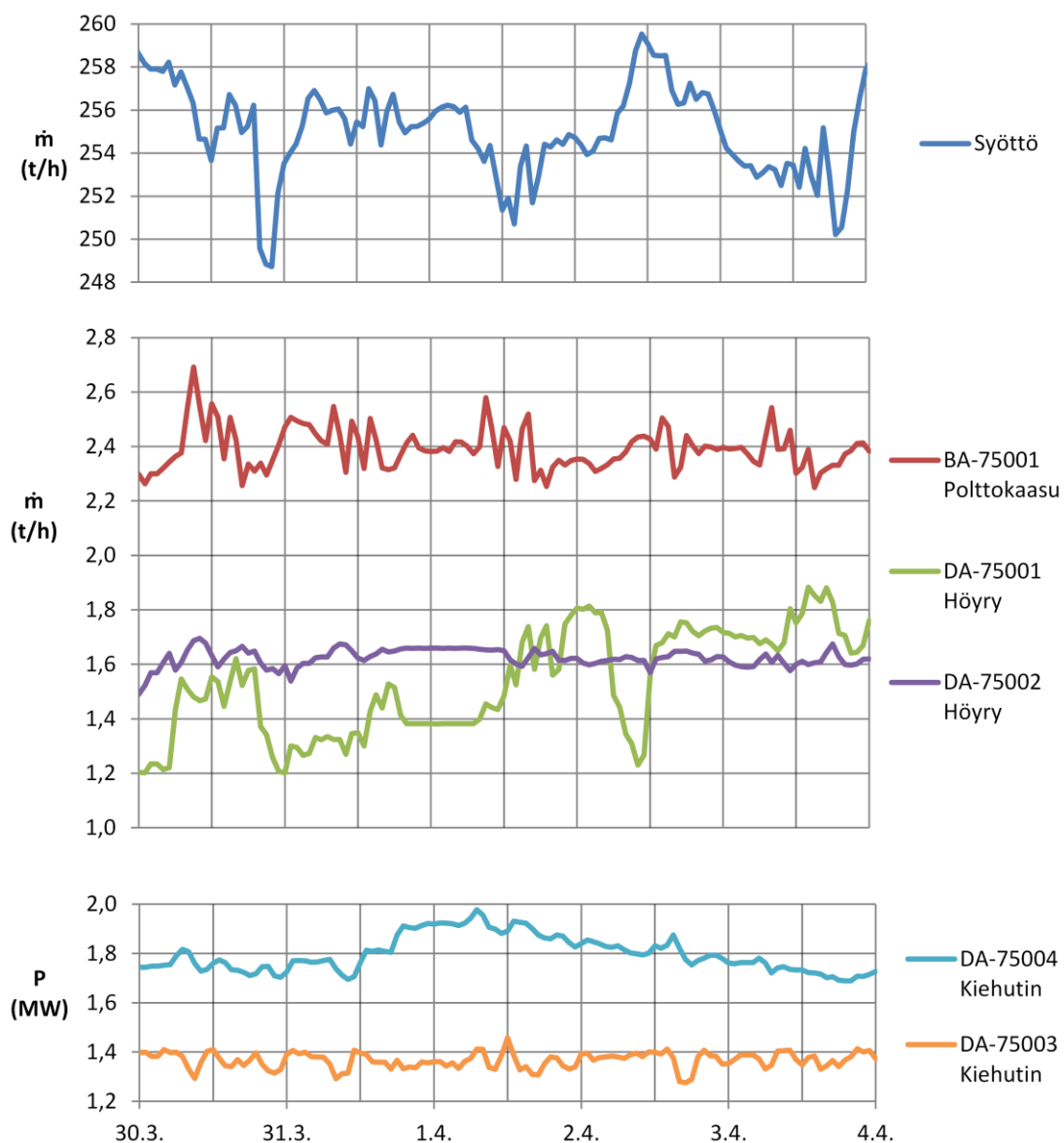
syötön määrän muutoksen vaikutusta tuotteiden määrään. Kaasuöljyn (KA) virtauksen voi nähdä jossain määrin seuraavan syötön virtausta, ja sen ulosottomäärä vaihtelee suhteessa enemmän kuin petrolin (PE). Petrolin ulosottomäärä säilyy varsin tasaisena tarkasteltuna ajankohtana, mikä on oletettavaa sen ollessa maksimoitava tuote. Petrolivirtaus vaihtelee alle 2 t/h. Myös kevyen ja raskaan bensiinin (BEK ja BER) tuotevirtausmäärät pysyvät tasaisena. Pohjaöljyn (ÖP) ulosottomäärä riippuu pääosin muiden tuotteiden määristä, joten siinä on paljon vaihtelua.

Käyttöhyödykkeiden kulutusta verrataan syötön määrään kuvassa 36. Uunin BA-75001 polttokaasun kulutuksessa on syklisyyttä, joka johtuu LCF-osan katalyytin käsittelyjärjestelmän sekvenssistä. Sekvenssi suoritetaan kerran 24 tunnin aikana kuutena päivänä viikossa (Hokka, 2014). Syötön määrä ei näytä vaikuttavan polttokaasun määrään.

Kolonnien DA-75001 ja DA-75002 strippaushöyryjen määrätkään eivät seuraa syötön määrää. Sivustrippereiden DA-75003 ja DA-75004 kiehuttimien tehot eivät näytä muuttuvan merkittävästi syötön määrän vaihtuessa. Petrolin kiehuttimen (DA-75003) teho pysyy kauttaaltaan varsin tasaisena. Kaasuöljyn kiehuttimen (DA-75004) teho nousee 31.3. – 1.4. askelmaisesti laskeakseen sen jälkeen hitaasti, mutta se tuskin liittyy syötön määrään.



Kuva 35. Syötön ja tuotteiden massavirtojen tuntikeskiarvo viiden vuorokauden ajalta vuonna 2014. Pystyakselin asteikkojen suuruusluokka vaihtelee, jotta määrän muutokset näkyisivät selkeämmin. Akselilta on myös jätetty arvoja välistä, jotta kaikki käyrät mahtuisivat samaan kuvaan.



Kuva 36. Strippaushöyryjen, polttokaasun ja syötön massavirran tuntikeskiarvo viiden vuorokauden ajalta vuonna 2014.

Päätuotekolonnin DA-75002 raskaan bensiinin laatu määräytyy esistripperin DA-75001 kevyen bensiinin lämpötilasta. Kaikki kevyet hiilivedyt, jotka jätetään ottamatta kevyenä bensiininä esistripperissä, saadaan päätuotekolonnin huipulta hieman arvokkaampana raskaana bensiininä. Koska raskas bensiini on päätuotekolonnin vähäarvoisin jae ja petroli arvokkain, pyritään bensiinin määrää minimoimaan pudottamalla sitä alaspäin petrolin sekaan. Mitä alhaisempi

leimahduspiste petrolille sallitaan ajo-opasteessa, sitä enemmän bensiiniä voidaan pudottaa petrolijakeeseen. Pudottaminen tarkoittaa kevyemmän jakeen ulosoton pienentämistä, jolloin kyseisen jakeen raskain osa otetaan ulos alempana kolonnia. Petrolimäärän maksimoinnista johtuen bensiinin pudotus edellyttää samaa määrää petrolin pudotusta kaasuöljyyn. Tällöin bensiinin määrää saadaan vähennettyä ja kaasuöljyn lisättyä, mikä on kannattavaa. Petrolin ulosottomäärän ollessa maksimoitu vaihtelevat kaasuöljyn sekä raskaan bensiinin ulosottomäärät petrolin leimahduspisteen mukaan.

Petrolia käytetään enimmäkseen kotimaan talvidieseliin tai vientidieseliin. Sitä voidaan ajaa ainoastaan säiliöön T14, ellei haluta ajaa petrolia kaasuöljyn sekaan. Kaasuöljyä hyödynnetään eniten Neste Pro Dieselin kesälaatuun (-12/-22). Kaasuöljyn varastosäiliönä on useimmiten K17. Joskus käytetään säiliötä T13, ja dieselin kesälaatua voidaan ajaa säiliöön U18. Syöttö-öljyn rikinpoistoyksikön (SYRP) toiminnasta riippuen voidaan MHC-osan kaasuöljyä ajaa myös varastosäiliöihin T35, T37 ja T40. (Virokannas, 2014)

#### **4.4 Rajoitteet ja muuttujat**

LCF:n tavoitteena on tuottaa pohjaöljystä kannattavampia jakeita eli raskasta kaasuöljyä ja sitä kevyempiä tuotteita. Samalla tuotteista poistetaan metallit, rikki ja typpi. MHC-reaktoriosan tarkoituksena on jatkaa LCF-osassa aloitettuja reaktioita ja näin saavuttaa halutut laatuvaatimukset.

##### **4.4.1 Rajoitteet**

MHC-osaa operoidaan kiintopetikatalyyttien deaktivoitumista vastaan. Syöttöä rajoittaa LCF:n raskaan kaasuöljyn (LCF KART) ominaisuudet, joista korkea polyaromaattipitoisuus on merkittävin. LCF KART on liian raskasta MHC-osalle, mikä aiheuttaa katalyytin liian nopeaa deaktivoitumista. Tämän vuoksi raskas kaasuöljy (LCF KART) pitää korvata suoratislatulla jakeella (KART), jota saadaan kalliosäiliöstä U7. MHC-reaktoreita tulee operoida kohtalaisen matalissa lämpötiloissa, jotta

terminen vetykrakkaus saataisiin estettyä. Myös liian iso määrä typpeä (yli 5 ppm) aiheuttaa termistä vetykrakkausta neutraloimalla katalyytin aktiivisia kohtia. Terminen vetykrakkaus aiheuttaa liiallista kevyiden kaasujakeiden muodostumista ja kontrolloimatonta lämmön vapautumista.

#### **4.4.2 Prosessimuuttajat**

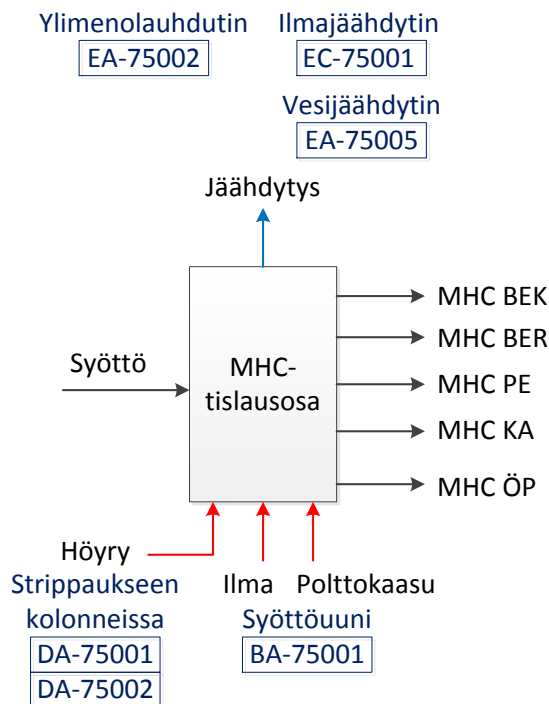
Esistripperin DA-75001 toimintaan vaikuttavia muuttujia ovat strippaushöyryn määrä, syötön lämpötila sekä huipun paine ja lämpötila. Päätuotekolonnin DA-75002 operoitavia muuttujia ovat syötön lämpötila, strippaushöyryn määrä, kolonnin paine, ylihaihdutussuhde (overflash), huipun lämpötila, kiertopalautuksien lämmöntalteenotto ja sivustrippereiden DA-75003 ja DA-75004 toiminta. Parametreillä vaikutetaan virtaukseen ja jakeiden ominaisuuksiin kuten leikkauspisteisiin, tislauksen alkuun ja loppuun, leimahdus- ja jähmepisteeseen sekä setaanilukuun. Strippaushöyryn määrän lisäys ja huipun lämpötilan nosto vaikuttavat nostavasti petrolin ja kaasuöljyn leikkauspisteisiin jakotislaukskolonnissa DA-75002, sekä tislauksen alkuun ja loppuun. Samalla leimahduspiste paranee, mutta jähmepiste huononee. Päätuotekolonnin DA-75002 huipun paineen nosto vaikuttaa päinvastaisesti ominaisuuksiin, kuten myös syötön lämpötilan nosto, joskin sen vaikutukset ovat vähäisemmät. (Neste Oil, 2009)

Tietokonesäädön ohjausmuuttujalla on kaksi mahdollista tilaa, päällä (1) ja pois päältä (0). Operaattori voi halutessaan tehdä muutoksia yksittäisten ohjausmuuttujien tilaan. Ohjausmuuttujien tilan vaihtumisesta ei tule ilmoitusta näytölle, eikä siitä jää erillistä merkintää. Ohjausmuuttujien hallinta on osa tietokonesäätöä, mutta monimuuttujasäädin voi virheellisesti kytkeä ohjausmuuttujia pois päältä ilman todellista syytä. Jos operaattorin tekemiä muutoksia ei kirjata ylös, voidaan joutua tilanteeseen, jossa seuraavien vuorojen operaattorit eivät kyseenalaista tarpeettomasti pois päältä mennyttä ohjausmuuttujaa.

Kunkin ohjausmuuttujan historiatietoja voi tarkastella TOP-järjestelmän Excel-haulla 10 minuutin tarkkuudella. Tilatietoloki ei erottele tapauksia, joissa päätöksen säädön pois ottamisesta tekee operaattori verrattuna tilanteeseen, jossa tietokonesäädin ottaa ohjausmuuttujan pois päältä. Tiedonkulkua parantaisi, jos tilatietoloki tekisi edellä mainitun jaottelun.

#### 4.5 Käyttöhyödykkeet

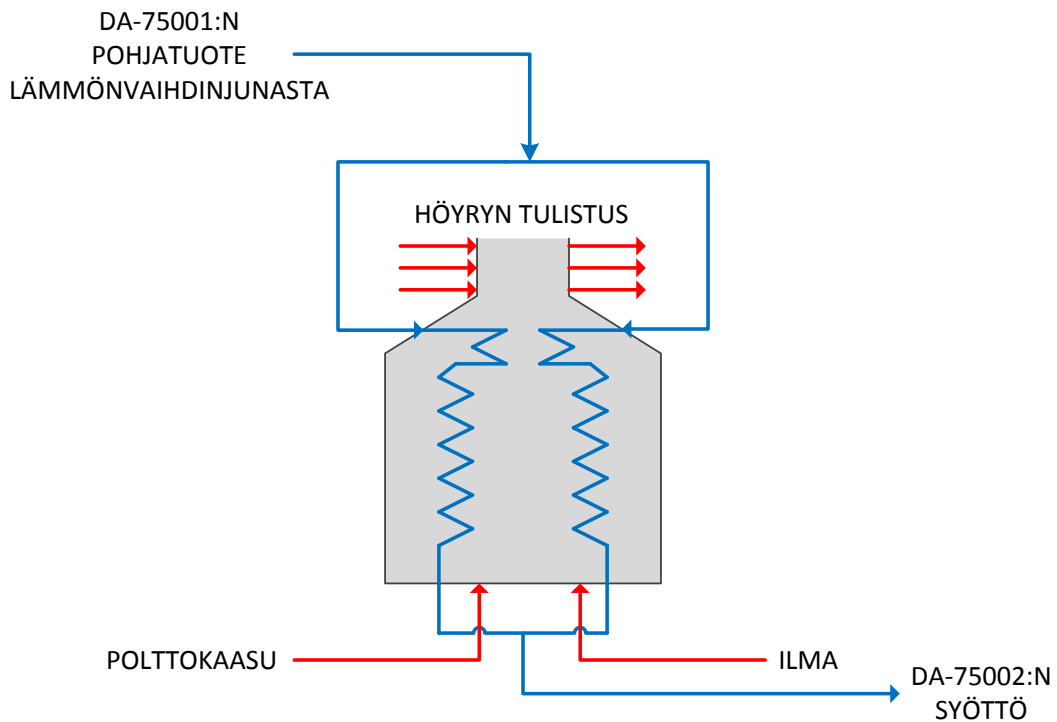
MHC-tislausosan käyttöhyödykkeet jaetaan energiaa prosessiin luovuttaviin ja sitä talteenottaviin järjestelmiin. Esistripperin DA-75001 ja päätuotekolonnin DA-75002 strippaushöyry sekä syöttöuunin BA-75001 polttokaasu ja ilma luovuttavat lämpöenergiaa. Lämpöenergiaa otetaan talteen esistripperin ylimenolauhduttimesta EA-75002. Päätuotekolonnin ylimenoa (MHC BER) jäähdytetään ilma- ja vesijäädyttimin (EC-75001 ja EA-75005). Kuvassa 37 on MHC-tislausosan ulkoiset käyttöhyödykkeet ja niitä käyttävät laitteet.



Kuva 37. MHC-tislausosan käyttöhyödykkeet.

Tislauksen syöttöuuni BA-75001 on pakkovetouuni, jonka tehtävänä on kuumentaa päätuotekolonnin DA-75002 syöttö. Uunin BA-75001 polttokaasun virtauksen alaraja on 0,3 t/h, jottei uuni sammu ja siten aiheuta vakavia vaurioita päätuotekoloniin. Uunin ulostulolämpötilaa rajoittaa uunin tuubihaarojen pintalämpötila. Kuvassa 38 on uunin BA-75001 toimintaperiaate. Säteilyosassa on kaksi tuubihaaraa, joissa lämmitetään kaksifaasista prosessivirtaa. Lisäksi konvektio-osassa tulistetaan kaksi matalapainehöyrylinjaa (3,5 bar(a) ja 6 bar(a)) sekä yksi korkeapainehöyrylinja (41 bar(a)).

Uunin toiminta tehostuu, kun palaminen lähestyy stoikiometristä suhdetta. Ylijäämähapen määrää pyritään minimoimaan pitämällä ilma/polttokaasusuhde mahdollisimman pienenä. Polttoilman ja polttokaasun haluttu suhde on välillä 10–30 (kg ilmaa)/(kg polttokaasua) (Gustafsson, 2014). Savukaasun ylijäämähapen tavoitemäärä on uunikohtainen, ja Tuotantolinja 4:llä kaikkien uunien tavoite on enimmillään 1,7 til-% happea savukaasussa (TOP-järjestelmä, 2014).



Kuva 38. Periaatteellinen kuva uunin BA-75001 toiminnasta. Sininen kuvaa tuotelinjaa ja punainen käyttöhyödykkeitä. Ilmamäärä on sidoksissa polttokaasun määrään.



Prosessivirran suhteen katsottuna MHC-tislauksen syöttöuunia BA-75001 edeltää kahdeksan lämmönvaihtimen lämmönvaihdin. Kun lämmönvaihtimen lämpöä luovuttava puoli likaantuu, vaihdetaan tilalle varalla ollut lämmönvaihdin. Vaihto aiheuttaa heilahtelua uunille menevän syötön lämpötilaan ja virtaukseen. Lämpötila nousee hetkellisesti, koska puhdistetulla lämmönvaihtimella on parempi lämmönsiirtokyky. Lämpötilamuutos palautuu vähitellen lämmönvaihtimen likaantuessa uudelleen. Lämmönvaihtimen ilmastus vähentää prosessivirtausta hetkellisesti, erityisesti jos ilmastus tehdään huolimattomasti (Ranta-Korpi, 2014).

Uunin BA-75001 kaikki 10 poltinta ovat aina päällä eli uunin koko kapasiteetti on käytössä. Mitä tasaisempi on prosessivirran sisääntulolämpötila uunille, sitä vähemmän monimuuttujasäätimen tarvitsee tehdä työtä halutun ulostulolämpötilatason saavuttamisessa.

## **4.6 Katetarkastelu**

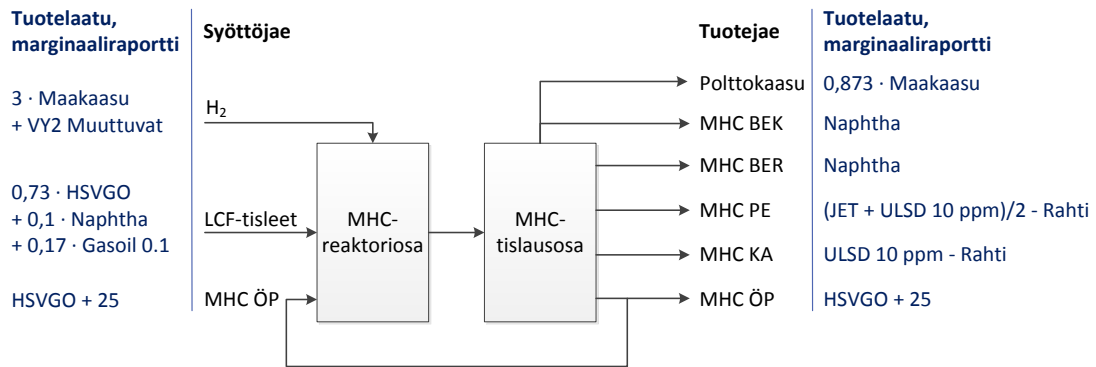
### **4.6.1 Katteen laskenta tuotteelle**

MHC on osa Pohjaöljyn käsittely -yksikköä, joka kuuluu Tuotantolinja 4:ään. Yksikön syöttö tulee toisista yksiköistä eri tuotantolinjoilla, samoin kuin osa MHC:n tuotteista jatkokäsitellään muissa yksiköissä. Täsmällisen katteen laskemiseksi tulisi siis huomioida koko jalostamon tase, mikä on käytännössä mahdotonta. MHC-osan katteelle on tehty korrelaatio (Strengell, 2014), joka on esitetty yhtälössä 9. Kustannuksiksi arvioidaan MHC-osassa noin 8,4 €/tonni syöttöä). Muut rahamäärät on ilmoitettu dollareissa (\$), joten valuutat tulee muuntaa samoiksi.

$$Kate = Tuotteet - Syöttö - Kustannukset \quad (9)$$

Kuvassa 39 ovat syötön ja tuotteiden nimet ja niiden vastineet marginaaliraportissa. Kukin syöttö- tai tuotejake liitetään sen koostumusta vastaavaan marginaaliraportin

tuotelaatuun tai tuotelaatujen yhdistelmään. Lisäksi petroli- ja kaasuöljytuotteissa huomioidaan rahtikulut, jotka ovat noin 18 \$/t. Marginaaliraportin hintatiedoista selviää jakeiden arvo toisiinsa nähden.



Kuva 39. Syöttö ja tuotteet. Kutakin jaetta vastaa marginaaliraportin tuotelaatu tai tuotelaatujen yhdistelmä.

Tuotteita ovat polttokaasu, benssiinit, petroli, kaasuöljy ja pohjaöljy. Polttokaasu on lämpöarvonsa perusteella hieman vähemmän arvokasta kuin maakaasu, jonka hinta saadaan käyttöhyödykeraportista. Vertailtaessa Porvoon jalostamon maakaasun lämpöarvon keskiarvoa (Salmio, 2014), huomataan simuloinnista saadun polttokaasun lämpöarvon olevan keskimäärin 87,3 % (86,6–88,1 %) jalostamon maakaasun lämpöarvosta. Taulukossa 6 on polttokaasun ja maakaasun lämpöarvot sekä niiden suhde.

Taulukko 6. Simuloinnin polttokaasun ja jalostamon maakaasun alemmat ja ylemmät lämpöarvot. LHV ja HHV tulevat termeistä *Lower Heating Value* ja *Higher Heating Value*.

	Polttokaasu, simulointi (kJ/kg)	Maakaasu, jalostamo (kJ/kg)	Polttokaasun ja maakaasun suhde (%)
Alempi lämpöarvo (LHV)	43 324	49 188	88,1
Ylempi lämpöarvo (HHV)	47 250	54 553	86,6

Kevyttä ja raskasta bensiiniä voidaan kumpaakin käsitellä Naphthana. Petroli on keskiarvo JET- ja ULSD 10 ppm -laaduista vähennettynä rahtikuluilla. Pohjaöljy on noin 20–40 \$/t arvokkaampaa kuin HSVGO, ja keskimääräiseksi arvonlisäykseksi arvioidaan 25 \$/t. Tuotteiden yhteenlaskettu arvo lasketaan yhtälöllä 10.

$$Tuotteet = \sum_{i=1}^{n=Tuotteiden\ lkm} H_i \cdot \frac{m_i}{m_{kok}} \quad (10)$$

jossa  $i$            Indeksi; polttokaasu, bensiinit, petroli, kaasuöljy tai pohjaöljy

$H_i$            Tuotteen  $i$  hinta (\$/t)

$m_i$            Tuotteen  $i$  määrä (t)

$m_{kok}$        Tuotteiden yhteenlaskettu määrä (t)

Syötön jakeita ovat LCF:n tisleet, MHC:n pohjaöljyn kierrätysyöttö ja vety ( $H_2$ ). LCF-tisleiden koostumuksen yhtälö on kokeellisesti määritetty (Strengell, 2014). Vedyn arvon laskennassa VY2 Muuttuvat kuvaa yksikön muuttuvia kuluja, joiksi arvioidaan noin 400 \$/tuotettu vetytonni. Syötön yhteenlaskettu arvo lasketaan yhtälöllä:

$$Syöttö = \sum_{i=1}^{n=Laatujen\ lkm} H_i \cdot \frac{m_i}{m_{kok}} \quad (11)$$

jossa  $i$            Indeksi; LCF-tisleet, MHC-pohjaöljy tai vety

$H_i$            Syöttölaadun  $i$  hinta (\$/t)

$m_i$            Syöttölaadun  $i$  määrä (t)

$m_{kok}$        Syötön yhteenlaskettu määrä (t)

Jos keskitytään yhden prosessiyksikön tuoton maksimointiin, voidaan jalostamon näkökulmasta päätyä tekemään osaoptimointia. Osaoptimoinnin välttämiseksi MHC-tislausosassa tehtyjä muutoksia tulisi tarkastella koko jalostamon tase huomioiden.

Yhtälöllä 9 kate lasketaan koko MHC-osalle. Käytetty simulointimalli kuvaa kuitenkin vain MHC-tislausosaa ilman reaktoriosaa, minkä vuoksi katelaskentaa yksinkertaistetaan. Syöttö ja kustannukset oletetaan vakioksi, jotta tuotteiden arvoa voidaan verrata keskenään. Tammikuun 2015 marginaaliraportin mukaan lasketut tuotteiden arvot tuotettua määrää kohti on taulukossa 7. Laskentaan käytetään kuvassa 39 näkyviä yhtälöitä.

Taulukko 7. MHC-tislausosan tuotteiden arvo.

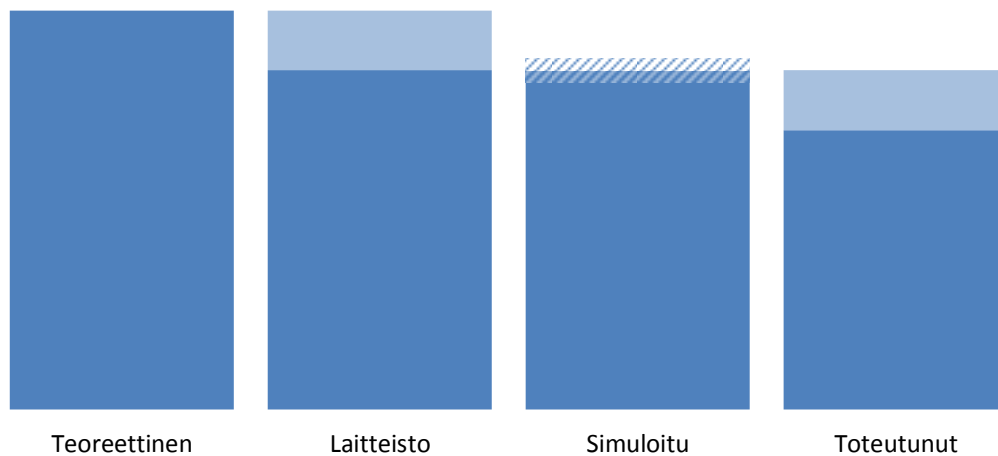
<b>Tuote</b>	<b>Arvo (€/t)</b>
Polttikaasu	388,49
BEK	341,76
BER	341,76
PE	418,81
KA	399,44
ÖP	307,33

Kuten taulukon 7 luvut kertovat, petroli ja kaasuöljy ovat yksikön arvokkaimmat tuotteet. Näiden tietojen perusteella on siis kannattavaa maksimoida keskitisleiden määrää kevyempien bensiinien ja raskaamman pohjaöljyn kustannuksella.

#### **4.6.2 Paras mahdollinen saanto**

Kuvassa 40 hahmotellaan erotusosan ulosoton määrän ylärajaa petrolille ja kaasuöljylle. Teoreettiseen maksimiin päästään ottamalla petroliä ja kaasuöljyä prosessista ulos yhtä paljon kuin syötössä menee sisään, eli teoreettisen saannon määrä perustuu ainoastaan ainetaseeseen. Laitteiston maksimissa prosessia ajetaan parhaalla mahdollisella ajotavalla ja otetaan huomioon laitteiston rajoitukset.

Rajoitukset vähentävät laitteiston saantoa suhteessa teoreettiseen maksimiin. Tuotelaatujen säilyminen on reunaehto tislauksen toiminnassa. Simulointimalli pyritään virittämään parhaaksi mahdolliseksi approksimaatioksi laitteiston maksimista. Jos simulointi on täydellisesti viritetty ja se sisältää kaikki laitteiston rajoitteet, on simuloinnin saanto yhtä suuri kuin laitteiston huomioiva. Konservatiivisella virityksellä simuloitu saanto voi ylittää laitteiston saannon. Toteutunut maksimi on todellisesta prosessista saatu määrä.



Kuva 40. Saannon maksimit. Tummansininen kuvaa nykyistä saantoa ja vaaleansininen korkeinta mahdollista saantoa. Simuloitu-palkin päässä oleva viivoitus kuvaa simuloinnin tarkkuutta suhteessa laitteistoon; tarkka simulointi antaa yhtä suuren tuloksen kuin laitteistolla saadaan, epätarkka joko hieman enemmän tai vähemmän.

Toteutunut määrä tulisi saada lähestymään simuloitua maksimia, sillä simulointi kertoo mahdollisimman tarkasti kyseisen prosessin parhaan mahdollisen suorituskyvyn. Toteutunut arvo ei voi ylittää laitteiston maksimin ylärajaa. Simuloinnin maksimia voidaan nostaa erotustehokkuutta parantamalla, esimerkiksi energiankulutusta muuttamalla. Laitteiston maksimi tai toteutunut maksimi ei voi ylittää teoreettista maksimia, koska petrolin ja kaasuöljyn määrä ei lisääny erotusosassa.

### **4.6.3 Energiankäytön optimointi**

Systeemin kuluttavan energian optimointi tarkoittaa käyttöhyödykkeiden, eli sisään menevän höyryn, polttokaasun ja polttoilman optimaalista määrää. Energiaa siirtyy myös tuotevirtojen jäähdytyksessä. Suurimmaksi osaksi käyttöhyödykkeiden optimointia rajoittaa prosessin pitäminen hyvällä säätöalueella (Lämsä, 2013). Kolonnien ja uunien toimintaan liittyvät rajoitteet ovat hierarkkisesti laatutavoitteiden yläpuolella.

Energiankäytön, kuten muunkin prosessin toiminnan kannalta, tasainen ajotapa on edullisin. Laitteiston kuormitus on korkea prosessin toiminta-arvojen vaihdellessa paljon. Energiankäyttöä voidaan optimoida eliminoimalla hetkellisten muutosten syntymistä tai niihin reagoimista. Pienet vaihtelut on kannattavaa jättää huomiotta, sillä niiden vaikutus ei näy tarkasteltaessa tavoitteiden saavuttamista 12 tunnin eli yhden työvuoron keston tarkkuudella.

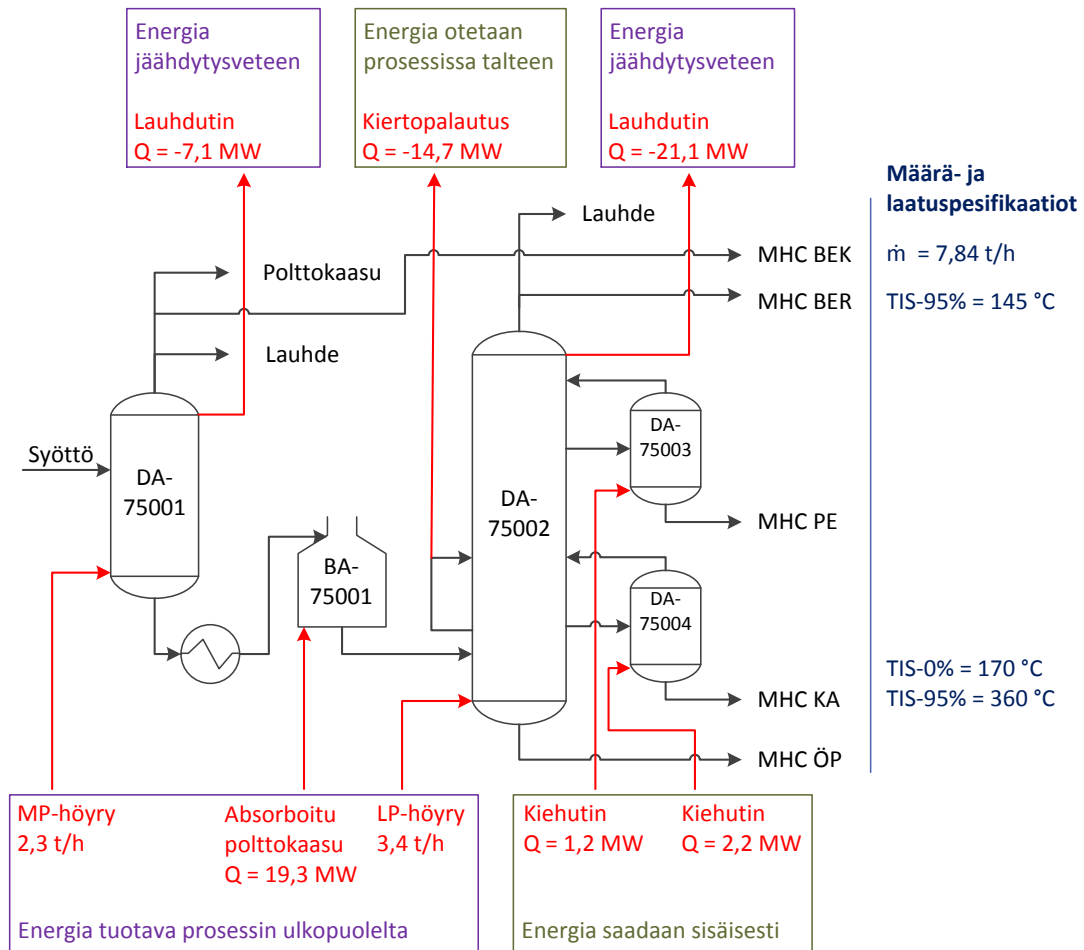
## 5 Simulointi

MHC-tislausosalle on suunnitteluvaiheessa tehty simulointimalli, jota hyödynnetään tässä työssä. Simulointimalliin kuuluvat esistripperi DA-75001, päätuotekolonni DA-75002, sivustripperit DA-75003 ja DA-75004 sekä lukuisia pumppuja, lämmönvaihtimia, flash-kolonneja ja virranjakajia. Kuvassa 41 on yksinkertaistettu simuloinnin virtauskaavio. Määrä- ja laatuspesifikaatioita käytetään rajaamaan tuotteiden kiehumisaluejakaumia.

Simulointimallilla tehdään kolme simulointikoetta, jotka kuvaavat kolmea erilaista muutostilannetta. Tilanteita ovat syötön muuttuminen raskaammaksi, syötön määrän kasvaminen sekä petrolin laatumuutos. Muutos syöttölaadussa sekä muutos syötön määrässä kuvaavat ennalta arvaamattomia prosessihäiriöitä. Petrolin laatumuutos eroaa prosessihäiriötä kuvaavista muutoksista siten, että tieto muutoksesta saadaan ajo-opasteesta, joten muutoksen havaitsemiseen ei kulu aikaa. Ennen simulointikoetta käydään läpi simulointimallia ja lähtötilannetta.

### 5.1 Simulointimalli

Simuloinnin virtauskaavio on pelkistettynä kuvassa 41. Kaavioon on merkitty simuloinnista saadut tehot ja suunnitteluvaiheessa määritetyt vaatimukset tuotteiden laadulle. Kevyelle bensiinille (MHC BEK) on määritetty massavirtaus, raskaalle bensiinille (MHC BER) TIS-95% -lämpötila ja kaasuöljylle (MHC KA) tislauksen alkulämpötila (TIS-0%) sekä TIS-95% -lämpötila.



Kuva 41. Simuloinnin yksinkertaistettu virtauskaavio. Esistripperi DA-75001 ja päätuotekolonne DA-75002 käyttävät strippaushöyryä. Sivustrippereissä DA-75003 ja DA-75004 on pohjakiehuittimet. Oikeassa reunassa ennalta määritellyt virtausmäärä- ja laatuvaatimukset.

Tislauskolonneja simuloidaan ideaalipohjien avulla. Taulukkoon 8 on kerätty simuloituille kolonneille määritetyt sisärakenteet ja simuloinnista saadut paineet ja lämpötilat kolonnin huipulla ja pohjassa.



Taulukko 8. Olosuhteet kolonneissa. Kolonnin rakenne eli pohjien ja täytekappalekerrosten lukumäärä määritettiin etukäteen. Huipun ja pohjan lämpötilat ja paineet saadaan simuloinnista.

Laite-tunnus	Ideaali-pohjia (kpl)	Täytekappale-kerroksia (kpl)	Huippu		Pohja	
			T (°C)	P (kPa)	T (°C)	P (kPa)
DA-75001	12	3	40	930	219	1028
DA-75002	23	-	78	150	350	274
DA-75003	6	-	195	232	209	246
DA-75004	6	-	272	246	290	260

Syötön koostumusta jäljitellään pseudokomponenteilla. Tässä simuloinnissa on käytetty kahta pseudokomponenttisarjaa, jotka ovat ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia. Eri pseudokomponenttisarjat kuvaavat reaktoreiden läpi kulkeneita virtoja, joiden ominaisuudet muuttuvat reaktorissa. Reaktorien simulointi ei ole osa tätä työtä. Pseudokomponenttisarjojen samankaltaisuus koskee yksinkertaisemmin määritettäviä ominaisuuksia kuten tiheyttä, kiehumispistettä ja moolimassaa, mutta seosten molekyylikoostumus on erilainen (Pyhalahti, 2014).

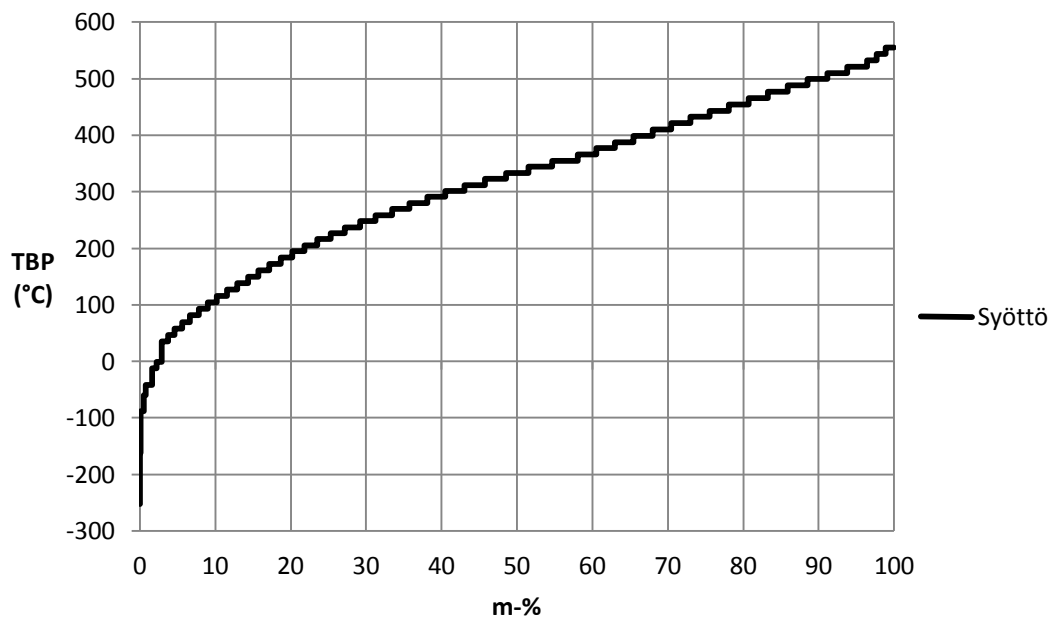
Sarjoissa on 45 ja 48 kappaletta pseudokomponentteja. Pseudokomponenttien kiehumispisteet vaihtelevat 35–554 °C:n välillä. Syötössä on lisäksi 10 puhdasta komponenttia, jotka on luetteloitu kiehumispisteensä mukaan taulukossa 9.

Taulukko 9. Syötön puhtaat komponentit ja niiden kiehumispisteet. Komponentit C1-C3 ovat metaani, etaani ja propaani. IC4 on isobutaani ja NC4 n-butaani.

Komponentti	Kiehumispiste (°C) (AspenTech, Inc., 2013)
H <sub>2</sub>	-252,75
N <sub>2</sub>	-195,75
C1	-161,45
C2	-88,65
H <sub>2</sub> S	-60,35
C3	-42,05
NH <sub>3</sub>	-33,45
IC4	-11,85
NC4	-0,45
H <sub>2</sub> O	100,05

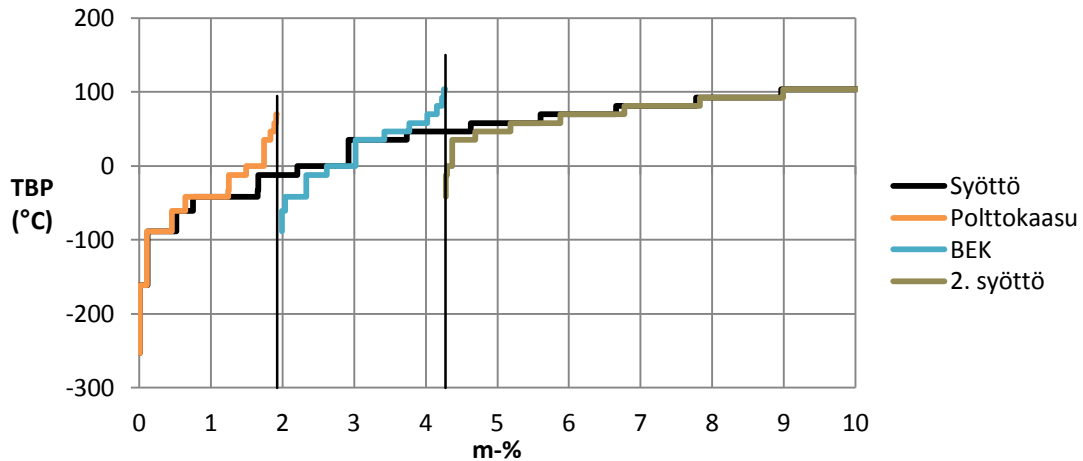
Tislauskäyrä kuvaa seoksesta haihtunutta massaosuutta tislautuvan seoksen kiehumispisteen mukaisesti (Mecklin, *et al.*, 2013). Syötön tislauskäyrä on kuvassa 42. Syöttö koostuu suurimmaksi osaksi pseudokomponenteista, joiden jakautuminen kiehumispisteiden mukaan tekee tislauskäyrän muodosta porrasmaisen. Koska puhtaiden komponenttien kiehumispisteet ovat vettä (H<sub>2</sub>O) lukuun ottamatta alle 0 °C, alkaa käyrä nollan alapuolelta.

Pseudokomponentteja käytetään yksinkertaistamaan tislauksen laskentaa. Pseudokomponentit kuvaavat useiden komponenttien seoksia, jolloin laskentaa ei tarvitse suorittaa jokaiselle komponentille erikseen ja laskettavien komponenttien määrä vähenee. Pseudokomponenttien määrittämiseksi todellisen tislauksen TBP (*True Boiling Point*) -tislauskäyrä jaetaan osiin alimmasta TBP-lämpötilasta ylimpään. Nämä kiehumispisteittäin jaetut osat ovat kukin yksi pseudokomponentti. Pseudokomponentteja voidaan käsitellä kuten muitakin termodynaamisin ominaisuuksin määriteltyjä komponentteja. (Fahim, *et al.*, 2010)



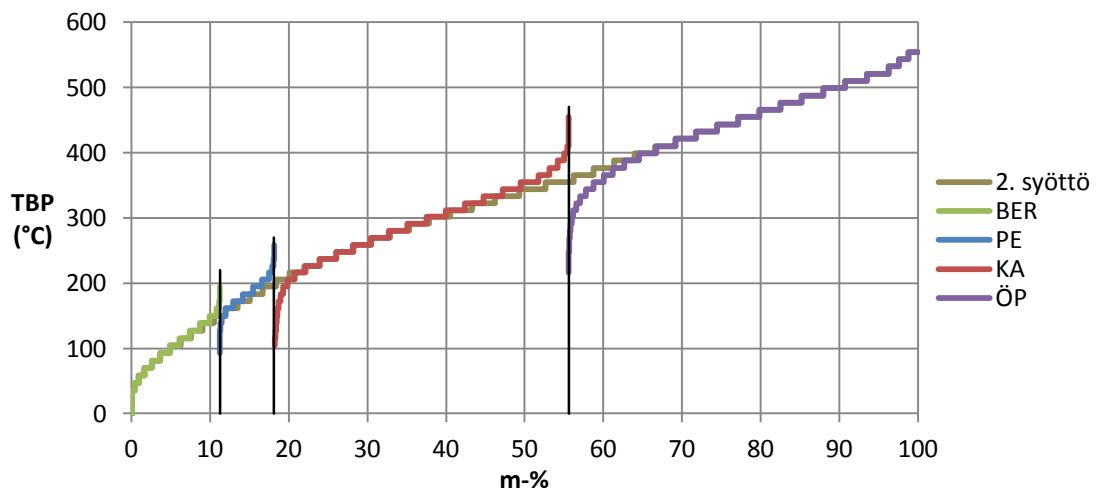
Kuva 42. Syötön TBP-tislauskäyrä. Vaaka-akselilla kumulatiivinen massaprosentti ja pystyakselilla komponenttien kiehumispisteet.

Kuvissa 43 ja 44 esitetään simuloinnin mukaiset TBP-tislauskäyrät esistripperille DA-75001 ja päätuotekolonille DA-75002. Mitä tehokkaampi erotus on, sitä lähempänä vierekkäisten tislauskäyrien päät ovat toisiaan. Täydellisessä erotuksessa kiehumisaluejakaumaltaan edellisen tuotteen tislauskäyrän loppupää koskettaa seuraavan tuotteen käyrän alkupäätä. Tislauskäyrien alku- ja loppupäitä on siistitty kuvaajassa katkaisemalla käyrä 0,01 %-yksikön verran kummastakin päätepisteestä. Muutoin jokainen käyrä kulkisi alimmasta kiehumislämpötilasta ylimpään, vaikka niissä lämpötiloissa pitoisuudet ovat mitättömiä.



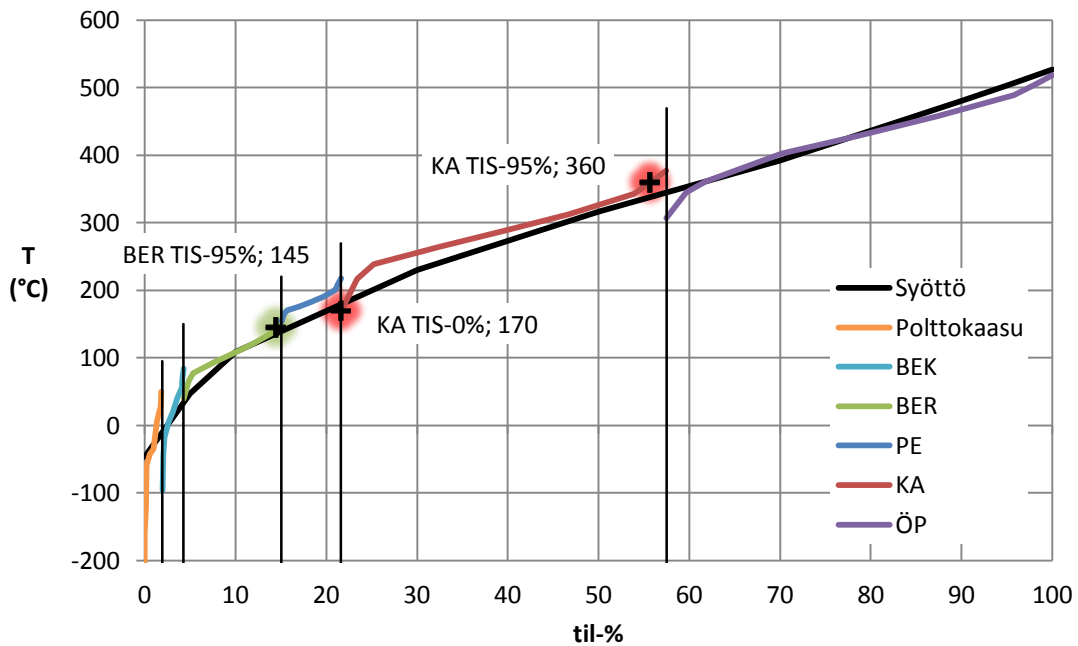
Kuva 43. Esistripperin DA-75001 TBP-tislauskäyrät. Syötöstä 1,93 m-% poistuu polttokaasun mukana. Kevyt bensiini (BEK) on 2,35 m-% kokonaissyötöstä. Esistripperin pohjatuote (2. syöttö) on päätuotekolonnin DA-75002 syöttö.

Päätuotekolonnin DA-75002 jakeiden saannot nähdään tislauskäyrältä (Kuva 44). Pohjaöljyä (ÖP) saadaan määrällisesti eniten ja petroolia (PE) vähiten. Raskaan bensiinin saanto on 11,23 m-%, petrolin 6,89 m-%, kaasuöljyn 37,47 m-% ja pohjaöljyn 44,41 m-% kolonnin syötöstä.



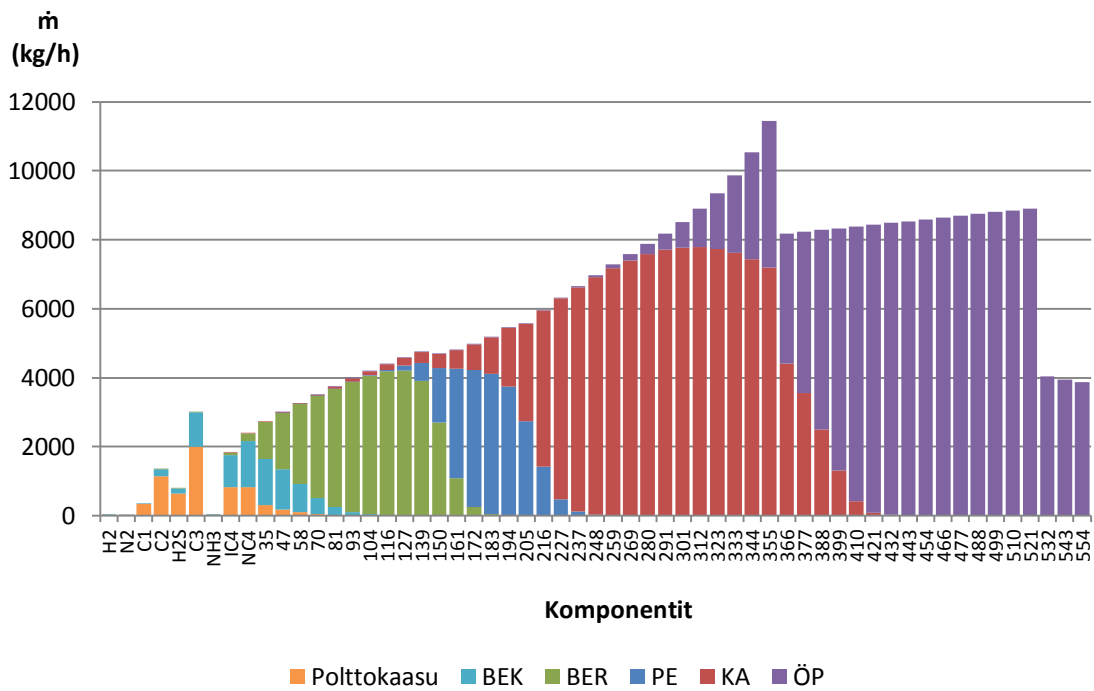
Kuva 44. Päätuotekolonnin DA-75002 ja sivustrippereiden DA-75003 ja DA-75004 TBP-tislauskäyrät. 2. syöttö on päätuotekolonnin syöttö.

Koko MHC-tislausosan yhteinen tilavuusperusteinen ASTM D86 -tislauskäyrä on kuvassa 45. Tämän tislauskäyrän piirtämiseen käytetään eri menetelmää kuin aiempiin tislauskäyriin, sillä simuloinnin kolme laatuspesifikaatiota on annettu D86 -tislaukseen sidottuna. Simulointi rajaa tuotteiden kiehumisaluejakaumia laatuspesifikaatioiden perusteella.

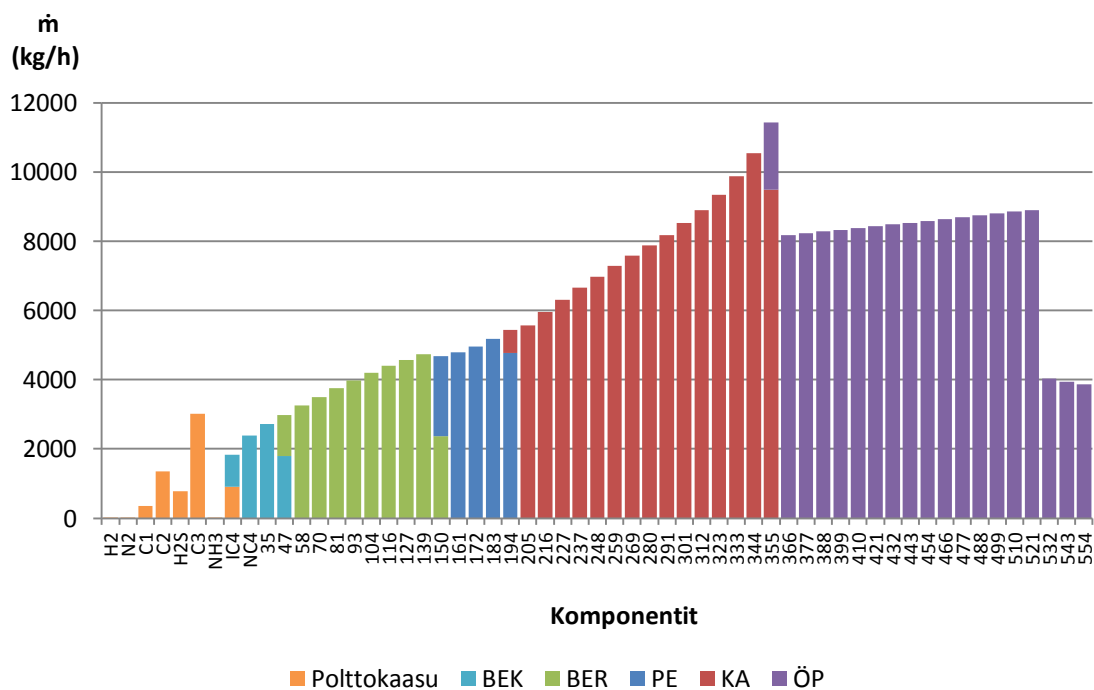


Kuva 45. MHC-tislausosan D86-tislauskäyrä. Rastit kuvaavat laatuspesifikaatioita; esimerkiksi raskaan bensiinin (BER) tuotejakeesta tulisi olla höyrystyneenä 95 tilavuusprosenttia lämpötilassa 145 °C.

Syötön massavirta simuloinnissa on 333 944 kg/h, joka jakautuu tuotteiksi komponenteittain kuvan 46 mukaisesti. Komponenttien jakauma ei ole luonnollisen muotoinen, mikä näkyy kahtena pudotuksena raskaan pään komponenttien massavirroissa. Syötön määrittely on tehty yksikön suunnitteluvaiheessa, eikä jakaumaa ole tasoitettu tässä työssä. Jos kolonneissa oletetaan tapahtuvan täydellinen erotus, jakaantuu syöttö tuotteiksi siten, että kukin komponentti jaetaan korkeintaan kahden tuotteen välillä (Kuva 47). Tuote- ja komponenttikohtaiset määrät ovat samat kuin simuloinnissa.

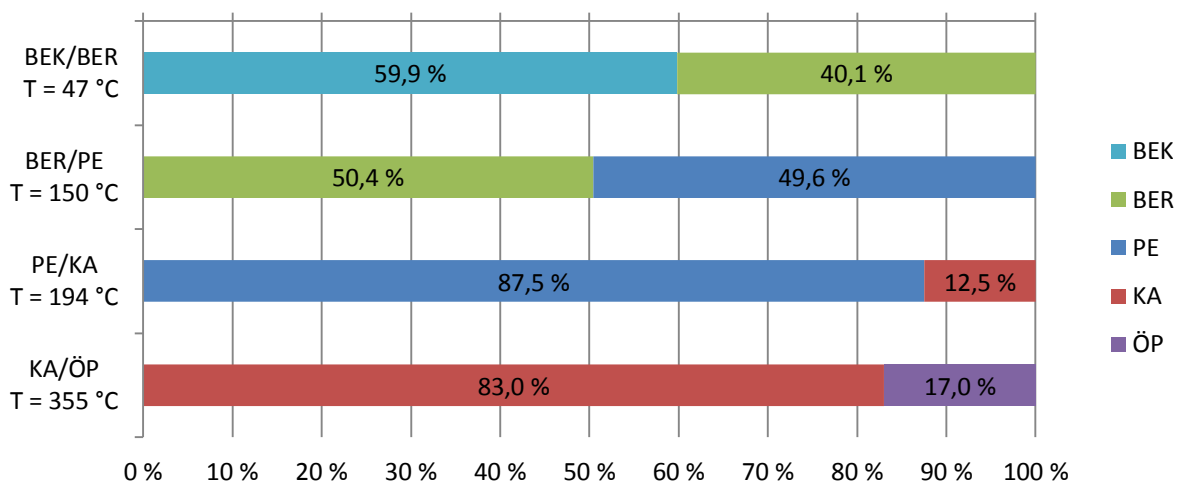


Kuva 46. Syötön jakautuminen tuotteiksi komponenteittain. Pseudokomponentit on kuvattu siten, että saman kiehumispisteen komponentit on laskettu yhteen.



Kuva 47. Täydellinen erotus komponenteittain.

Kevyimmät komponentit ovat polttokaasua, seuraavaksi kevyimmät kevyttä bensiiniä (BEK) ja niin edelleen. Pseudokomponentteja, joissa tuotelaatu vaihtuu, ovat 47, 150, 194 sekä 355 °C. Raskas bensiini (BER) vaihtuu petroliksi (PE) komponentin 150 °C kohdalla, ja petroli puolestaan kaasuöljyksi (KA) komponentin 194 °C kohdalla. Täydellisessä erotuksessa edellä mainitut komponentit jakautuvat kahteen tuotteeseen kuvan 48 mukaisesti.



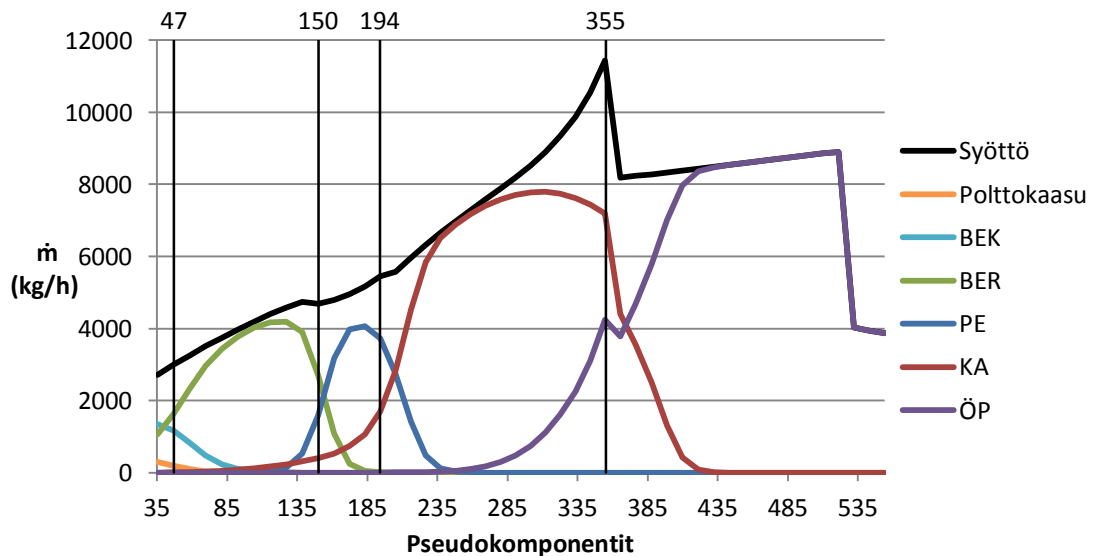
Kuva 48. Kahteen tuotteeseen jaettavien pseudokomponenttien jakautuminen täydellisessä erotuksessa. Prosentuaaliset osuudet lasketaan massavirroista.

Täydellisen erotuksen tuotelaatujen vaihtumiskohtia voidaan hyödyntää simuloidun petrolijakeen saannon määrittelyssä. Siten sataprosenttisesti oikeaan laatuun eli saantoon kuuluu 49,6 % kiehumispisteen 150 °C pseudokomponentin kokonaismassasta, kaikki kiehumispisteiden 161, 172 ja 183 °C massoista sekä 87,5 % kiehumispisteen 194 °C pseudokomponentin kokonaismassasta. Täydellisessä erotuksessa tämä pseudokomponenttiryhmä koostuu ainoastaan petrolista, ja sen massavirta on 22 015 kg/h.

Petrolin saannon ennen simulointimuutoksia ei katsota olevan 100 %, sillä petroliulosotossa on haluttuja komponentteja vain 16 524 kg/h. Kuten yhtälöstä 12 nähdään, on laadusta oikeaa noin 75,1 %:

$$\frac{16\,524\text{ kg/h}}{22\,015\text{ kg/h}} \cdot 100\% \approx 75,1\% \quad (12)$$

Kuvaan 49 on merkitty simuloinnin tuotejakaumat sekä täydellisen erotuksen mukaiset rajakohdat. Jotta petrolin saanto olisi samankaltaista kuin täydellisessä erotuksessa, tulisi petrolijakauman pysyä pseudokomponenttien 150 °C ja 194 välissä °C.



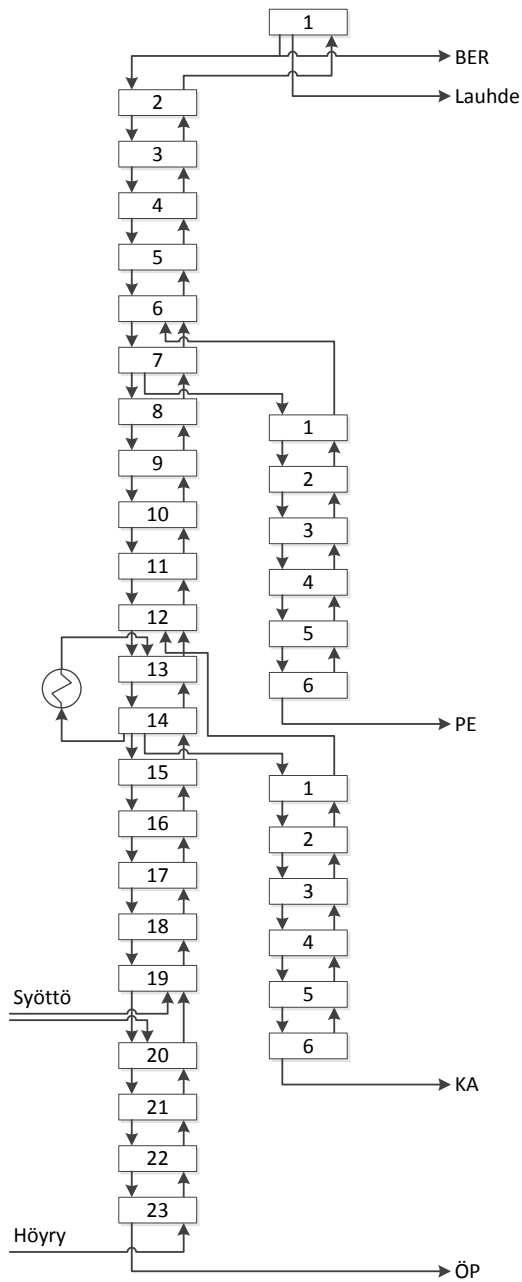
Kuva 49. Simuloinnin tuotejakaumat ja täydellisen erotuksen tuotelaaturajat. Pseudokomponenttien 150–194 välissä on raskasta bensiiniä (BER), petroliä (PE) sekä kaasuöljyä (KA), mikä huonontaa petroliulosoton laatua.

Täydellisen tislauksen erotus on äärettömän terävä, eikä todellisessa prosessissa hyvälläkään erotuslaitteistolla ole mahdollista päästä äärettömän terävään



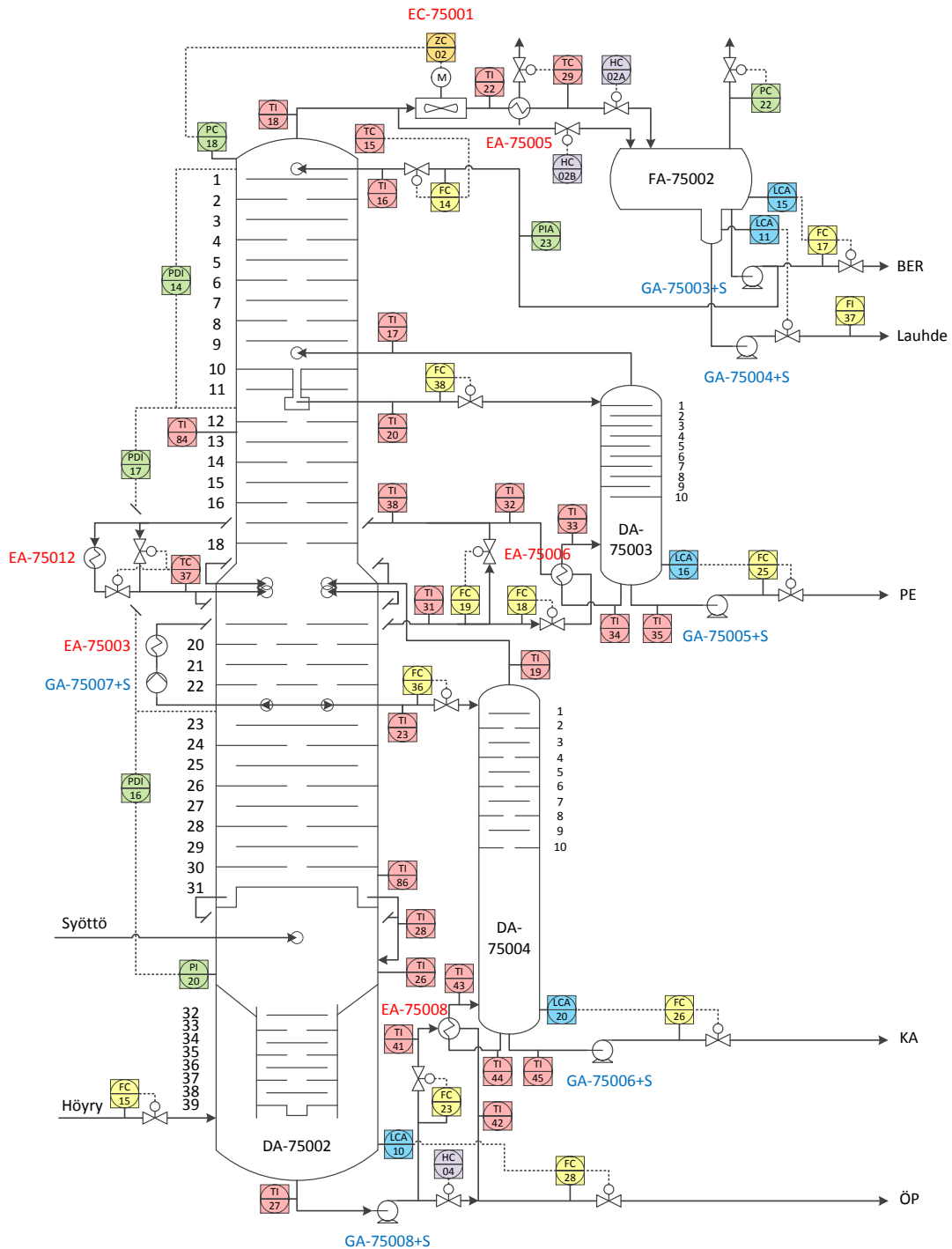
erotukseen. Leimahduspistettä ei voida määrittää täydellisen erotuksen perusteella, koska todellisen tislaukkyrän alkupää kaartuu aina alaspäin jyrkästi. Hännän vaikutuksesta todellinen leimahduspiste on täydellisen tislauksen leimahduspistettä alhaisempi, koska leimahduspiste on vahvasti riippuvainen jakeen kevyistä komponenteista. Täydellisen erotuksen leimahduspistettä tavoiteltaessa joudutaan tinkimään petrolin määrästä, jotta leimahduspiste olisi yhtä korkea kuin täydellisessä tislauksessa. Näin ollen täydellistä erotusta ei hyödynnetä tislauksen tavoitteenasettelussa, koska leimahduspistettä ja saantoa ei mielekkäästi pystytä yhdistämään yhdeksi tavoitteeksi.

Päätuotekolonni DA-75002 on MHC-tislausosan keskeisin laite. Kuvassa 50 on päätuotekolonnin ideaalipohjat ja niiden väliset virtaukset. Lisäksi samassa kuvassa on petroli- ja kaasuöljystrippereiden DA-75003 ja DA-75004 ideaalipohjat virtauksineen. Ylös osoittavat nuolet kuvaavat kaasuvirtauksia ja alas osoittavat nestevirtauksia. Kukin nuoli vastaa todellisen prosessin virtausta. Esimerkiksi päätuotekolonnin ideaalipohjalta 14 otetaan osa nestevirrasta kiertopalautukseen, osa kaasuöljystripperiin DA-75004 ja loput nesteestä valuu ideaalipohjalle 15.



Kuva 50. Simuloinnin mukaiset päätuotekolonnin DA-75002 ja sivustrippereiden DA-75003 ja DA-75004 ideaalipohjat. Ideaalipohja 1 on lauhdutin.

Jotta todellisten välipohjien ja simuloinnin ideaalipohjien välinen yhteys on helpommin nähtävissä, on kuvassa 51 päätuotekolonnin DA-75002 ja sivustrippereiden DA-75003 ja DA-75004 todelliset välipohjat. Kuvassa on lisäksi laitteisto ja instrumentointi kolonnienväliin. FA-75002 on jakotislauksen ylimenosäiliö, johon lauhdutettu ylimeno virtaa.

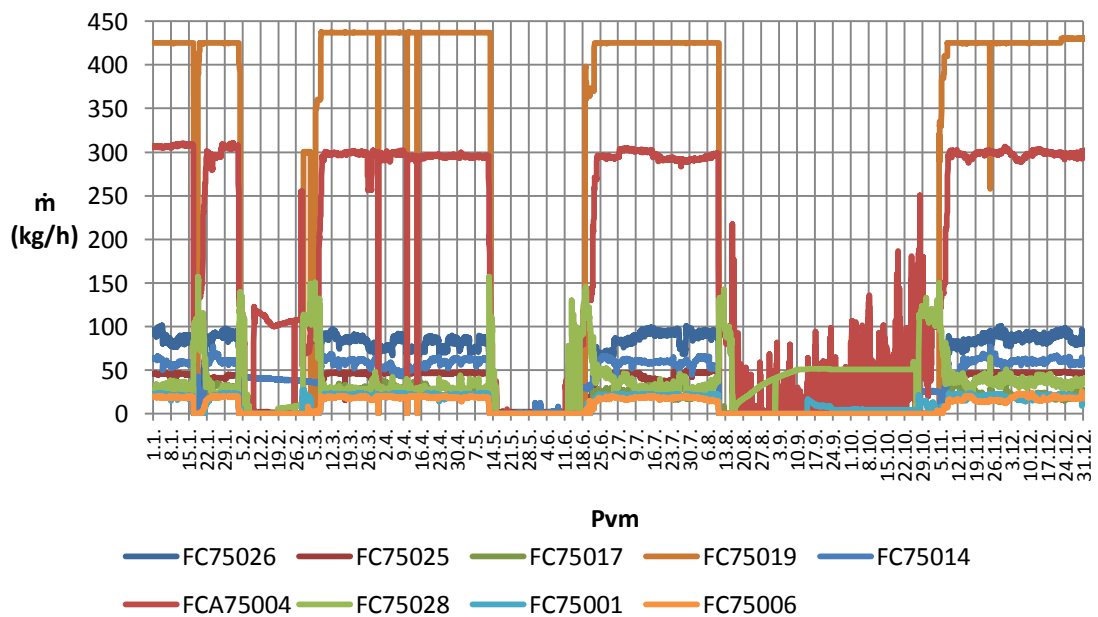


Kuva 51. Pumput, lämmönvaihtimet, venttiilit ja instrumentointi päätuotekolonnin DA-75002 ja sivustrippereiden DA-75003 ja DA-75004 ympärillä. MHC-tislausosassa instrumentointitunnusten numero-osat ovat muotoa -750xx, jossa xx tarkoittaa kuvassa näkyviä kahta viimeistä numeroa. Tislauskolonnien todellisten pohjien lukumäärä on suurempi kuin ideaalipohjien.

## 5.2 Optimointia rajoittavat käytännön tekijät

Todellisessa prosessissa olevat rajoitteet estävät suurien, simuloinnissa mahdollisten muutosten tekemistä. Simulointi ei pysty huomioimaan sellaisia rajoitteita, kuten muutoksiin kuluva aika, venttiilien aukeamia, pumppukäyriä, kiertopalautuksen lämmönvaihtimien EA-75003 ja EA-75012 kapasiteettia sekä ylimenolauhduttimen EA-75005 tarvitsemää vesimäärää.

Simuloinnin virtaamia verrataan todellisen prosessin virtaamiin sekä pumppujen ja venttiilien kapasiteetteihin. Kuvasta 52 nähdään aikavälit, jolloin prosessi on ollut alas ajettuna, eli helmikuussa, touko-kesäkuussa sekä elokuun puolivälistä marraskuun alkuun. Näin lukemia voidaan tarkastella oikeana ajanjaksona.



Kuva 52. Päätuotekolonniin DA-75002 massavirtauksia vuonna 2014 tuntikeskiarvon tarkkuudella. Virtausmittausten selitteet ovat taulukossa 10.

Taulukossa 10 verrataan simuloinnin virtauksia todellisen prosessin maksimivirtauksiin. Massavirta  $\dot{m}_{max}$  on virtauksen korkein tuntikeskiarvo ajanjaksolla 23.6.–5.8.2014, jolloin prosessi on ollut normaalisti käynnissä. Näin

jätetään huomiotta ylös- ja alasajojen aiheuttamat virtauspiikit. On huomioitava, että toteutuneet lukemat ovat maksimiarvoja, ja simuloitujen arvot oletetaan tasaisiksi virtauksiksi. Toteutuneet maksimivirtaukset ovat keskimäärin 10 % suurempia kuin keskiarvovirtaukset.

Simuloitujen virrat ovat 0,4–2,7-kertaisia toteutuneisiin virtauksiin nähden, josta voidaan päätellä simuloinnin käyttäytyvän todellisesta prosessista eroavalla tavalla. Simuloinnin erotuskyky on huonompi kuin todellisen prosessin, sillä kummankin kolonnin huipunpalautus on simuloinnissa lähes kaksinkertainen todelliseen prosessiin verrattuna. Simuloinnissa pohjaöljyn (ÖP) osuus ulosotosta on selvästi suurempi ja kevyen bensiinin (BEK) sekä petrolin (PE) osuus pienempi.

Taulukko 10. MHC-tislausosan virtauksia todellisessa prosessissa ja simuloinnissa. Todellisen prosessin arvot ovat maksimituntikeskiarvoja 23.6.–5.8.2014. OSBL:llä tarkoitetaan varastoaluetta (*Outside Battery Limits*) erotuksena prosessialueesta (ISBL, *Inside Battery Limits*).

Virran selite	Todellinen prosessi		Simulointi		Virtojen suhde (Sim/Tod)
	Tunnus	$\dot{m}_{\max}$ (t/h)	Tunnus	$\dot{m}$ (t/h)	
DA-75001 huipunpalautus	FC75001	23,3	-	40,8	1,8
BEK > OSBL/KTY	FC75006	20,3	7507	7,8	0,4
DA-75001 pohjatuote	FCA75004	304,9	7509D	320,2	1,1
DA-75002 huipunpalautus	FC75014	66,7	-	113,3	1,7
BER > OSBL/BERP3	FC75017	33,2	7518	36,0	1,1
PE > OSBL	FC75025	50,0	522	22,0	0,4
KA > OSBL	FC75026	101,0	3528	119,8	1,2
KA kiertopalautus	FC75019	425,3	-	329,3	0,8
DA-75002 pohjatuote (ÖP)	FC75028	52,2	530	142,0	2,7
KA > DA-75004	FC75036	105,9	-	123,8	1,2
PE > DA-75003	FC75038	57,0	-	32,3	0,6

Simuloinnin ja todellisen prosessin syöttömäärän vertailu on vaikeaa, sillä esistripperin DA-75001 syötössä ei ole virtausmittausta. Esistripperin pohjatuotteen (FCA75004) tarkastelu antaa kuitenkin kokoluokan virtauksien suhteelle.

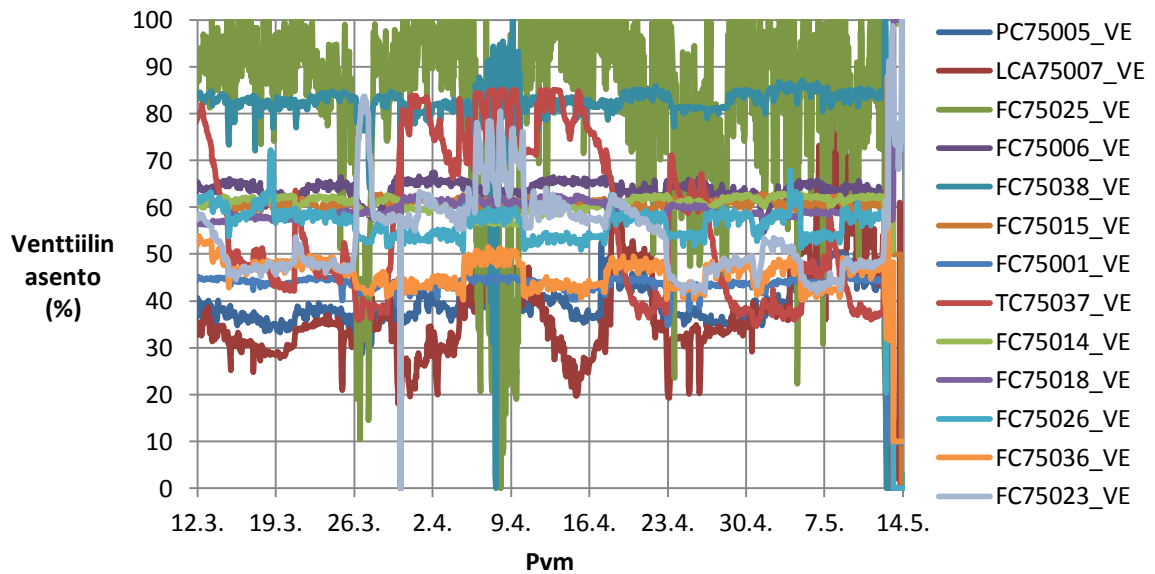
Pohjatuotteen keskimääräinen virtaus vuosina 2013–2014 oli 295 t/h, jolloin simuloinnin virtaus on noin 8,5 % suurempi. Esistripperin syötön ominaisuuksia voitaisiin seurata, jos syötöstä koostuviin linjoihin lisättäisiin instrumentointia. Jo virtausmittaukset selventäisivät kokonaisuutta.

MHC-tislausosan tärkeimpien pumppujen virtauskapasiteetin riittävyys on laskettu taulukossa 11. Pumppujen GA-75001+S ja GA-75003+S läpivirtaus tulee laskea kahden virtausmittauksen summana, sillä kyseisille pumppuille ei ole yhtä virtausmittausta. Massavirtauksen ja kapasiteetin vertailussa on käytetty kaikille virtauksille yhteistä, kaasuöljylle ominaista tiheyttä 857 kg/m<sup>3</sup>. Vertailussa suhdeluku on 1, jos koko virtauskapasiteetti on käytössä. Suurin suhde todellisessa prosessissa on pumpulla GA-75005+S (0,59) ja simuloinnissa pumpulla GA-75003+S (0,67). Pumppujen virtauskapasiteetti ei siis näytä rajoittavan ulosottoa.

Taulukko 11. MHC-tislausosan tärkeimpien pumppujen suurimmat läpivirtaukset suhteessa pumppujen kapasiteettiin.

Pumppu	Pumpattava fluidi	Virtauskapasiteetti (m <sup>3</sup> /h)	Suhde virtauksiin	
			Todellinen prosessi	Simulointi
GA-75001+S	BEK + huipunpalautus	165	0,31	0,34
GA-75002+S	DA-75001 pohjatuote	672	0,53	0,56
GA-75003+S	BER + huipunpalautus	260	0,45	0,67
GA-75005+S	PE	99	0,59	0,26
GA-75006+S	KA	271	0,43	0,52
GA-75007+S	KA kiertopalautus	1144	0,43	0,34
GA-75008+S	ÖP	373	0,16	0,44

Pumppujen kapasiteetin lisäksi venttiilit voivat rajoittaa virtausmääriä. Petrolin ulosottoa säätävä venttiilinasento FC75025\_VE on usein hyvin lähellä säätöalueensa ylärajaa (Kuva 53).



Kuva 53. MHC-tislausosan säädettäviin muuttujiin kuuluvien venttiilien asennot (VE) tuntikeskiarvona 12.3.–14.5.2014.

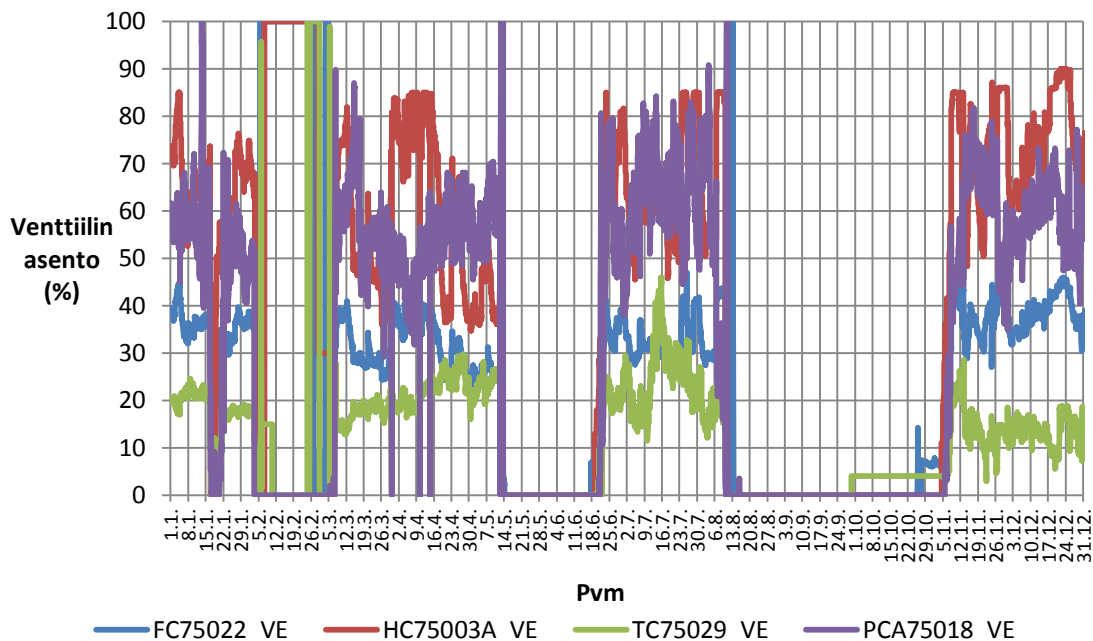
Venttiilinasentojen kuvaukset on lueteltu taulukossa 12. Tunnisteet on järjestetty korkeimmasta prioriteetista matalimpaan tietokonesäädön monimuuttujasäätimen MDAC näkökulmasta.

Taulukko 12. Venttiilinasentojen kuvaukset. (Lämsä, 2013)

Tunniste	Kuvaus
PC75005_VE	FA-75001 kaasu > FA-71023_VE
LCA75007_VE	FA-75001 rajapinta_VE
FC75025_VE	MHC PE > OSBL_VE
FC75006_VE	BEK > OSBL / KTY_VE
FC75038_VE	MHC PE > DA-75003_VE
FC75015_VE	Strippaushöyry > DA-75002_VE
FC75001_VE	Huipunpalautus > DA-75001_VE
TC75037_VE	KA EA-75012 > DA-75002_VE
FC75014_VE	DA-75002 huipunpalautus_VE
FC75018_VE	MHC KP > EA-75006_VE
FC75026_VE	MHC KA > varasto_VE
FC75036_VE	MHC KA > DA-75004_VE
FC75023_VE	MHC ÖP > EA-75008_VE

Petrolituotteen OSBL-alueelle johtavan linjan venttiili FCV-75025 on uusittu ja petrolipumppuihin GA-75005+S on vaihdettu maksimijuoksupyörä ja isompi sähkömoottori Neste Jacobsin tekemän esiselvityksen (Mannerla, 2012) ehdotuksien mukaisesti. Petrolin ulosoton kapasiteettia voidaan edelleen lisätä tuoteputkistoa suurentamalla ja tekemällä muutoksia petrolistripperin DA-75003 välipohjiin.

Kuvassa 54 on ylimenolauhdutukseen ja kiertopalautukseen kuuluvien venttiilien asennot vuonna 2014. Päätuotekolonnin DA-75002 ylimenon painetta säättävä venttiili PCA75018 sekä kiertopalautuksen käsiohjattu venttiili HC75003A ovat vuoden aikana olleet yli 90 % auki kertaalleen kumpikin. Kiertopalautuksen lämmönvaihtimen EA-75012 syöttöveden venttiili FC75022 sekä päätuotekolonnin ylimenon vesijäähdyttimen EA-75005 lämpötilaa säättävä venttiili TCA75029 ovat tavallisesti alle 50 % auki. Ylimenolauhdutuksen ja kiertopalautuksen kapasiteeteissa näyttää siis olevan hyvin säätövaraa.



Kuva 54. Ylimenolauhdutuksen ja kiertopalautuksen venttiilien asennot tuntikeskiarvona vuonna 2014.



### **5.3 Syötön koostumuksen muutos simulointikokeella**

Simulointiin asetettua syöttöä manipuloidaan, jotta voidaan jäljitellä tilannetta, jossa MHC-tislausosan syöttö muuttuu häiriön seurauksena. Häiriönä voidaan pitää esimerkiksi reaktorien krakkausolosuhteiden muuttumista. Muutostilanne ajatellaan osana kuvitteellista 12 tunnin työvuoroa, jossa ensimmäiset neljä tuntia prosessi toimii alkuperäisellä tavalla. Neljän tunnin operoinnin jälkeen krakkausolosuhteet muuttuvat äkillisesti, johon operaattori reagoi korjaavin toimenpitein. Ketjuttamalla steady state -simulointeja peräkkäin voidaan lähestyä tilannetta dynaamista simulointia jäljitellen.

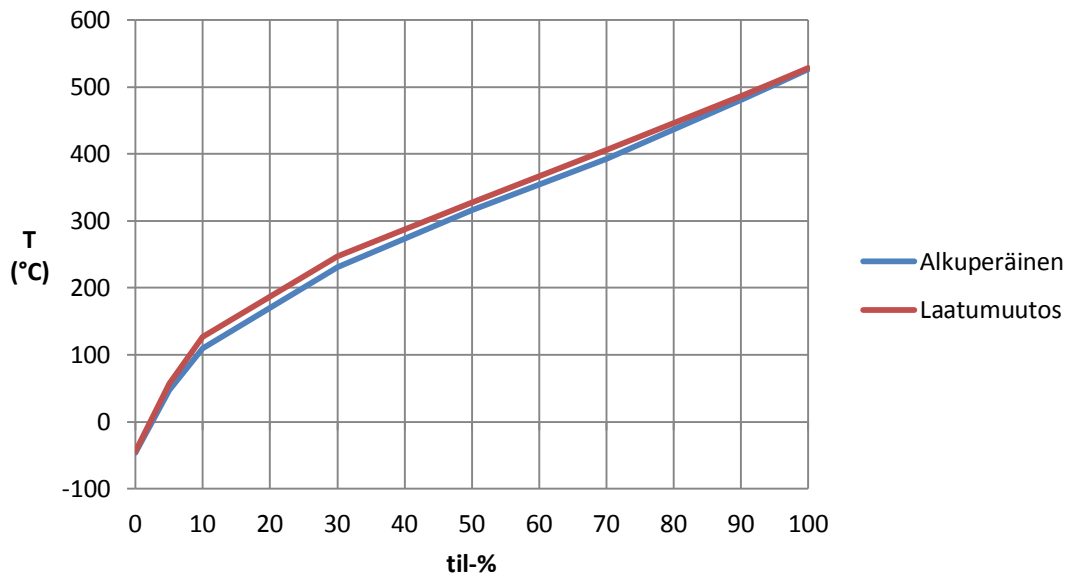
#### **5.3.1 Muutos ja sen vaikutukset**

Esistripperin DA-75001 syötössä vähennetään kevyiden ja lisätään raskaiden pseudokomponenttien massavirtaa. Taulukossa 13 on tislauskäyrien pisteet ennen muutosta ja sen jälkeen. Koska muutos vaikuttaa laadun kannalta olennaisesti kiehumisaluejakaumiin ja petrolin leimahduspisteeseen, keskitytään operoinnissa niiden palauttamiseen. Petrolin leimahduspisteen muutokset näkyvät tarkemmin tulosten yhteydessä kuvassa 57. Syötön laadun muutos on ainoa muutettava asia, ja muut simuloinnin syöttötiedot pysyvät ennallaan.

Taulukko 13. Syötön ja tuotteiden aineominaisuuksia ennen ja jälkeen laatumuutoksen. TBP ja D86 ovat kiehumisaluejakauman määrittämenetelmiä. Laatuspesifikaatiot on merkitty vihreällä. SG on ominaispaino (*Specific Gravity*) lämpötilassa 60 °F (15,56 °C) ilmakehän paineessa. Vertailuaineena on vesi.

	Alkuperäinen (°C)						
TBP (m-%)	Syöttö	Polttokaasu	BEK	BER	PE	KA	ÖP
0	-123,9	-261,0	-152,6	-5,5	125,8	123,2	281,6
5	61,3	-194,5	-52,6	43,0	147,6	201,2	338,4
10	112,4	-163,6	-43,3	54,9	154,8	218,9	359,9
30	247,7	-61,9	-3,9	82,9	169,7	258,5	414,1
50	333,0	-41,3	26,7	104,1	182,0	292,6	451,6
70	413,2	-14,7	46,2	123,5	194,5	325,6	488,2
90	499,9	25,8	66,2	144,0	210,0	361,2	524,4
95	520,7	43,0	76,2	151,7	217,4	376,8	539,9
100	549,8	61,3	94,9	166,1	228,5	398,2	555,9
<b>D86 0 til-%</b>	-46,1	-205,2	-95,4	39,3	154,8	170,0	306,7
<b>D86 95 til-%</b>	503,7	27,9	70,2	145,1	209,8	360,0	503,6
<b>SG</b>	0,823	0,449	0,589	0,737	0,782	0,854	0,882
<b>ṁ (kg/h)</b>	333 944	6 468	7 840	35 950	22 015	119 770	142 036
	Laatumuutos (°C)						
TBP (m-%)	Syöttö	Polttokaasu	BEK	BER	PE	KA	ÖP
0	-124,3	-261,1	-152,4	-10,4	124,7	126,2	277,2
5	74,8	-195,2	-51,6	45,4	145,2	187,7	335,4
10	137,5	-164,0	-43,2	58,1	148,8	204,3	357,3
30	263,0	-62,4	-4,3	87,8	160,5	247,7	415,5
50	343,8	-41,7	33,3	107,7	169,9	284,7	456,4
70	426,7	-18,0	53,4	125,9	179,7	320,5	491,4
90	504,9	22,2	77,2	144,8	193,6	359,3	523,5
95	522,0	44,4	88,3	151,3	198,7	375,9	538,0
100	549,8	67,3	106,6	164,3	210,8	399,6	555,5
<b>D86 0 til-%</b>	-44,7	-205,4	-94,5	35,2	149,9	170,0	301,5
<b>D86 95 til-%</b>	507,4	26,7	80,8	145,0	194,3	360,0	502,1
<b>SG</b>	0,829	0,447	0,597	0,742	0,776	0,849	0,882
<b>ṁ (kg/h)</b>	333 944	6 393	7 840	24 373	14 668	126 098	154 696

Syötön muuttaminen ei vaikuta laatuspesifikaatioiden toteutumiseen, mutta esimerkiksi petrolin tislaukkyrää on muutoksen jälkeen selvästi erilainen. Kuvassa 55 on syötön tislaukkyrää ennen syötön koostumuksen muutosta ja sen jälkeen. Syöttö muuttuu raskaammaksi, eli se kiehuu korkeammassa lämpötilassa.



Kuva 55. Syötön TBP-tislauskäyrä ennen muutosta ja sen jälkeen.

Tehty muutos aiheuttaa häiriön päätuotekolonnin DA-75002 lauhduttimen toiminnassa. Simuloinnin määrittelyssä lauhduttimen lämpötilaksi asetetaan 78 °C ja paineeksi 150 kPa(a). Lauhduttimessa olevan nesteen kyllästyslämpötila samassa paineessa on 77,38 °C. Koska pohjan lämpötila on nesteen kyllästyslämpötilaa korkeampi, voi osa kylläisestä nesteestä höyrystyä.

### 5.3.2 Operointi ja tulokset

Operointimuutokset kuvaavat operaattorin toimenpiteitä hänen huomatessaan muutoksen prosessin toiminnassa. Koska tuotteen laatu on tislauksen toimivuuden jälkeen ensisijainen vaatimus, pyritään operointimuutoksilla palauttamaan laatu samanlaiseksi kuin ennen muutosta. Tarkemmat tiedot muutoksista ja niiden vaikutuksista ovat liitteen 2 ajotulosteessa. Käytettyjä muuttujia ovat:

- kevyen bensiinin (BEK) ulosottomäärä (kg/h)
- raskaan bensiinin (BER) ulosottomäärä (kg/h)
- petrolin (PE) ulosottomäärä (kg/h)

- kaasuöljyn (KA) ulosottomäärä (kg/h)
- kaikkien kolonnien DA-75001 – DA-75004 huippujen paineet (kPa(a))
- petrolistripperin DA-75003 kiehuttimen teho (kW)
- kaasuöljystripperin DA-75004 kiehuttimen teho (kW)
- kiertopalautuksen teho (kW)
- esistripperin DA-75001 strippaushöyrymäärä (kg/h)
- päätuotekolonnin DA-75002 strippaushöyrymäärä (kg/h)

Muutoksia tehdään yksi kerrallaan, mutta esimerkiksi ulosottoja säädetään yhdessä, jotta massataseet täsmäisivät. Jos yhdestä ulosotosta otetaan liikaa tuotetta, kuivuu toinen ulosotto. Simulointimallin tulee heijastaa todellista prosessia, jossa säädöillä varmistetaan, ettei kolonni pääse kuivumaan. Tavoitemittariston käyttöliittymässä estetään liiallisten ulosottojen tavoittelu rajoittein. Kustakin muuttujasta pyritään löytämään se arvo, jolla saanto paranee eniten. Rajoitteena on simuloinnin toimivuus sekä petrolin laadun säilyminen, jota tarkastellaan kiehumisaluejakauman eli tislauksikäyrän ja leimahduspisteen avulla. Simuloinnin konvergoitumista voivat estää asetusarvot, joilla simulointi saadaan käyttäytymään todellisen prosessin tavoin.

Korjattua laatua kuvaava tislauksikäyrä saadaan hyvin lähelle alkuperäistä käyrää. Taulukossa 14 ovat petrolin TBP-tislauksikäyrän arvot ennen laatumuutosta, sen jälkeen sekä operointimuutoksin korjattuna. Lisäksi taulukossa on muita petrolille huomioitavia tuloksia. Saannolla tarkoitetaan täydellisen erotuksen mukaista kiehumispisteiden 150 °C ja 194 °C välissä olevaa osaa tuotteesta.

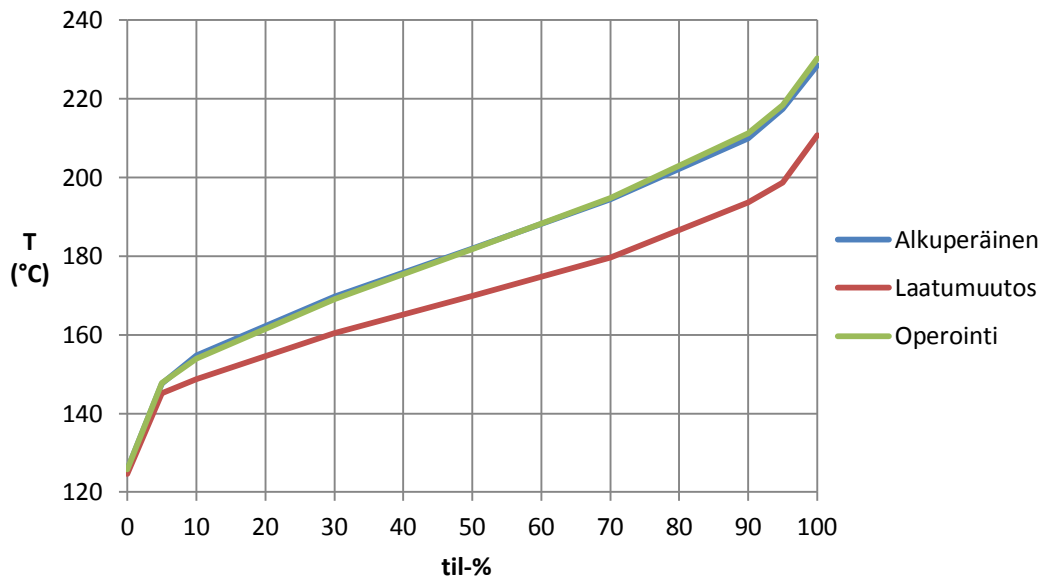
Lauhdutinhäiriö saadaan poistettua nostamalla simuloinnissa päätuotekolonnin DA-75002 huipun ja lauhduttimen painetta. Toimenpide pätee simuloinnin lisäksi todellisessa prosessissa (Viertorinne, 2012). Näin saadaan nesteen kyllästyslämpötila lauhduttimen lämpötilaa (78 °C) korkeammaksi. Tällöin neste ei

höyrysty, sillä se ei kyllästy. Lauhduksen nesteen kyllästyslämpötila  $T_{L'}$  on taulukossa 14.

Taulukko 14. Petrolin tislauskäyrä, massavirta, saanto ja leimahduspiste sekä päätuotekolonnin DA-75002 lauhduksen kyllästyslämpötila  $T_{L'}$  ennen laatumuutosta, sen jälkeen sekä operointimuutoksin korjattuna.

<b>TBP (m-%)</b>	<b>Alkuperäinen (°C)</b>	<b>Laatumuutos (°C)</b>	<b>Operointi (°C)</b>
0	125,8	124,7	125,7
5	147,6	145,2	147,8
10	154,8	148,8	154,0
30	169,7	160,5	169,1
50	182,0	169,9	181,7
70	194,5	179,7	194,8
90	210,0	193,6	211,3
95	217,4	198,7	218,4
100	228,5	210,8	230,3
<b>D86 0 til-%</b>	154,8	149,9	154,7
<b>D86 95 til-%</b>	209,8	194,3	211,0
<b>ṁ (kg/h)</b>	22 015	14 667	22 015
<b>Saanto (%)</b>	75,1	60,5	74,2
<b>Leimahduspiste (°C)</b>	55,9	49,0	56,4
<b><math>T_{L'}</math> (°C)</b>	79,06	77,38	80,55

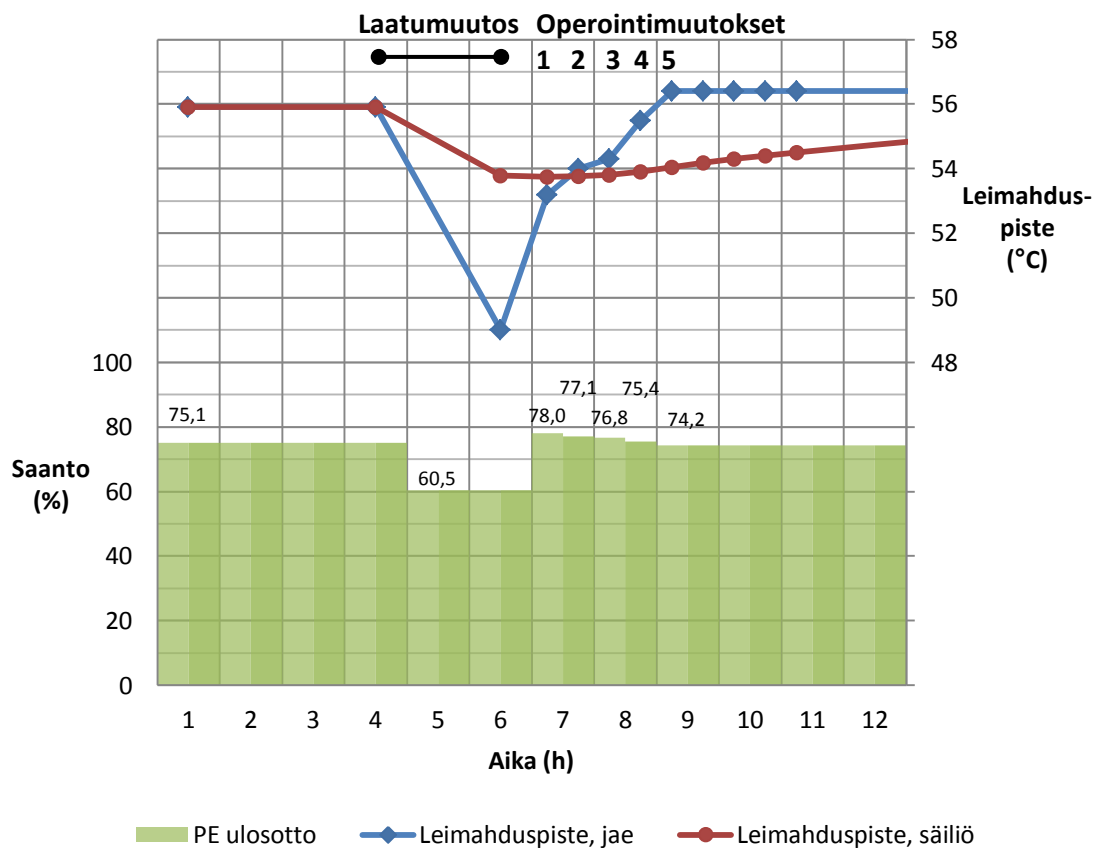
Operointimuutoksin saadaan massavirta palautettua yhtä suureksi kuin alussa ja leimahduspiste alkuperäistä korkeammalle, jolloin koko säiliön leimahduspiste nousee. Vaikka petroliulosoton massavirta säilyy samana, on sen laatu hieman alkuperäistä alhaisempi. Muutoksen myötä petroli muuttuu kevyemmäksi, mikä nähdään petrolin tislauskäyrästä (Kuva 56).



Kuva 56. Petrolin TBP-tislauskäyrä. Operointimuutoksilla pyritään palauttamaan petrolin laatu mahdollisimman lähelle alkuperäistä.

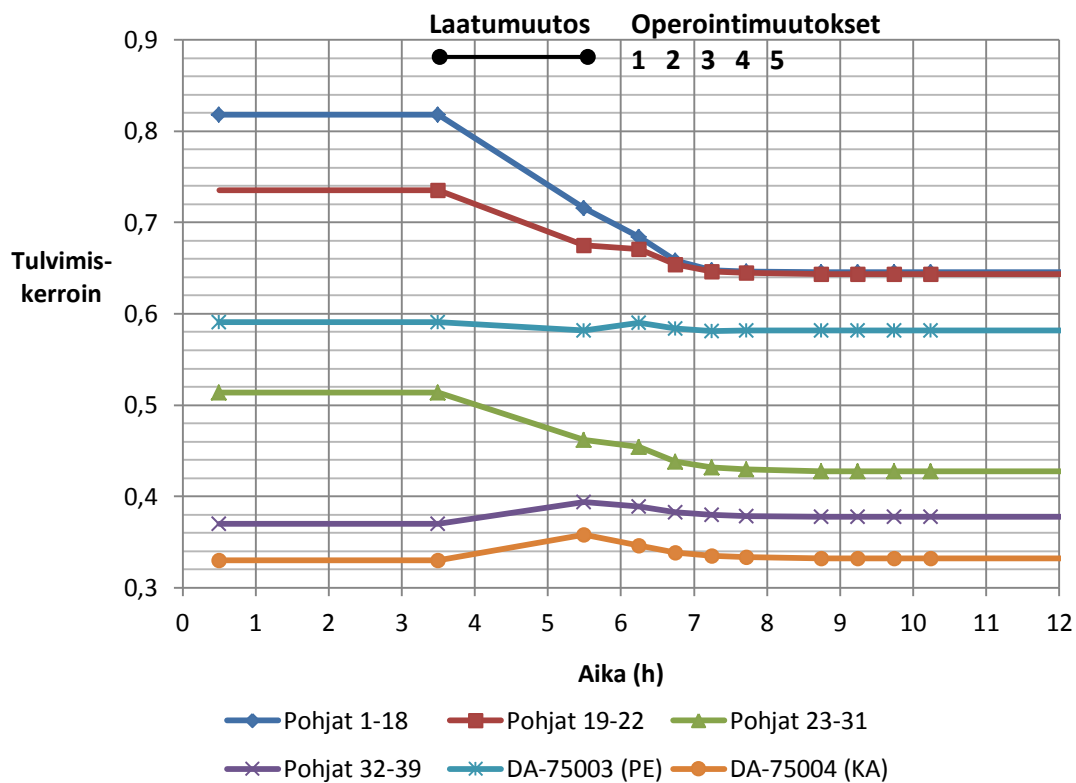
Kuvassa 49 tarkastellaan tuloksia syötön koostumuksen muutoksesta. Muutoksen tultua laatu heikkenee pidemmän aikavälin, koska muutoksen huomaamiseen, näytteenottoon ja analyysitulosten saamiseen katsotaan kuluvan kaksi tuntia. Sen jälkeen muutoksia tehdään tiheämmin. Simulointien halutun laadun saanto vaihtelee 60,5–78,0 %:n välillä. Tuntien 1–4 ja 9–12 simuloinnit ovat keskenään samoja.

Petrolin leimahduspiste simuloinnissa lasketaan taulukon 1 mukaisesti (4.1.2 Laatuennusteiden laskenta) petrolituotteen lämpötilan (TI75035) sekä DA-75002:n ylimenon paineen (PCA75018) avulla. Lisäksi simuloinnissa hyödynnetään Neste Oilin sisäistä menetelmää leimahduspisteen määrittämiseksi säiliössä.



Kuva 57. Krakkausolosuhteiden muutoksen vaikutus petroliulosoton saantoon ja leimahduspisteeseen. Vihreät palkit kuvaavat toteutunutta saantoa. Palkkien yläpuolella oleva luku merkitsee muuttunutta saantoa. Simulointiajankohdat näkyvät pisteinä leimahduspistekäyrillä.

Päätuotekolonnin DA-75002 ja sivustrippereiden DA-75003 ja DA-75004 toimintaa tarkastellaan tulvimiskerrointen avulla kuvassa 58. Päätuotekolonnin tulvimiskertoimet laskevat syötön koostumuksen muuttuessa lukuun ottamatta alaosa (välipohjat 32–39), jonka tulvimiskerroin nousee hieman. Syöttölaadun muuttuessa raskaammaksi kolonnin kuormitus pääosin vähenee.



Kuva 58. Krakkausolosuhteiden muutoksen vaikutus tulvimiskertoimiin. Pohjat 1–39 ovat päätuotekolonnin DA-75002 todellisia välipohjia, joita simuloidaan ideaalipohjilla 2–12, 13–14, 15–19 ja 20–23.

Simulaattori toimii tavoitemittaristona normaalin operoinnin rinnalla antaen operaattorille lisätietoa kolonnin sisäisestä toiminnasta. Operaattorin on mahdollista havaita syöttölaadussa tapahtunut muutos kolonnin lämpötilamittauksista (Kuva 51). Jos lämpötila muuttuu, mutta paine ei, on koostumukseen täytynyt tulla muutos. Jos painekin on muuttunut, nähdään simuloinnista johtuuko lämpötilan muutos ainoastaan paineen muutoksesta, vai vaikuttaako siihen myös koostumusmuutos. Paineen muuttuessa operaattori ajaa simuloinnin läpi, josta hän näkee kolonnin lämpötilat kyseisessä paineessa. Simuloinnin lämpötilaa verrataan todelliseen lämpötilaan, ja jos lukemat eroavat, tiedetään sen johtuvan koostumuksen muutoksesta. Muutostilanteen havaitsemista hankaloittaa LCF-osan aiheuttama toiminta-arvojen vaihtelu. Operaattorin tulee erottaa laatumuutoksesta johtuvat muutokset LCF-osan aiheuttamasta vaihtelusta.



Simulaattoria käytetään tavoitemittaristona, josta saadaan uusi ajotavoite jo ennen kuin saatavilla on laboratoriotuloksia koostumuksesta. Uusi ajotavoite ei välttämättä poista tarvetta laboratorioanalyysiin, mutta vähentää niin kutsuttua kuollutta aikaa muutoksen havaitsemisesta perusteltuihin operointimuutoksiin. Laboratoriotulosten perusteella saadaan uudet ajoparametrit tislaukselle. Tavallisesti näytteenottoon ja tuloksen saamiseen menee noin kaksi tuntia (Kulin, 2014b).

#### **5.4 Syötön määrän muutos simulointikokeella**

Seuraavassa simulointikokeessa muutetaan syötön määrää. Simulointikoe tehdään samoin periaattein kuin ensimmäinen koe. Kuten syötön koostumuksenkin muutos, syötön määrän muutos on prosessihäiriö.

##### **5.4.1 Muutos ja sen vaikutukset**

Esistripperiin DA-75001 menevää syöttövirtauksen määrää kasvatetaan 10 prosenttia:

- Alkuperäinen syöttö: 333 944 kg/h
- Syöttö 10 %:n lisäyksen jälkeen: 367 338 kg/h

Muutos ei vaikuta syötön tislaukikäyrään. Tuotteiden kiehumisaluejakaumat (Taulukko 15) muuttuvat hieman.

Taulukko 15. Syötön ja tuotteiden aineominaisuuksia ennen syötön määrän muutosta ja sen jälkeen. Laatuspesifikaatiot on merkitty vihreällä.

	Alkuperäinen (°C)						
TBP (m-%)	Syöttö	Polttokaasu	BEK	BER	PE	KA	ÖP
0	-123,9	-261,0	-152,6	-5,5	125,8	123,2	281,6
5	61,3	-194,5	-52,6	43,0	147,6	201,2	338,4
10	112,4	-163,6	-43,3	54,9	154,8	218,9	359,9
30	247,7	-61,9	-3,9	82,9	169,7	258,5	414,1
50	333,0	-41,3	26,7	104,1	182,0	292,6	451,6
70	413,2	-14,7	46,2	123,5	194,5	325,6	488,2
90	499,9	25,8	66,2	144,0	210,0	361,2	524,4
95	520,7	43,0	76,2	151,7	217,4	376,8	539,9
100	549,8	61,3	94,9	166,1	228,5	398,2	555,9
<b>D86 0 til-%</b>	-46,1	-205,2	-95,4	39,3	154,8	170,0	306,7
<b>D86 95 til-%</b>	503,7	27,9	70,2	145,1	209,8	360,0	503,6
<b>SG</b>	0,823	0,449	0,589	0,737	0,782	0,854	0,882
<b>ṁ (kg/h)</b>	333 944	6 468	7 840	35 950	22 015	119 770	142 036
	10 %:n lisäys (°C)						
TBP (m-%)	Syöttö	Polttokaasu	BEK	BER	PE	KA	ÖP
0	-123,9	-260,8	-152,5	-7,4	124,2	122,6	278,1
5	61,3	-192,2	-52,5	42,1	147,2	204,1	336,5
10	112,4	-162,4	-43,4	54,1	154,8	221,8	358,2
30	247,7	-61,1	-4,1	82,9	170,8	260,4	413,2
50	333,0	-41,1	24,4	104,7	183,8	293,6	451,0
70	413,2	-14,0	45,4	125,0	197,0	326,2	487,8
90	499,9	25,2	65,1	146,3	213,4	361,4	524,3
95	520,7	42,5	75,2	153,6	219,8	376,9	539,8
100	549,8	60,8	93,8	164,2	232,2	398,1	555,8
<b>D86 0 til-%</b>	-46,1	-204,8	-95,6	37,4	154,3	170,0	303,7
<b>D86 95 til-%</b>	503,7	27,7	69,2	145,1	212,9	360,0	503,6
<b>SG</b>	0,823	0,450	0,588	0,736	0,783	0,855	0,882
<b>ṁ (kg/h)</b>	367 338	7 325	7 840	40 004	26 644	128 387	157 287

Määrän muutos vaikuttaa eniten välipohjien 1–18 tulvimiskertoimeen, sillä se on alkuperäisessäkin tilanteessa korkea (0,82). Päätuotekolonnin DA-75002 ja sivustrippereiden DA-75003 ja DA-75004 tulvimiskertoimet ovat taulukossa 16. Petrolin leimahduspiste nousee syötön lisäyksen johdosta 55,9 °C:sta 56,6 °C:seen.

Taulukko 16. Tulvimiskertoimet ennen syötön määrän muutosta ja sen jälkeen. Pohjat 1–39 ovat päätuotekolonnin todellisia pohjia, joita simuloidaan ideaalipohjilla 2–12, 13–14, 15–19 ja 20–23.

	<b>Alkuperäinen</b>	<b>10 %:n lisäys</b>
Pohjat 1–18	0,82	0,94
Pohjat 19–22	0,74	0,80
Pohjat 23–31	0,51	0,56
Pohjat 32–39	0,37	0,39
DA-75003 (PE)	0,59	0,60
DA-75004 (KA)	0,33	0,33

Muutoksen seurauksena päätuotekolonnin DA-75002 yläosan kuormitus kasvaa liiallisesti, jonka voi todeta lauhdutushäiriöstä ja tulvimiskertoimista. Lauhdutushäiriö on sama kuin aiemman kappaleen 5.3 syötön koostumuksen muutoksessa. Operoinnin tavoitteena on saada päätuotekolonnin häiriöt poistettua ja petrolin leimahduspiste säiliössä laskettua takaisin 55,9 °C:seen. Häiriöitä ovat esimerkiksi edellä mainittu lauhdutuksen vajoitus ja tulvimisriski, jonka takia tulvimiskertoimet pyritään saamaan alkuperäiselle tasolle.

#### **5.4.2 Operointi ja tulokset**

Operointimuutokset aloitetaan säätämällä kunkin ulosoton virtaukseksi 10 prosenttia enemmän kuin lähtötilanteessa, jotta kunkin ulosoton massavirran suhde syötön massavirtaan pysyisi vakiona. Samassa lauhdutustehovajauksen häiriö poistuu. Ulosottojen lisäämisen jälkeen operointi keskittyy petrolin leimahduspisteen ja päätuotekolonnin DA-75002 yläosan tulvimiskertoimen laskuun. Sekä leimahduspiste että tulvimiskerroin riippuvat vahvasti päätuotekolonnin yläosan paineesta sekä kevyen ja raskaan bensiinin (BEK ja BER) ulosottomääristä. Lisäksi petroli- ja kaasuöljystrippereiden kiehutustehon lisääminen pitää kyseisten laatujuen kiehumisaluejakauman alkupään riittävän korkeana. Operointimuutoksilla ei saada välipohjien 1–18 tulvimiskerrointa laskettua alkuperäiselle tasolleen, vaan se jää arvoon 0,90. Operoinnin onnistumista

kuvaavia lukuja on taulukossa 17. Taulukkoon valitut tulokset ovat petrolijakeelle tulvimiskerointia lukuun ottamatta. Tehdyt muutokset ja niiden vaikutukset näkyvät tarkemmin liitteessä 3.

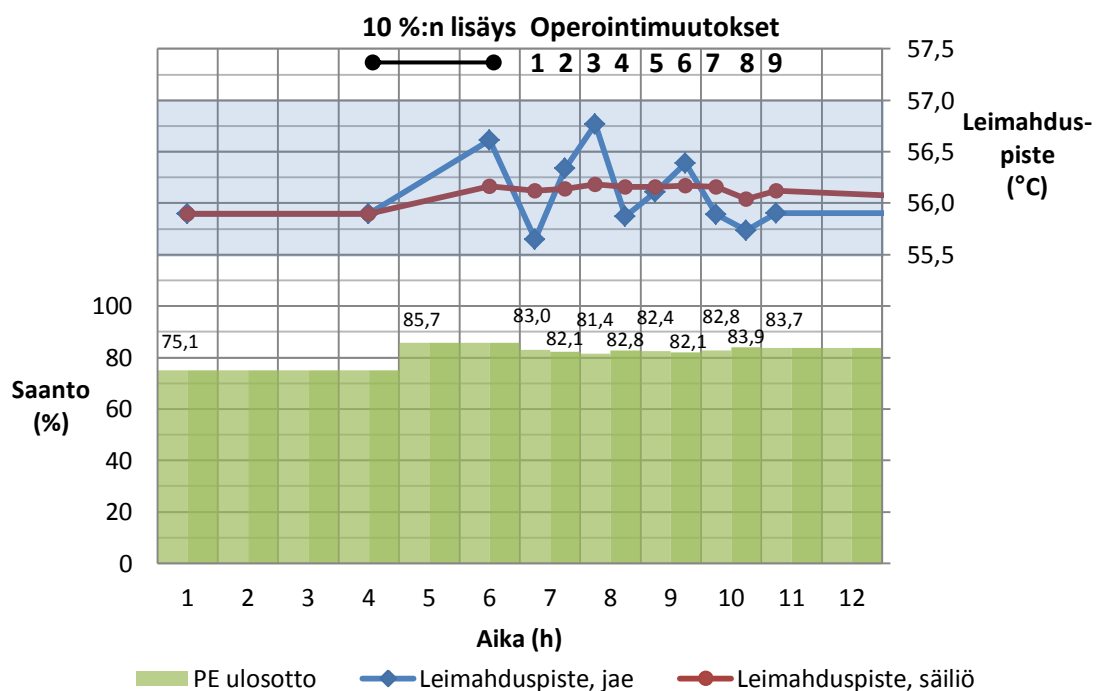
Taulukko 17. Petrolin laadun ja määrän tunnuslukuja sekä päätuotekolonniin lauhduttimen kyllästyslämpötila  $T_L$  ennen 10 prosentin syötön lisäystä, sen jälkeen ja operointimuutoksin korjattuna.

<b>TBP (m-%)</b>	<b>Alkuperäinen (°C)</b>	<b>10 %:n lisäys (°C)</b>	<b>Operointi (°C)</b>
0	125,8	124,2	125,5
5	147,6	147,2	147,0
10	154,8	154,8	153,5
30	169,7	170,8	168,7
50	182,0	183,8	180,9
70	194,5	197,0	193,4
90	210,0	213,4	209,1
95	217,4	219,8	216,8
100	228,5	232,2	228,2
<b>D86 0 til-%</b>	154,8	154,3	154,3
<b>D86 95 til-%</b>	209,8	212,9	209,2
<b>ṁ (kg/h)</b>	22 015	26 644	24 217
<b>Saanto (%)</b>	75,1	85,7	82,8
<b>Leimahduspiste (°C)</b>	55,9	56,6	55,9
<b><math>T_L</math> (°C)</b>	79,06	77,68	80,77

Petrolin ulosottomäärä nousee syötön määrän kasvaessa. Laadun palauttamisen vuoksi ja päätuotekolonniin DA-75002 yläosan tulvinnan välttämiseksi petrolin ulosottomäärää joudutaan pienentämään. Lähtötilanteeseen suhteutettu 10 prosentin nosto todetaan sopivaksi. Operointimuutosten vaikutusta petrolin määrään ja laatuun tarkastellaan kuvassa 59.

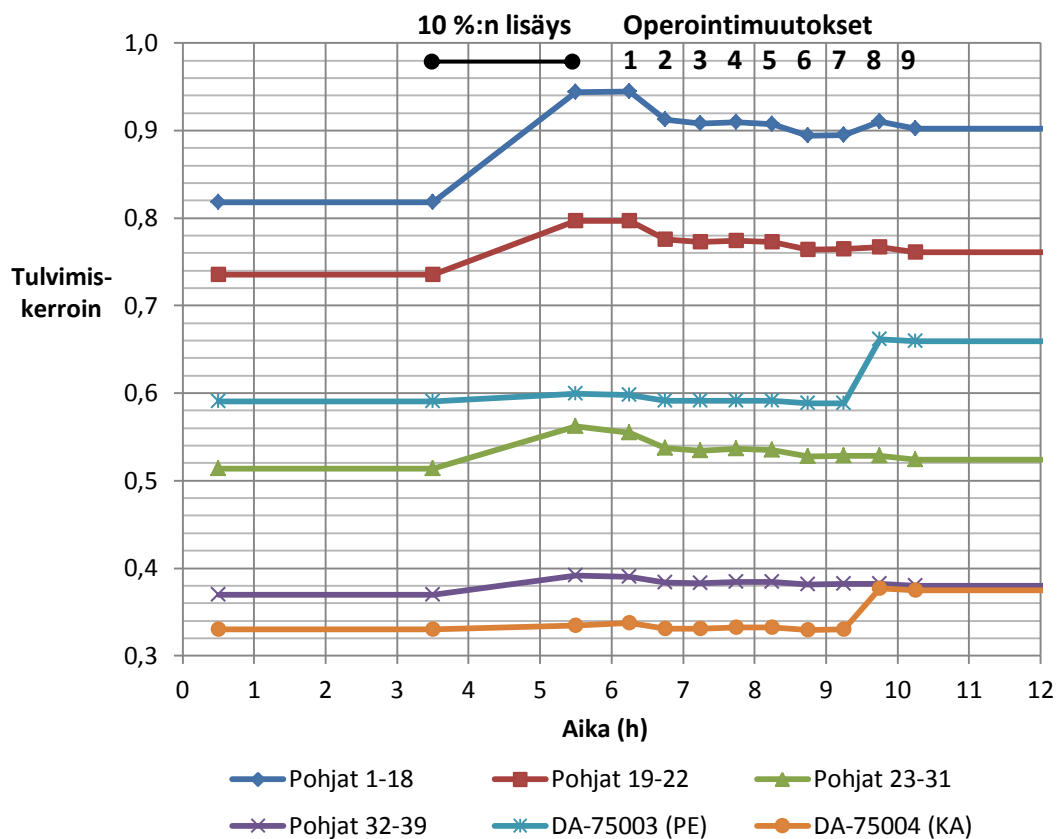
Simulointien halutun laadun saanto on syötön noston jälkeen aina alkuperäistä korkeampi. Kuten edellisessä kappaleessa 5.3 Syötön koostumuksen muutos simulointikokeella, tapahtuu muutos eli syöttömäärän nousu neljän tunnin jälkeen,

ja ensimmäinen operointimuutos tehdään siitä kahden tunnin päästä. Ensimmäisen neljän ja viimeisen 1,5 tunnin simuloinnit ovat keskenään samoja. Petrolin leimahduspisteen asteikko on varsin tarkka, joten leimahduspistemuutokset näyttävät suurilta. Leimahduspisteen laboratorioanalyysimenetelmän EN ISO 2791:2002 toistettavuus on noin 1,5 °C petrolille tyypillisillä leimahduspisteillä, kun näyte, näytteen käsittelijä ja laitteisto säilyvät toistokokeissa samana. Simulointikertojen leimahduspisteen vaihteluvälin pituus on 1,1 °C (55,7 °C – 56,8 °C), jolloin on mahdollista, ettei tapahtuneita muutoksia pystytä erottamaan toisistaan laboratorioanalyysissä. Todellisia näytteitä analysoitaessa on myös mahdollista, että analyysien mukaan leimahduspiste olisi muuttunut, vaikei näin todellisuudessa ole käynytäkään.



Kuva 59. Prosessihäiriön eli syötön lisäyksen vaikutus petroliulosoton saantoon ja leimahduspisteeseen. Vihreät palkit kuvaavat toteutunutta saantoa. Simulointiajankohdat näkyvät pisteinä leimahduspistekäyrillä. Leimahduspisteen laboratoriomittauksen tarkkuus on noin 1,5 °C.

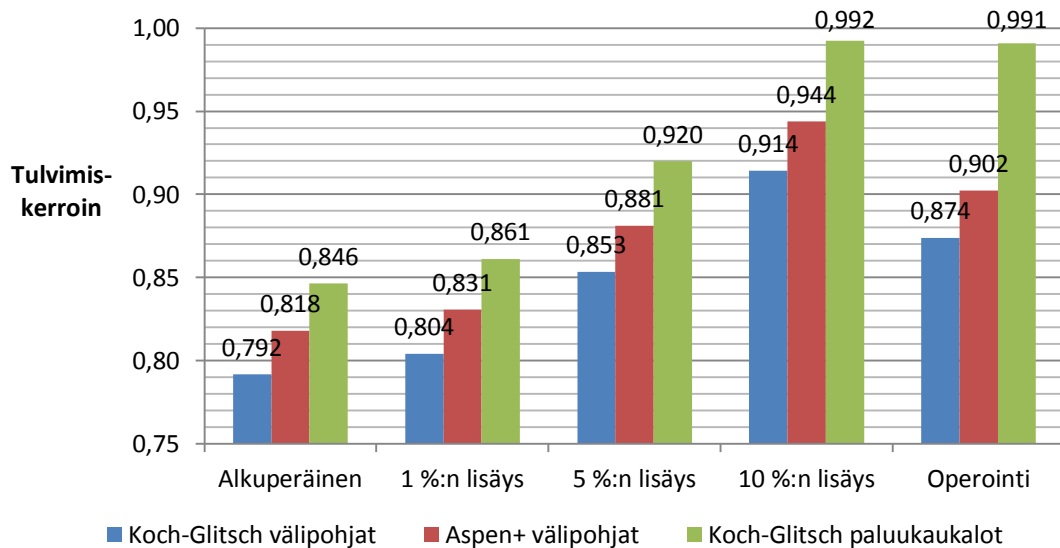
Tulvimiskertoimet ovat kuvassa 60. Syötön lisäyksen aiheuttama sisäisten virtausten lisääntyminen näkyy suurempana kuormituksena. Operointimuutosten 7–8 eli tuntien 9–10 välissä erottuva petroli- ja kaasuöljystrippereiden kertointen nousu johtuu strippereiden kiehutustehon nostosta, mikä kasvattaa kolonnien sisäisiä virtauksia. Samalla päätuotekolonniin DA-75002 pohjien 1–18 väliaikaisesti hieman laskenut tulvimiskerroin nousee jälleen yli 0,90:n.



Kuva 60. Tulvimiskertoimet ennen syötön lisäystä ja sen jälkeen. Pohjat 1–39 ovat päätuotekolonniin DA-75002 todellisia välipohjia.

Koska päätuotekolonniin DA-75002 yläosan tulvimiskerrointa ei muutoksen jälkeen saada laskettua 0,90:n alle, tarkastellaan tulvimista uusin työkaluin. Simulointiohjelma ei käsittele tulvimista yhtä ongelmallisena kuin mitä se todellisuudessa on, sillä ohjelma ehdottaa ratkaisuksi kolonniin dimensioiden

muokkausta. Käyttäjä kuitenkin itse vastaa dimensioiden muokkauksesta, sillä kolonnin *Tray Rating* -asetukset eivät sitä tee. Toinen asetusvaihtoehto, *Tray Sizing*, käyttää kolonnin dimensioita muuttujana. Tislauskolonnin dimensioita ei jo rakennetussa yksikössä ole järkevää muuttaa, vaan tilanne tulee korjata operointimuutoksin. Yksityiskohtaista tietoa päätuotekolonnin toiminnasta saadaan välipohjavalmistaja Koch-Glitschin välipohja- ja täytekalokolonniin mitoitushjelmalla (KG-TOWER Software v 5.2). Mitoitusohjelman mukaan välipohjien tulvimiskertoimet ovat todellisuudessa hieman simulointia alhaisempia. Aspen Plus -simuloinnin ja Koch-Glitsch -mitoitushjelman tulvimiskertoimet ovat kuvassa 61. Tulvimiskertoimien kehittymistä seurataan tarkastelemalla alkuperäisen, 10 prosentin syöttölisäyksen ja operointitoimenpiteiden ohessa yhden ja viiden prosentin syöttömäärän lisäyksiä. Koch-Glitschin mitoitushjelmasta saadaan myös paluukaukaloiden tulvimiskertoimet, jotka ovat välipohjien tulvimiskertoimia korkeammat.



Kuva 61. Välipohjien ja paluukaukaloiden tulvimiskertoimet Aspen Plus -simuloinnin ja Koch-Glitsch -mitoitushjelman mukaan. Yhden, viiden ja kymmenen prosentin syöttömäärän lisäyksillä seurataan tulvimiskertoimien kehittymistä.

Kymmenen prosentin syöttömäärän lisäys nostaa paluukaukalon tulvimiskertoimen 0,992:een. Operointimuutokset eivät mitoitushjelman mukaan tuota riittävää parannusta. Saadut mitoitustulokset esitetään tarkemmin liitteessä 4. Jotta simulointi ottaisi paremmin huomioon tislauksolonnin kapasiteetin, tavoitemittaristoon asetetaan käyttäjälle hälytysteksti tulvimiskertoimen ylittäessä arvon 0,85.

Operaattori näkee syötön määrän muutoksen kolonnien instrumentoinnin avulla, erityisesti virtaus- ja lämpötilamittauksista. Syötön määrän lisääntyminen muiden muuttujien säilyessä vakiona aiheuttaa lämpötilamuutoksia kolonnin sisällä. Esimerkiksi lauhduttimen toimiessa vakioteholla se ei lisäyksen tullessa pääse samaan tuotteen ulostulolämpötilaan, sillä lauhdutettavan ylimenon määrä on kasvanut.

Päätuotekolonnin DA-75002 yläosan tulviminen johtuu sen dimensioihin nähden liian suurista neste- ja höyryvirtauksista. Tulvimista voidaan siis estää vähentämällä yläosan virtauksia. Päätuotekolonnin yläosaan nousee kevyitä komponentteja, joita ei ole poistettu syöttövirrasta esistripperissä DA-75001. Esistripperin kevyen bensiinijakeen (BEK) ulosottomäärän nostaminen vähentää kevyiden komponenttien määrää päätuotekolonnissa. Tämän lisäksi tulee päätuotekolonnin kevyimmän tuotteen eli raskaan bensiinin (BER) määrää vähentää saman verran, jotta petrolin ja sitä raskaampien tuotteiden laatu säilyisi samana. Näin saadaan siirrettyä päätuotekolonnin huippua kuormittavia virtauksia sitä edeltävään kolonniin, jonka kapasiteetti soveltuu muutokseen. Päätuotekolonnin kiertopalautuksella voidaan säätää kolonnin yläosan virtausmääriä. Suurempi otettu teho kiertopalautuksesta kuristaa yläosaan kulkevaa höyryvirtausta. Kun tehoa kasvatetaan, jäähtyy kolonniin palaava nestevirtaus. Mitä viileämpää kiertopalautusneste on palatessaan kolonniin, sitä enemmän se lauhduttaa höyryä nestepisaroiksi. Nesteeksi lauhtuneella virtauksella ei enää ole edellytyksiä nousta kolonnissa, jolloin virtaus ylös heikkenee.



## 5.5 Tuotelaadun muutos simulointikokeella

Kolmannessa simulointikokeessa toimitaan samoin periaattein kuin kahdessa aiemmassa, mutta tässä kokeessa muutos ei koske syötön ominaisuuksia, vaan haluttua tuotelaatua. Muutettava laatuspesifikaatio on petrolin leimahduspiste, mikä on tyypillinen ajomuutos MHC-tislausosan toiminnassa. Leimahduspistettä lasketaan operointimuutoksin viidellä Celsius-asteella 55,9 °C:sta 50,9 °C:seen. Tavallisesti tämänsuuruisen muutoksen toteutumiseen menee noin kaksi tuntia. Operoinnin tavoitteena on muuttaa muita laatusuureita mahdollisimman vähän. Taulukossa 18 on tuotteiden aineominaisuuksia ennen ja jälkeen leimahduspisteen muutoksen. Kevyen bensiinin (BEK) ulosottomäärä on käyttäjän määriteltävissä, jolloin sen arvo voidaan asettaa halutuksi. Kaasuöljyn (KA) kiehumisaluejakauman TIS-0% ja TIS-95% -lämpötilat säilyvät lähes samoina kuin alkuperäisessä tilanteessa. Raskaan bensiinin (BER) TIS-95% -lämpötila laskee, mikä on seurausta raskaan bensiinin ja petrolin (PE) ulosottojen suhteen muutoksesta.

Leimahduspistettä voidaan laskea lisäämällä jakeeseen kevyitä komponentteja. Lisäys tehdään muuttamalla tuotteiden ulosottomääriä, sivustrippereiden kiehutustehoja sekä strippaushöyrymääriä. Petrolin kiehumisaluejakauman raskaat komponentit voidaan säilyttää ennallaan, sillä leimahduspiste riippuu vahvasti jakeen kevyiden komponenttien ominaisuuksista. Kevyitä komponentteja lisätään petrolijakeessa nostamalla petroliulosoton määrää samalla raskaan bensiinin ulosottoa vähentäen. Näin raskaan bensiinin korkeammissa lämpötiloissa kiehuvat komponentit siirtyvät petrolin kevyiksi komponenteiksi.

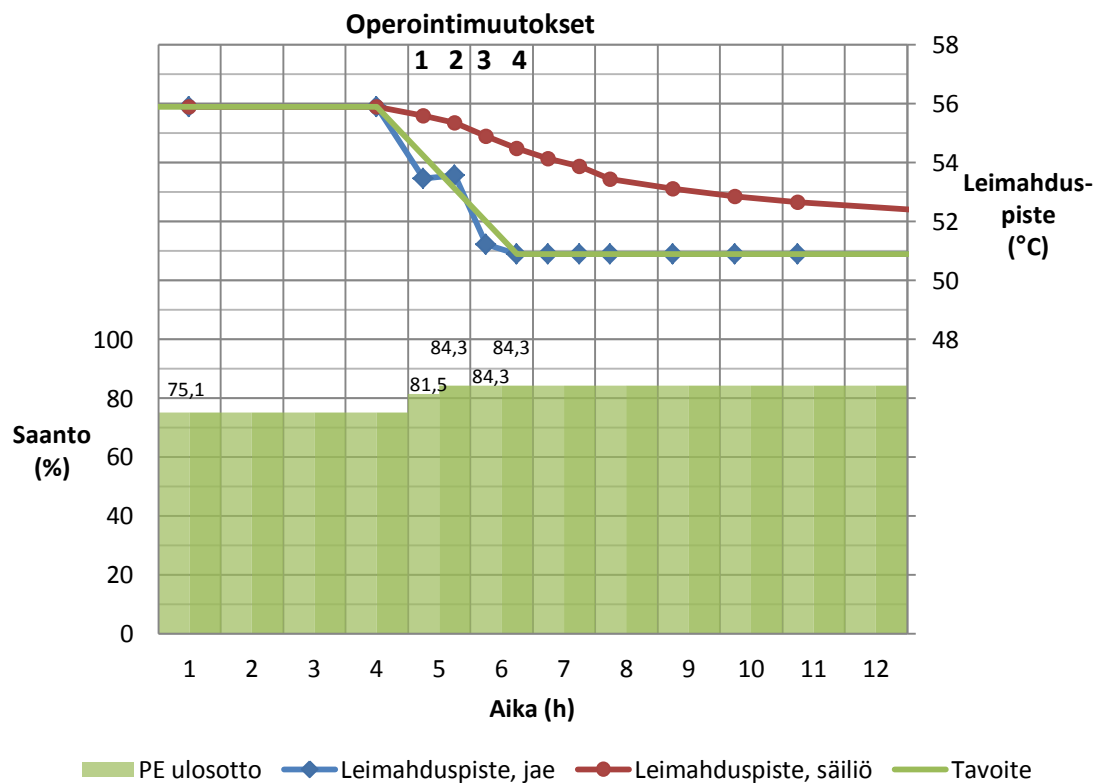
Sivustrippereiden kiehutustehojen muutokset vaikuttavat erityisesti petrolin ja kaasuöljyn kiehumisaluejakaumien kevyisiin päihin. Vähentämällä petrolistripperin DA-75003 kiehutusta estetään kevyitä komponentteja nousemasta takaisin päätuotekoloniin DA-75002. Puolestaan kasvattamalla kaasuöljystripperin DA-75004 kiehutustehoa nousee stripperistä enemmän kevyitä komponentteja takaisin päätuotekoloniin. Strippaushöyryä käytetään esistripperissä DA-75001 ja päätuotekolonissa DA-75002. Strippaushöyryvirtauksen kasvattaminen laskee

hiilivedyn osapainetta kaasufaasissa, jolloin nestefaasista höyrystyy enemmän hiilivetyjä (Viertorinne, 2012). Stripaushöyryllä siis parannetaan erotusta. Tehdyt operointimuutokset ja niiden vaikutukset näkyvät tarkemmin liitteessä 5.

Taulukko 18. Syötön ja tuotteiden aineominaisuuksia ennen leimahduspistemuutosta ja sen jälkeen. Ennallaan säilyneet laatuspesifikaatiot on merkitty vihreällä. Punaisella merkitty raskaan bensiinin (BER) TIS-95% -lämpötila laskee lähes kuusi Celsius-astetta.

	Alkuperäinen (°C)						
TBP (m-%)	Syöttö	Polttokaasu	BEK	BER	PE	KA	ÖP
0	-123,9	-261,0	-152,6	-5,5	125,8	123,2	281,6
5	61,3	-194,5	-52,6	43,0	147,6	201,2	338,4
10	112,4	-163,6	-43,3	54,9	154,8	218,9	359,9
30	247,7	-61,9	-3,9	82,9	169,7	258,5	414,1
50	333,0	-41,3	26,7	104,1	182,0	292,6	451,6
70	413,2	-14,7	46,2	123,5	194,5	325,6	488,2
90	499,9	25,8	66,2	144,0	210,0	361,2	524,4
95	520,7	43,0	76,2	151,7	217,4	376,8	539,9
100	549,8	61,3	94,9	166,1	228,5	398,2	555,9
<b>D86 0 til-%</b>	-46,1	-205,2	-95,4	39,3	154,8	170,0	306,7
<b>D86 95 til-%</b>	503,7	27,9	70,2	145,1	209,8	360,0	503,6
<b>SG</b>	0,823	0,449	0,589	0,737	0,782	0,854	0,882
<b>ṁ (kg/h)</b>	333 944	6 468	7 840	35 950	22 015	119 770	142 036
	Leimahduspistemuuotos (°C)						
TBP (m-%)	Syöttö	Polttokaasu	BEK	BER	PE	KA	ÖP
0	-123,9	-261,0	-152,6	-0,5	116,2	123,1	287,6
5	61,3	-193,8	-52,6	43,5	138,6	200,7	342,1
10	112,4	-163,3	-43,4	54,6	146,8	217,9	363,3
30	247,7	-61,4	-3,9	80,9	163,1	258,2	415,8
50	333,0	-41,1	24,5	102,0	176,4	292,8	452,8
70	413,2	-13,4	45,1	119,4	189,8	325,9	488,8
90	499,9	25,9	64,2	139,6	206,9	361,3	524,7
95	520,7	42,5	74,0	146,3	213,6	376,9	540,1
100	549,8	60,5	92,0	157,8	227,3	398,2	555,9
<b>D86 0 til-%</b>	-46,1	-205,1	-95,7	42,6	146,6	170,3	312,2
<b>D86 95 til-%</b>	503,7	28,0	68,1	139,3	207,1	360,1	503,6
<b>SG</b>	0,823	0,450	0,588	0,734	0,780	0,854	0,882
<b>ṁ (kg/h)</b>	333 944	6 521	7 840	32 500	24 465	122 500	140 251

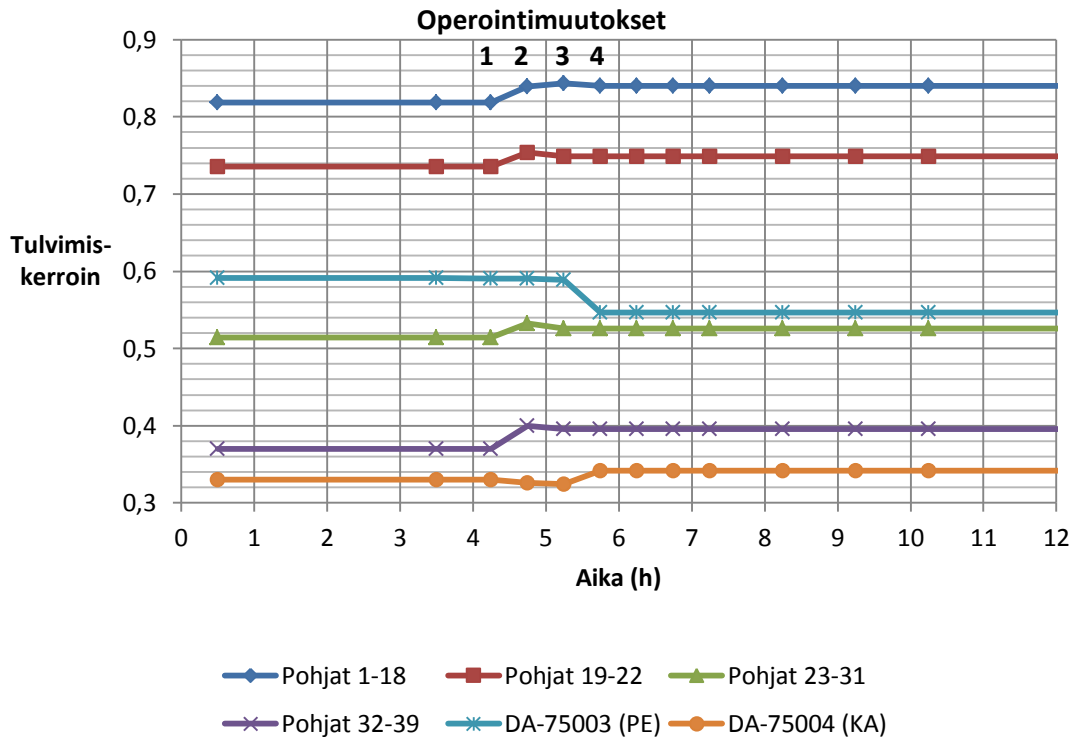
Operointimuutosten vaikutusta petrolin leimahduspisteeseen ja saantoon tarkastellaan kuvassa 62. Kuten kahdessa edeltävässä simulointikokeessa, ensimmäiset neljä tuntia prosessi käyttäytyy alkuperäisen tilanteen mukaisesti. Sen jälkeen leimahduspistetavoite lasketaan 55,9 °C:sta 50,9 °C:seen, jonka toteuttamiseen on aikaa kaksi tuntia. Tarvittavat muutokset tehdään neljän simulointikerran aikana, jotka kuvaavat puolen tunnin välein tehtäviä operointitoimenpiteitä.



Kuva 62. Petrolin leimahduspistetavoitteen muutoksen vaikutus petroliulosoton saantoon ja leimahduspisteeseen. Leimahduspisteen laskun tavoiteaika on kaksi tuntia. Vihreät palkit kuvaavat toteutunutta saantoa. Simulointiajankohdat näkyvät pisteinä leimahduspistekäyrillä.

Tulvimiskertoimet ovat kuvassa 63. Toisena operointitoimenpiteenä toteutettu esistripperin DA-75001 ja päätuotekolonnin DA-75002 strippaushöyryvirtausten

lisääminen kasvattaa hieman päätuotekolonnin tulvimiskertoimia. Neljäs operointimuutos, petroli- ja kaasuöljystrippereiden DA-75003 ja DA-75004 kiehutustehojen muutos, näkyy petrolistripperissä vähentyneenä ja kaasuöljystripperissä lisääntyneenä virtauksena.



Kuva 63. Petrolin leimahduspisteen laskemisen vaikutus tulvimiskertoimiin. Pohjat 1–39 ovat päätuotekolonnin DA-75002 todellisia välipohjia.

## 5.6 Tavoitemittaristo

Simulointimallille on tehty operaattorien käyttöön tarkoitettu käyttöliittymä, joka toimii MS Excelissä. Exceliin on upotettu Aspen Simulation Workbook (ASW) -lisäosa, johon MHC-tislausosan simulointi linkittyy. Tämä mahdollistaa sen, ettei käyttäjän ole tarpeellista perehtyä Aspen Plus -ohjelman käyttöön. Excelin käynnistyttyä tulee simulointimalli aktivoida käyttöliittymän painikkeen avulla ennen kuin ensimmäinen simulointi voidaan suorittaa.

Tavoitemittariston testaus rajataan käsittämään kolmea erilaista muutostilannetta. Tilanteita ovat muutos syöttölaadussa, muutos syötön määrässä sekä tuotelaatumuutos. Kukin koe simulointimallille on toistettavissa, mutta Excel-käyttöliittymän avulla ei suoraan voi toistaa syötön laatumuutosta. Laatumuutos tehdään pseudokomponentteja muuttamalla, eikä niihin perehtymisen katsota olevan olennaista operaattorin työn kannalta. Jotta käyttäjällä on kuitenkin mahdollisuus muuttaa syötön laatua, selostetaan Excelissä tarvittavat toimenpiteet.

Käyttöliittymä koostuu kahdesta välilehdestä. Ensimmäinen välilehti on valvomonäytön kaltainen. Siinä on yksinkertaistettu virtauskaavio MHC-tislausosasta, jossa näkyvät tärkeimmät muuttujat. Tällä välilehdellä ohjausmuuttujiin syötetään halutut arvot ja käynnistetään simulointiajo. GUI:ksi nimetty välilehden kuvakaappaus on kuvassa 64.

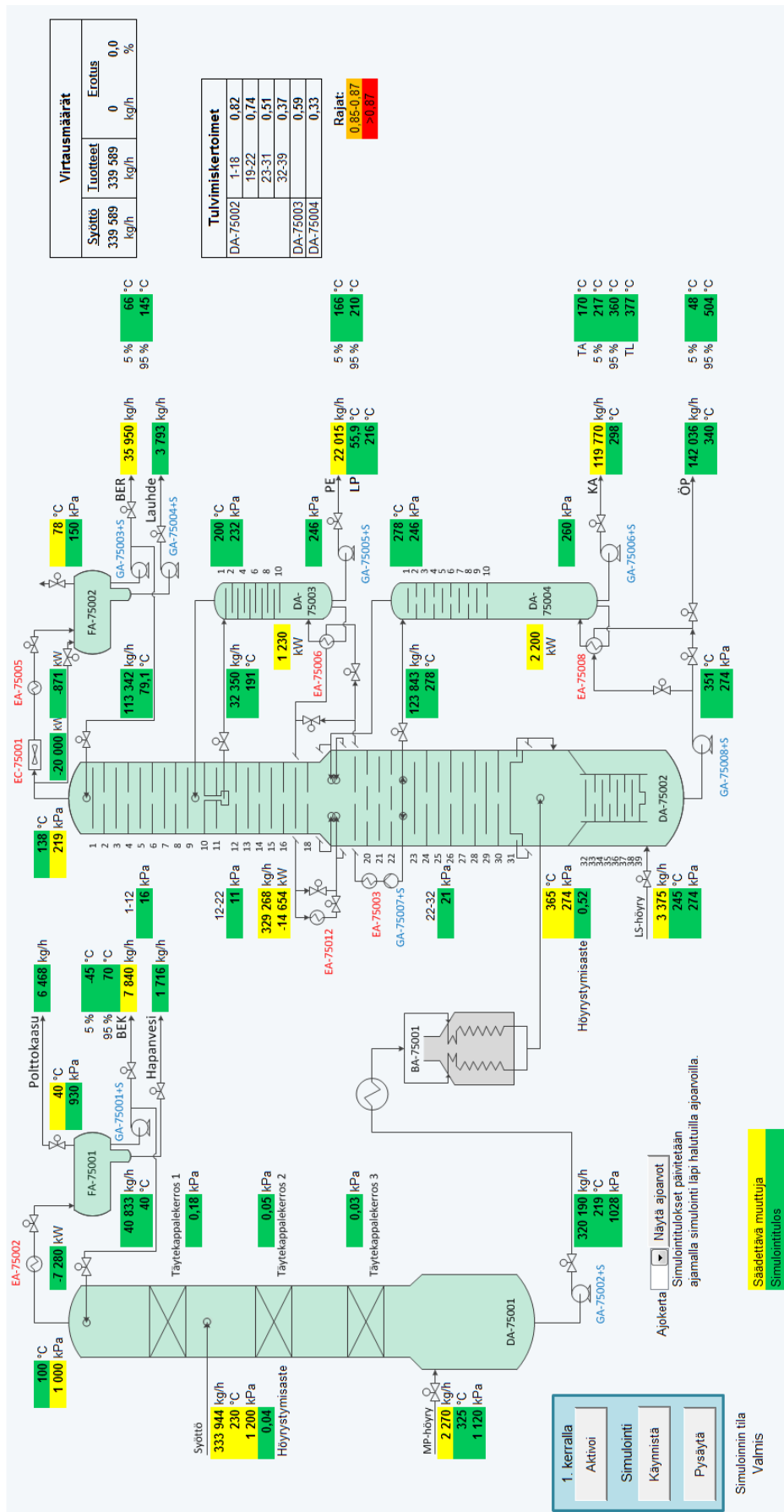
Toisella välilehdellä käsitellään simulointituloksia. Välilehden nimi on GUITables ja se on esitetty kuvassa 65. Yhdessä sarakkeessa näkyvät aina yhden ajokerran muuttujien lukuarvot. Viimeisimmän simuloinnin tulokset ovat Ajoarvot-sarakkeessa ja tavoitearvot Tavoite-sarakkeessa. Ajotulokset voidaan kopioida taulukkoon, johon on mahdollista tallentaa korkeintaan kymmenen simulointia. Uudeksi tavoitteeksi voidaan valita joko viimeisin ajo tai mikä tahansa taulukkoon tallennetuista. Uusiksi ajoarvoiksi voidaan valita luonnollisesti viimeisimmät ajoarvot, tai vaihtoehtoisesti jokin taulukon aiemmista ajokerroista. Aiemmat ajoarvot voi valita uusiksi ajoarvoiksi GUITables-välilehden lisäksi GUI-välilehdellä. Ajoarvoja voi syöttää kummankin välilehden kautta.

Tavoitemittariston testauksen perusteella käyttöliittymään on lisätty kaksi varoitusmerkintää, jotka näkyvät kummassakin välilehdessä. Merkinnät kertovat, ettei prosessi enää toimi halutulla tavalla. Ensimmäinen on päätuotekolonnin DA-75002 lauhduttimen ja huipunpalautuksen lämpötilaero. Tavoitemittaristo varoittaa punaisella tekstillä, jos huipunpalautuksen lämpötila on simuloinnin mukaan lauhduttimen lämpötilaa alhaisempi. Toinen varoitus koskee tulvimiskertoimia.

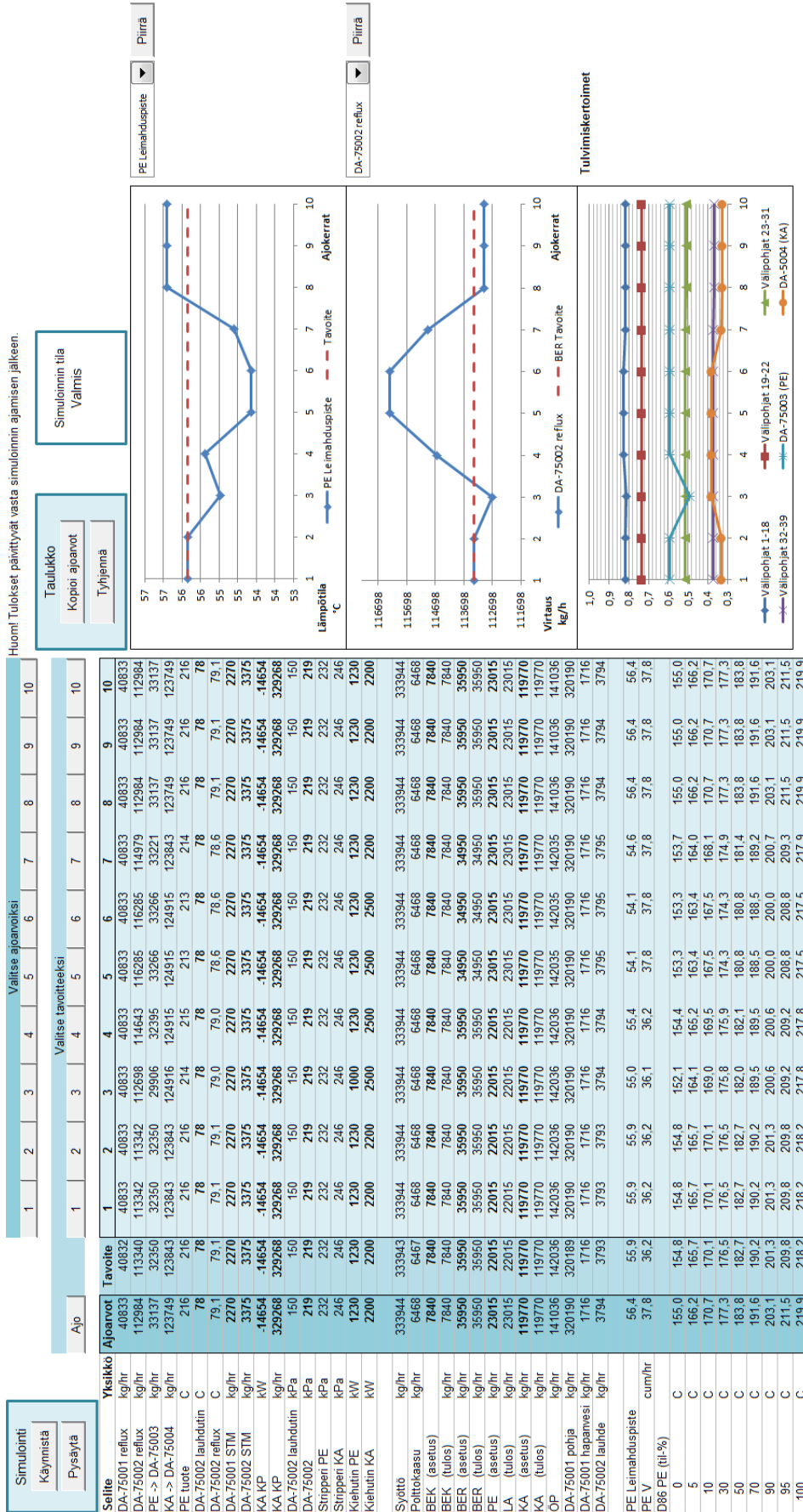
Tulvimiskertoimen taustaväri muuttuu oranssiksi sen ollessa 0,85–0,87, ja punaiseksi arvon ylittäessä 0,87:n.

Virtausmuuttujiin syötettävien arvojen järkevyyden on huomioitu ensimmäisellä välilehdellä (GUI) siten, että pumppujen GA-75001+S – GA-75007+S kapasiteetti määrää kyseisten virtausten ylärajan. Pumppujen kapasiteetti on kuitenkin alkuperäisiä virtausmääriä huomattavasti suurempi, joten virtauksia tulisi nostaa paljon, jotta rajoitteet vaikuttaisivat käyttäjän toimintaan. Virtausten alarajaksi on määritetty noin puolet alkuperäisestä virtausmäärän asetuksesta. Tällä estetään hyvin pienten virtausten asettaminen.

Välilehden oikealla reunalla on kolme kuvaajaa. Kahteen ylimpään kuvaajaan käyttäjä voi valita haluamiaan muuttujia, kuten tuotevirtauksia, kolonnien olosuhteita (lämpötila, paine) sekä laatumittauksia, kuten tislaukkyrien pisteitä ja petrolin leimahduspiste. Kuvaajissa näkyy vertailua helpottamaan ajoarvojen lisäksi Tavoite-sarakkeen arvo katkoviivalla. Alimmassa kuvaajassa on näkymä tulvimiskertoimien kehitymisestä päätuotekolonnista DA-75002 ja sivustrippereistä DA-75003 – DA-75004.



Kuva 64. Tavoitemittariston käyttöliittymä. Ensimmäisen väलिएhden (GUI) näkymä.



Kuva 65. Tavoitemittariston käyttöliittymä. Toisen välilehden (GUITables) päänäkömä ja ylimmät rivit. Tulokset jatkuvat 676. riville asti.



## 6 Johtopäätökset

Tavoitemittaristo on tarkoitettu tukemaan normaalia operointia antamalla operaattorille lisätietoa kolonnin sisäisestä toiminnasta ja tuntumaa ohjausmuuttujien vaikutuksesta tislaukseen. Tavoitemittariston avulla eli simuloiteja ajamalla operaattori voi tunnistaa muutosten aiheuttamia vaikutuksia. Syöttölaadussa tai määrässä tapahtunut muutos voidaan huomata tislaukolonnin lämpötila- ja painemuutoksista. Simuloitua lämpötilaa ja painetta voidaan verrata prosessin lukemiin, ja jos lämpötila tai paine on eriävä, voidaan päätellä muutoksen tapahtuneen. Muuttuneessa tilanteessa vanha ajotavoite ei enää päde, ja tarvitaan uusi tavoite. Tavoitemittaristolla uusi tavoite voidaan selvittää jo ennen laboratorioanalyysin tuloksia. Uusi ajotavoite ei kokonaan poista tarvetta laboratorioanalyysiin, mutta perusteltujen operointimuutosten teko voidaan aloittaa nopeammin.

Simulaattorin tarkoitus on jäljitellä todellisen tislauksprosessin toimintaa mahdollisimman tarkasti. Onnistunut simulointiajo vastaa toimivaa tislauksa. Simulaattorin tulee kertoa käyttäjälle, jos todellisen prosessin rajoitteet tulevat vastaan. Simuloinnin lähtötietoihin asetetaan rajoituksia, joilla estetään mielivaltaisten arvojen syöttö simulointiin. Sellaiset simulointitulokset, jotka vaarantaisivat todellisen tislauksen toiminnan, tulee ilmoittaa simulaattorin käyttäjälle selkeästi. Näin rajoitteet voidaan huomioida sekä säädettävien muuttujien että simulointitulosten osalta.

Paras ajotapa on ajo-opasteen mukainen ja mahdollisimman tasainen, jolloin kaikki tuotelaadut ovat rajojen sisäpuolella ja petrolin ja kaasuöljyn ulosottovirtaukset voidaan maksimoida. Jos tapahtuneiden muutosten havaitseminen ja niihin reagoiminen on hidasta, voi spesifikaatioihin sopimattoman jakeen määrä kasvaa suureksi. Tällöin säiliön laadun palauttamiseen kuluu runsaasti aikaa, mikä on pois siitä ajasta, jolloin prosessia voitaisiin ajaa normaalilla ajotavalla. Luonnollisesti on

siis edullisinta reagoida muutokseen mahdollisimman lyhyellä vasteajalla. Nopeampi vaste muutokseen voidaan saada instrumentointia lisäämällä. Instrumentointi tuo saataville lisää informaatiota kolonnin sisäisestä toiminnasta, jolloin olettamien määrä vähenee. MHC-tislausosan kaikissa syöttölinjoissa ei ole virtausmittausta, joten syötön tarkka määrä ei ole tiedossa. Jos instrumentointia lisättäisiin siten, että virtausmittaukset kattaisivat syöttölinjat, tislausosan syöttömäärän muuttumista olisi yksinkertaista seurata.

MHC-tislausosan syötön laatua ei tällä hetkellä analysoida, vaikka kyseisissä virroissa on näytteenottoaikoja. MHC-tislausosaa edeltävät mittauspisteet, joissa on säännöllistä näytteenottoa ovat MHC-reaktoriosan 1. vaiheen reaktorin DC-71004 tuote ja 2. vaiheen reaktorin DC-71005 syöttö. Näin ollen syöttölaadun muutokseen ei ole selkeää määritelmää, eikä operaattorilla ole yksinkertaista tapaa tarkkailla syötön laatua. Tarkempaa tietoa syötön laadun vaihtelusta saataisiin analysoimalla MHC-tislausosan syöttövirtaa tai MHC-reaktoriosan analyysifrekvenssiä tihentämällä.

Kevyet komponentit vaikuttavat vahvasti jakeen leimahduspisteeseen. Leimahduspisteen määrittäminen simuloinnissa on vaikeaa, sillä se ei ole suoraan mitattava ominaisuus. Simulaattori ei kykene laskemaan leimahduspistettä, joten tässä työssä leimahduspiste lasketaan samoista mittaustiedoista MHC-tislausosan monimuuttujasäätimen MDAC kanssa. Koska leimahduspisteen arvo on täysin riippuvainen mittaustiedoista, voi saatu tulos erota todellisen leimahduspisteen arvosta.

Täydellisen tislauksen saanto määritettiin petrolituotteelle pseudokomponenttien avulla. Täydellisen tislauksen erotus on äärettömän terävä, eikä todellisessa prosessissa ole mahdollista päästä täydelliseen erotukseen. Leimahduspistettä ei voida määrittää täydellisen tislauksen pohjalta, koska tislauksikäyrän alkupään vaikutuksesta leimahduspiste on aina täydellisen tislauksen arvoa alhaisempi. Täydellistä saantoa ja leimahduspistettä ei voida hyödyntää yhteisenä tavoitteena.

Kullekin tuotteelle annetaan ajo-opasteessa laatutavoite. Tuotekohtaiset spesifikaatiot voivat olla ristiriidassa keskenään, sillä petrolin leimahduspiste on hyvin riippuvainen jakeen kevyen pään komponenttien läsnäolosta. Jos raskaan bensiinin TISGC-95% -määrittely rajoittaa petrolin halutun leimahduspisteen saavuttamista, tingitään bensiinijakeen ominaisuuksista, sillä petroli on arvokkain väliaine. Tislauksen tavoitteenasettelussa on siis keskityttävä laitteiston mahdollistaman erotuskyvyn terävyyteen.

MHC-tislausosan normaalitoiminnassa tietokonesäätö tekee tarvittavat säädöt ohjausmuuttujiin. Operaattori voi halutessaan kytkeä tietokonesäädön pois päältä, jolloin säädöt tehdään manuaalisesti. Tietokonesäätö voi pudota pois päältä operaattorin huomaamatta, jolloin operaattori ei ole vaikuttanut ohjausmuuttujien viimeisimpiin arvoihin. Lisäksi operointimuutosten tekeminen on hidasta, sillä tehdyt muutokset eivät välittömästi näy tislauskolonnin toiminnassa. Informaation siirto vuorojen välillä on tärkeää, jotta vuorossa olijat tietävät aiemmin tehdyt muutokset ja niiden vaikutukset. Jotta ohjausmuuttujien arvojen tiedetään olevan perusteltuja, olisi tietokonesäädön pois päältä ottamisesta hyvä jäädä lokimerkintä. Lokin tietoja olisivat aikaleima, ohjausmuuttujien tilatieto sekä muutoksen tekijän yksilöiminen.

Tässä työssä ei huomioitu tietokonesäädön vaikutusta operointiin, jotta pystyttiin rajaamaan tarkastelu operaattorin tekemiin operointipäätöksiin. MHC-tislausosan tietokonesäätö on kuitenkin toimiva ja yleensä päällä. Koska luotu tavoitemittaristo on tarkoitettu yksikköön, jossa ei ole tietokonesäätöä, sitä ei siis täysimääräisesti voida hyödyntää MHC-tislausosassa. Työn lähestymistapaa voidaan kuitenkin jatkossa soveltaa muihin yksiköihin, ja erityisesti sellaisiin, joissa tietokonesäätöä ei ole saatavilla.

## 7 Yhteenveto

Työn soveltavan osan tavoitteena oli kehittää steady state -simulointimalliin pohjautuva yksinkertaisella käyttöliittymällä varustettu tavoitemittaristo Pohjaöljyn käsittely -yksikön MHC-tislausosan operatiiviseen seurantaan. Mittariston toimintaa testattiin kolmella tyypillisellä muutostilanteella: muutoksella syöttölaadussa, syötön määrässä sekä tuotelaadussa. Kirjallisuusosan tavoitteena oli tarkastella operoinnin kannattavuuden parantamista energiankulutuksen vähentämisen kautta.

Tislauskolonnin termodynaamisen analyysin todettiin soveltuvan lämmönsiirtojärjestelmän lämpökuorman vähimmäismäärien tunnistamiseen jo ennen yksikön suunnitteluvaihetta. Menetelmästä esiteltiin kolonni profiilien laskeminen sekä niiden hyödyntäminen kolonnin energiantarpeen havainnollistamisessa välipohjien tarkkuudella. Profiilityypeistä, joita ovat kolonnin yhdistelmäkäyrä sekä höyry- ja nestevirtakäyrä, käytiin läpi kummankin hyödyt ja ominaisuudet sekä niiden suhde toisiinsa.

Soveltavassa osassa käytiin ensin läpi Pohjaöljyn käsittely -yksikön toimintaa yleisellä tasolla, josta syvennyttiin MHC-tislausosaan. MHC-tislausosasta käsiteltiin prosessin kulku, suunnittelu- ja tuotantomäärät, laatuvaatimukset ja -mittaukset, muuttujat ja rajoitteet sekä suoritettiin lyhyt katetarkastelu.

Simuloitavan prosessin eli MHC-tislausosan ominaispiirteiden tarkastelun jälkeen verrattiin simulointimallia todelliseen prosessiin. Mallin käyttäytymistä testattiin kolmella simulointikokeella, jotka edustivat tyypillisiä muutoksia MHC-tislausosassa. Muutosten jälkeen mallin toimintaa testattiin pyrkimällä palauttamaan kolonnin tuotelaadut, erityisesti petroli, ennalleen. Petrolin laatua manipuloitaessa pyrittiin palauttamaan muiden tuotteiden laatu alkuperäistä vastaavaksi.

Simulointimalliin luotiin Excel-pohjainen käyttöliittymä, jonka avulla operaattori voi ajaa simulointeja. Käyttöliittymän ansiosta käyttäjän ei tarvitse perehtyä Aspen Plus

-ohjelmaan. Käyttöliittymä näyttää säädettävät muuttujat ja simulointitulokset valvomonäytön kaltaisesti. Simulointituloksia voi tallentaa myöhempää tarkastelua varten, ja näin voidaan seurata simuloinnissa tehtyjen muutosten vaikutusta. Työn lähestymistapaa simulointimallista tavoitemittaristoksi voidaan jatkossa soveltaa myös muihin Porvoon jalostamon yksiköihin.

## Lähteet

Aspen Technology, (2013). DB-ASPENPCD, Aspen Physical Property System pure component databank.

Bandyopadhyay, S., Malik, R. K. ja Shenoy, U. V., (1998). Temperature-enthalpy curve for energy targeting of distillation columns, *Comput. Chem. Eng.* **22** 1733-1744.

Demirel, Y., (2004). Thermodynamic Analysis of Separation Systems, *Separ. Sci. Technol.* **39** 3897-3942.

Demirel, Y., (2006). Retrofit of Distillation Columns Using Thermodynamic Analysis, *Separ. Sci. Technol.* **41** 791-817.

Dhole, V. R., Linnhoff, B., (1992). Distillation targets Part 2, *Process Eng.* **73** 37-38.

Dhole, V. R., Linnhoff, B., (1993). Distillation column targets, *Comput. Chem. Eng.* **17** 549-560.

Eerikäinen, K., (2007). TOP Käyttöopas, ABB Industry Oy.

Fahim, M. A., Alsahhaf, T. A. ja Elkilani, A., (2010). Thermophysical Properties of Petroleum Fractions and Crude Oils, Teoksessa *Fundamentals of Petroleum Refining*, Elsevier, Oxford, ss. 40-41.

Gustafsson, J., (2014). OQD-6926: MHC Säätojen toimintakuvaus, Porvoo: Neste Oil.

Hokka, M., (2009). ATM & VAC teoriavalmennus, Porvoo: Neste Oil.

Hokka, M., (2014). Käyttöinsinööri, Haastattelu 25.11.2014.

Jawa, 2014. Logistiikanhallintajärjestelmän siirtoyhteenveto 13.3.-15.5.2014.

Kemp, I. C., (2007). *Pinch Analysis and Process Integration - A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy*, 2. painos, Elsevier, Oxford, 391 s.

Kotas, T. J., (1995). *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*, Krieger Publishing Company, Malabar, 328 s.

Kulin, M., (2014a). Käyttöinsinööri, Haastattelu 22.9.2014.

Kulin, M., (2014b). Käyttöinsinööri, Haastattelu 30.12.2014.

Laakso, M., (1991) *Lämmitys- ja jäähdytystehtävien yhdistely Naantalın jalostamon raakaöljyn tislausyksiköissä sekä tyhjiötislausyksikössä*, Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 97 s.

Linnhoff March, (1998). Introduction to Pinch Technology. <http://www.ou.edu/class/che-design/a-design/Introduction%20to%20Pinch%20Technology-LinnhoffMarch.pdf>. Viitattu 19.9.2014.

Linnhoff, B., (1993). Pinch Analysis - a State-of-the-Art Overview. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, ss. 503-522.

Lämsä, J., (2013). OQD-10266: MHC:n tislausosan monimuuttujasäädin MDAC, Porvoo: Neste Oil.

Mecklin, M., Malila, K., Tuomikoski P., Rousu J., Tamminen E., Pakarinen M. ja Harju J., (2013). Tislauksen perusteet, Porvoo: Neste Oil.

More, R. K., Bulasara, V. K., Uppaluri, R. ja Banjara, V. R., (2010). Optimization of crude distillation system using aspen plus: Effect of binary feed selection on grass-root design, *Chem. Eng. Res. Des.* **88** 121-134.

Myllyniemi, J., (2013). TL4 näytteenottoaikat, Porvoo: Neste Oil

Neste Oil, (2009). Pohjaöljyn käsittely-yksikön käyttökäsikirja, Porvoo.

Neste Oil, (2014a). Porvoon jalostamo. <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,62,12271,12280>. Viitattu 10.9.2014.

Neste Oil, (2014b). Way Forward: Käyttöhyödykkeiden uusi seurantajärjestelmä - tuotanto ja talous kiittävät.

- Oksanen, O., (1990). *Pinch-tekniikan soveltaminen tislauksyksikköön*, Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 70 s.
- Pettinen, K., (2014). Kaasukromatografinen simuloitu tislauksen bensiineistä ja keskitisleistä, Porvoo: Neste Oil.
- Polley, G., (1993). Heat exchangers for the future, *Chem. Eng. London*, ss. 14-16.
- Pyhälähti, A., (2014). Senior Associate, Sähköpostiviesti 28.10.2014.
- Ranta-Korpi, J., (2014). Käyttöinsinööri, Haastattelu 25.11.2014.
- Salmio, H., (2012). *Höyryjärjestelmämallin hyödyntäminen*, Diplomityö, Aalto-yliopisto, Espoo, 69 s.
- Salmio, H., (2014). Maakaasun koostumus, Porvoo.
- Selin, P., (2014). OQD-2487: Tislauksen öljytuotteista, Porvoo: Neste Oil.
- Shyamsundar, V., Rangaiah, G. P., (2000). A method for simulation and optimization of multiphase distillation, *Comput. Chem. Eng.* **24** 23-37.
- Smith, R., (2005). *Chemical Process Design and Integration*, John Wiley & Sons, Chichester, ss. 372-373.
- Soares Pinto, F., Zemp, R., Jobson, M. ja Smith, R., (2011). Thermodynamic optimisation of distillation columns. *Chem. Eng. Sci.* **66** 2920-2934.
- Strengell, P., (2014). Tuotannonsuunnittelija, Haastattelu, 31.10.2014.
- Söderlund, A., (2014). OQD-2428: Kaasukromatografinen kiehumisaluejakauma, Porvoo: Neste Oil.
- Tarighaleslami, A. H., Omidkhan, M. R. ja Sinaki, S. Y., (2011). An Exergy Analysis on a Crude Oil Atmospheric Distillation Column. *Chem. Eng. Trans.* **25** 117-122.
- Torkkel, T., (2014). Kunnossapitoinsinööri, Haastattelu 1.12.2014.
- TOP-järjestelmä, (2014). Uunien savukaasujen happitaso, ABB Oy.



Viertorinne, J., (2014a). Automaatioinsinööri, Haastattelu 23.9.2014.

Viertorinne, J., (2014b). Automaatioinsinööri, Haastattelu 31.10.2014.

Virokannas, T., (2014). Operatiivinen suunnittelija, Haastattelu 16.10.2014.

Virolainen, T., (2015). Tuotantomestari, Haastattelu 26.2.2015.

Vuori, H., (2012). VY2 teoriakoulutus, Porvoo: Neste Oil.

Zemp, R. J., de Faria, S. H. B. ja de L. Oliveira Maia, M., (1997). Driving force distribution and exergy loss in the thermodynamic analysis of distillation columns. *Comput. Chem. Eng.* **21** S523-S528.

## Liitteet

### Liite 1. Tuotantolinja 4:n ajo-opaste

Hetki	Alue	Kohde	Käyttäjä	KäytRooli	Tyyppi	Muutettu
23.01.14	15:52	TL4	malilkar	TUOTANNON	OHJAUS	Ajo-opaste
VY2	Syöttötaso	LCF + MHC + JAL	H2-tarpeen mukaan	Säätö	BERP3:een.	TL3 PK tiheys min 2.6 kg/m3
LCF	Syötöt:	240 t/h, TT2 + BIY + T51	Kokonaissyöttö	FI71233	247 t/h	
ATM:	BEATM	-->MHC	KAKATM	-->MHC	KAATM	-->MHC
	ÖPATMZ	-->VAC				
VAC:	KAKTKLCF	--> MHC	KAKTRLCF	--> MHC, TIS-GC90	495 - 500°C	
	KARTLCFZ	-->T39	ÖYTLCF	-->ATM		
	ÖLTLCFZ	-->T23	PORL-LCF			
	ÖPTLCFZ	-->T23	PORL-LCF			
MHC:	Syöttö	U12 KARH 40 t/h + U7 KART 60 t/h	DC-71004	165 t/h, DC-71005	120 t/h	
MHCBEK	-->	KTY DA515				
MHCBER	-->	BERP3 DA10204, häiriössä ->R4	TISGC-95%	max 190°C,	typpi max 1,0 mg/kg, rikki-H2S tavoite	max 1,0 (kova raja max 2,0 mg/kg)
MHCPE	-->	T14, DICT-komponentti, maksimoidaan,	LP 55°C,	sähkönjoht. 50..100 pS/m		
MHCKA	-->	U18 DICK-komponentti	rikki max 10 mg/kg, TIS-95%	359...361°C		
MHCÖP	-->	DC-71005/FCC, GCT5% >300°C,	DC-71005, S max 5 mg/kg, N2 max 5	mg/kg		

## Liite 2. Simuloinnin ajotuloste, muutos syöttölaadussa

				Tietokonesäädöt:									
				Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Selite	Name	Units	Status	Alkuperäinen 1-4 h	Laatumuutos 5-6 h	Alkuperäinen 1-4 h	Operointi 0	1	2	3	4	5	
Huipunpalautus	DA5001.MASS_L1	kg/hr	Calculated	40833	27237	40833	27237	27237	27237	27237	27237	27237	
Huipunpalautus	DA5002.MASS_L1	kg/hr	Calculated	113323	100075	113323	100075	96483	92940	91469	90295	89381	
PE > DA-75003	DA5002.DA5003.B_MASSFLOW2	kg/hr		32335	26649	32335	26650	32473	32370	32325	32277	32238	
KA > DA-75004	DA5002.DA5004.B_MASSFLOW2	kg/hr		123833	130729	123833	130729	125189	124960	124866	124805	124757	
PE tuote	522.STR_MAIN	C	Calculated	216	206	216	206	212	215	216	217	219	
DA-75002 lauhd	DA5002.SC_TEMP	C	Specified	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
DA-75002 reflux	DA5002.HYD_TL2	C	Calculated	79,06	77,38	79,06	77,38	77,37	79,08	79,81	80,23	80,55	
DA-75001 STM	501.TOTFLOW	kg/hr	Specified	2270	2270	2270	2270	2270	2270	2270	2270	2270	
DA-75002 STM	531.TOTFLOW	kg/hr	Specified	3375	3375	3375	3375	3375	3375	3375	3375	3375	
Kiertopalautus	P-1.PA_DUTY	kW		-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	
Kiertopalautus	P-1.BASIS_PAFLW	kg/hr		329268	329268	329268	329268	329268	329268	329268	329268	329268	
Lauhdutin	DA5002.PRES1	kPa	Specified	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
Kolonni	DA5002.PRES2	kPa	Specified	219	219	219	219	219	230	235	235	235	
Stripperi	DA5003.ST_PRES1	kPa		232	232	232	232	232	232	232	232	232	
Stripperi	DA5004.ST_PRES1	kPa		246	246	246	246	246	246	246	246	246	
Kiehuutin	DA5003.ST_Q_REB	kW		1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	
Kiehuutin	DA5004.ST_Q_REB	kW		2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	
Polttokaasu	7503.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	6468	6393	6468	6393	6393	6393	6393	6393	6393	
BEK	DA5001.2.VALUE												
	7507.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	7840	7840	7840	7840	7840	7840	7840	7840	7840	
BER	DA5002.BASIS_D	kg/hr	Specified	35949	35949	35950	24373	24373	24373	24373	25000	25500	
	7518.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	35950	24373	35950	24373	24373	24373	24373	25000	25500	
PE	DA5003.BASIS_ST_B	kg/hr		25712	25712	22015	14668	22015	22015	22015	22015	22015	
	522.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	22015	14667	22015	14668	22015	22015	22015	22015	22015	
KA	DA5004.BASIS_ST_B	kg/hr		112053	112053	119770	126098	121000	121000	121000	121000	121000	
	3528.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	119771	126098	119770	126098	121000	121000	121000	121000	121000	
ÖP	530.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	142036	154696	142036	154695	152444	152448	152450	151824	151324	
2. syöttö	7509D.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	320190	320177	320190	320177	320177	320177	320177	320177	320177	
Leimahduspiste	PE LP, C		Calculated	55,9	49,0	55,9	49,0	53,2	54,0	54,3	55,5	56,4	
PE tilavuus	522.STR_MAIN	cum/hr	Calculated	36,2	24,1	36,2	24,1	36,1	36,3	36,3	36,3	36,3	
PE D86 (til-%)													
0	522.STRM_UPP	C	Calculated	154,8	149,9	154,8	149,9	153,3	153,2	153,2	154,1	154,7	

5	522.STRM_UPP	C	Calculated	165,7	158,5	165,7	158,5	162,4	162,7	162,8	164,2	165,3
10	522.STRM_UPP	C	Calculated	170,1	162,0	170,1	162,0	166,1	166,5	166,6	168,3	169,6
30	522.STRM_UPP	C	Calculated	176,5	166,5	176,5	166,5	172,7	173,1	173,2	174,8	176,0
50	522.STRM_UPP	C	Calculated	182,7	171,1	182,7	171,1	179,0	179,5	179,7	181,3	182,5
70	522.STRM_UPP	C	Calculated	190,3	176,7	190,3	176,7	186,8	187,4	187,6	189,2	190,4
90	522.STRM_UPP	C	Calculated	201,3	186,5	201,3	186,5	198,7	199,3	199,6	201,0	202,3
95	522.STRM_UPP	C	Calculated	209,8	194,3	209,8	194,3	208,0	208,4	208,6	209,8	211,0
100	522.STRM_UPP	C	Calculated	218,2	202,2	218,2	202,2	217,2	217,5	217,6	218,5	219,7
KA D86 (til-%)												
0	3528.STRM_UPP	C	Calculated	170,0	170,0	170,0	170,0	174,8	172,1	170,9	171,1	171,3
5	3528.STRM_UPP	C	Calculated	217,1	207,8	217,1	207,8	217,0	215,9	215,4	216,2	216,7
10	3528.STRM_UPP	C	Calculated	238,4	224,4	238,4	224,4	235,7	235,4	235,3	236,3	237,1
30	3528.STRM_UPP	C	Calculated	264,5	254,4	264,5	254,4	262,8	262,9	262,9	263,7	264,4
50	3528.STRM_UPP	C	Calculated	288,2	280,8	288,2	280,8	287,1	287,3	287,3	288,1	288,8
70	3528.STRM_UPP	C	Calculated	313,1	308,4	313,1	308,4	313,2	313,5	313,7	314,4	315,0
90	3528.STRM_UPP	C	Calculated	343,1	341,8	343,1	341,8	345,7	346,7	347,1	348,2	349,1
95	3528.STRM_UPP	C	Calculated	360,0	360,0	360,0	360,0	364,2	365,8	366,5	368,0	369,0
100	3528.STRM_UPP	C	Calculated	376,9	378,2	376,9	378,2	382,7	384,9	385,9	387,7	388,9
Tulvimiskertoimet												
Välipohjat 1-18	DA5002.1.FLOOD_FAC6			0,818	0,716	0,818	0,715	0,684	0,658	0,647	0,646	0,646
Välipohjat 19-22	DA5002.2.FLOOD_FAC6			0,736	0,675	0,736	0,675	0,671	0,654	0,647	0,645	0,643
Välipohjat 23-31	DA5002.3.FLOOD_FAC6			0,514	0,462	0,514	0,462	0,454	0,438	0,432	0,429	0,427
Välipohjat 32-39	DA5002.4.FLOOD_FAC6			0,370	0,394	0,370	0,394	0,389	0,383	0,380	0,379	0,378
DA-75003 (PE)	DA5002.DA5003.FLOOD_FAC12			0,591	0,582	0,591	0,582	0,590	0,584	0,581	0,582	0,582
DA-5004 (KA)	DA5002.DA5004.FLOOD_FAC12			0,330	0,358	0,330	0,358	0,346	0,338	0,335	0,333	0,332
SG												
Ominaispaino	166.STRM_UPP		Calculated	0,823	0,829	0,823	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829	0,829
	7503.STRM_UPP		Calculated	0,449	0,447	0,449	0,447	0,447	0,447	0,447	0,447	0,447
	7507.STRM_UPP		Calculated	0,589	0,597	0,589	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597	0,597
	7518.STRM_UPP		Calculated	0,737	0,742	0,737	0,742	0,742	0,742	0,742	0,743	0,743
	522.STRM_UPP		Calculated	0,782	0,776	0,782	0,776	0,780	0,781	0,781	0,782	0,782
	3528.STRM_UPP		Calculated	0,854	0,849	0,854	0,849	0,853	0,853	0,853	0,854	0,854
	530.STRM_UPP		Calculated	0,882	0,882	0,882	0,882	0,882	0,882	0,882	0,882	0,882
Syöttö D86 (til-%)												
0	166.STRM_UPP	C	Calculated	-46,1	-44,7	-46,1	-44,7	-44,7	-44,7	-44,7	-44,7	-44,7
5	166.STRM_UPP	C	Calculated	47,6	57,3	47,6	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3	57,3
10	166.STRM_UPP	C	Calculated	109,2	127,0	109,2	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0	127,0
30	166.STRM_UPP	C	Calculated	230,6	246,9	230,6	246,9	246,9	246,9	246,9	246,9	246,9
50	166.STRM_UPP	C	Calculated	316,2	327,1	316,2	327,1	327,1	327,1	327,1	327,1	327,1
70	166.STRM_UPP	C	Calculated	392,6	405,5	392,6	405,5	405,5	405,5	405,5	405,5	405,5
90	166.STRM_UPP	C	Calculated	480,7	486,4	480,7	486,4	486,4	486,4	486,4	486,4	486,4
95	166.STRM_UPP	C	Calculated	503,7	507,4	503,7	507,4	507,4	507,4	507,4	507,4	507,4
100	166.STRM_UPP	C	Calculated	526,7	528,3	526,7	528,3	528,3	528,3	528,3	528,3	528,3



## Liite 3. Simuloinnin ajotuloste, muutos syöttömäärässä

				Tietokonesäädöt:													
				Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
				Alku-	10 %:n	Alku-	Operointi										
				peräinen	lisäys	peräinen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Selite	Name	Units	Status	1-4 h	5-6 h	1-4 h	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Huipunpalautus	DA5001.MASS_L1	kg/hr	Calculated	40833	43821	40833	43821	42009	42009	41163	41163	40718	40718	40718	40718	40718	
Huipunpalautus	DA5002.MASS_L1	kg/hr	Calculated	113322	132643	113322	132643	132297	128092	126959	128039	127430	125682	126272	128929	127883	
PE > DA-75003	DA5002.DA5003.B_M ASSFLOW2	kg/hr		32335	36553	32335	36553	34615	34531	34520	34561	34555	34519	34542	36450	36428	
KA > DA-75004	DA5002.DA5004.B_M ASSFLOW2	kg/hr		123833	132476	123832	132476	135880	135702	135691	135736	135729	135656	135680	136704	136652	
PE tuote	522.STR_MAIN	C	Calculated	216	217	216	217	215	218	219	217	218	219	218	218	218	
DA-75002 lauhd	DA5002.SC_TEMP	C	Specified	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
DA-75002 reflux	DA5002.HYD_TL2	C	Calculated	79,06	77,68	79,06	77,68	78,00	79,68	79,91	79,69	79,81	80,52	80,40	80,35	80,77	
DA-75001 STM	501.TOTFLOW	kg/hr	Specified	2270	2270	2270	2270	2270	2270	2270	2270	2270	2270	2270	2270	2270	
DA-75002 STM	531.TOTFLOW	kg/hr	Specified	3375	3375	3375	3375	3375	3375	3375	3375	3375	3375	3375	3375	3375	
Kiertopalautus	P-1.PA_DUTY	kW		-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	-14654	
Kiertopalautus	P-1.BASIS_PAFLW	kg/hr		329268	329268	329268	329268	329268	329268	329268	329268	329268	329268	329268	329268	329268	
Lauhdutin	DA5002.PRES1	kPa	Specified	150	150	150	150	150	158	158	158	158	161	161	150	163	
Kolonne	DA5002.PRES2	kPa	Specified	219	219	219	219	219	230	230	230	230	235	235	235	238	
Stripperi	DA5003.ST_PRES1	kPa		232	232	232	232	232	245	245	245	245	250	250	232	253	
Stripperi	DA5004.ST_PRES1	kPa		246	246	246	246	246	259	259	259	259	265	265	246	268	
Kiehuutin	DA5003.ST_Q_REB	kW		1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1230	1400	1400	
Kiehuutin	DA5004.ST_Q_REB	kW		2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2500	2500	
Polttokaasu	7503.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	6468	7325	6468	7325	7075	7075	6960	6960	6900	6900	6900	6900	6900	
BEK	DA5001.2.VALUE			7840	7840	7840	7840	8624	8624	9000	9000	9200	9200	9200	9200	9200	
	7507.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	7840	7840	7840	7840	8624	8624	9000	9000	9200	9200	9200	9200	9200	
BER	DA5002.BASIS_D	kg/hr	Specified	35949	35949	35950	40004	39545	39545	39545	39000	39000	39000	38700	38700	38700	
	7518.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	35950	40004	35950	40004	39545	39545	39545	39000	39000	39000	38700	38700	38700	
PE	DA5003.BASIS_ST_B	kg/hr		25712	25712	22015	26644	24217	24217	24217	24217	24217	24217	24217	24217	24217	
	522.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	22015	26644	22015	26644	24217	24217	24217	24217	24217	24217	24217	24217	24217	
KA	DA5004.BASIS_ST_B	kg/hr		112053	112053	119770	128387	131747	131747	131747	131747	131747	131747	131747	131747	131747	
	3528.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	119770	128387	119770	128387	131747	131747	131747	131747	131747	131747	131747	131747	131747	
ÖP	530.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	142036	157287	142036	157287	156276	156281	156019	156564	156424	156425	156725	156725	156726	
2. syöttö	7509D.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	320190	352760	320190	352760	352213	352213	351947	351947	351804	351804	351804	351804	351804	
Leimahduspiste	PE LP, C		Calculated	55,9	56,6	55,9	56,6	55,7	56,3	56,8	55,9	56,1	56,4	55,9	55,7	55,9	
PE tilavuus	522.STR_MAIN	cum/hr	Calculated	36,2	43,7	36,2	43,7	39,8	39,9	39,9	39,9	39,9	40,0	40,0	40,0	40,0	
PE D86 (til-%)																	
0	522.STRM_UPP	C	Calculated	154,8	154,3	154,8	154,3	154,2	154,2	154,5	153,8	154,0	154,0	153,6	154,3	154,3	







## Liite 4. Koch-Glitsch KG-TOWER Software -mitoitustulokset

**KOCH-GLITSCH**®

Customer's copy.

Strictly confidential. Property of Koch-Glitsch.

KG-TOWER® Software v 5.2

Registered To: Jenni Rautanen, Neste Oil

VALVE TRAY RATING DATA

Project Name	Fractionator Flood Test					Date :	23-heimi-2015	Page :	1
Tower Name	MHC fractionator					File :	floodtest.kgt		
Case Name	Thesis flooding test					By :	rautajen	Revision :	1
<b>ZONE</b>									
DESCRIPTION		ORIG	+10 %	OPER	+1%	+5%			
TRAY NUMBER		18-1	18-1	18-1	18-1	18-1			
% OF LOADING		100	100	100	100	100			
<b>LOADINGS</b>									
Vapor Rate	kg/hr	198507	229661	226160	201647	214149			
Vapor Density	kg/m3	6,529	6,603	7,149	6,538	6,569			
Vapor Volume	m3/s	8,44	9,66	8,79	8,57	9,06			
Vapor Viscosity	cP	0,0083*	0,0083*	0,0084*	0,0083*	0,0083*			
Liquid Rate	kg/hr	158764	185844	183672	161495	172363			
Liquid Density	kg/m3	626,68	626,02	622,03	626,58	626,28			
Liquid Volume	m3/hr	253,34	296,87	295,28	257,74	275,22			
Surface Tension	mN/m	10,92	10,81	10,55	10,90	10,86			
Liquid Viscosity	cP	0,218*	0,217*	0,213*	0,218*	0,218*			
* Calculated from other physical properties.									
Tray Spacing	mm	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00			
System Factor		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00			
Jet Flood	%	79	91	87	80	85			
Downcomer Flood	%	85	99	99	86	92			
Downcomer Backup	mm liq	267,0	323,8	311,9	272,2	294,0			
Downcomer Ext Velocity	m/s	0,543	0,636	0,633	0,552	0,590			
Dry Tray Pressure Drop	mm liq	105,2	138,6	125,2	108,4	121,4			
Total Tray Pressure Drop	mm liq	161,8	197,9	185,6	165,2	179,1			
Total Tray Pressure Drop	mm Hg	7,5	9,1	8,5	7,6	8,3			
Cf Active Area	m/s	0,10	0,12	0,11	0,10	0,11			
Weir Load	m3/h/m	58,6	68,7	68,4	59,7	63,7			
Weir Crest	mm liq	42,7	47,5	47,3	43,2	45,1			
Downcomer Backup	% (TS+W)	39,6	48,0	46,2	40,3	43,6			
Head Loss Under DC	mm liq	47,0	64,5	63,8	48,6	55,5			
DC Residence Time	sec	5,2	4,4	4,4	5,1	4,8			
DC Loading	m3/hr/m2	469,3	549,9	547,0	477,4	509,8			
Blow Rating	%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
System Limit	%	60	70	66	61	65			
Turndown	%	34	29	30	33	31			
Unit Reference	%	150	172	163	152	161			
Equation 13	%	85	98	94	86	91			
WARNINGS:			1,2,3,4,5,	1,2,3,4,5,	2,5,	1,2,4,5,			

- WARNINGS:**
1. Jet flood exceeds design limit.
  2. Downcomer flood exceeds design limit.
  3. Excessive downcomer backup. Try increased downcomer clearance, lower weir height, increased % open area or increased quantity of valves.
  4. Excessive dry tray pressure drop. Try increased valve quantity, more open area or increased tray spacing.
  5. Excessive downcomer exit velocity. Try increased downcomer clearance.

The information contained herein is the confidential and proprietary property of Koch-Glitsch, LP and/or its affiliates ("Koch-Glitsch"). This information and any derivatives thereof are the exclusive property of Koch-Glitsch. This information is believed to be accurate and reliable but is not to be construed as implying any warranty or guarantee of performance. The KG-TOWER(R) Software that generated this report may not be used by or exported or re-exported to any U.S. embargoed country (currently Cuba, Iran, Syria, Sudan, and North Korea), a national or resident of such countries, or anyone on the U.S. Treasury Department's list of Specially Designated Nationals. You are solely responsible for compliance with U.S. economic and trade sanctions. Refer to the License Agreement for additional information.



Customer's copy.

Strictly confidential. Property of Koch-Glitsch.

KG-TOWER® Software v 5.2

Registered To: Jenni Rautanen, Neste Oil

VALVE TRAY RATING DATA

Project Name	Fractionator Flood Test	Date :	23-heimi-2015	Page :	1	
Tower Name	MHC fractionator	File :	floodtest.kgt	By :	raulajen	
Case Name	Thesis flooding test	Revision :	1			
<b>ZONE</b>						
<b>DESCRIPTION</b>	ORIG	+10 %	OPER	+1%	+5%	
<b>TRAY NUMBER</b>	18-1	18-1	18-1	18-1	18-1	
<b>% OF LOADING</b>	100	100	100	100	100	
<b>LOADINGS</b>						
Vapor Rate	kg/hr	198507	229661	226160	201647	214149
Vapor Density	kg/m3	6,529	6,603	7,149	6,538	6,569
Vapor Volume	m3/s	8,44	9,66	8,79	8,57	9,06
Vapor Viscosity	cP	0,0083*	0,0083*	0,0084*	0,0083*	0,0083*
Liquid Rate	kg/hr	158764	185844	183672	161495	172363
Liquid Density	kg/m3	626,68	626,02	622,03	626,58	626,28
Liquid Volume	m3/hr	253,34	296,87	295,28	257,74	275,22
Surface Tension	mN/m	10,92	10,81	10,55	10,90	10,86
Liquid Viscosity	cP	0,218*	0,217*	0,213*	0,218*	0,218*
* Calculated from other physical properties.						
Tray Spacing	mm	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
System Factor		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Jet Flood	%	79	91	87	80	85
Downcomer Flood	%	85	99	99	86	92
Downcomer Backup	mm liq	267,0	323,8	311,9	272,2	294,0
Downcomer Extl Velocity	m/s	0,543	0,636	0,633	0,552	0,590
Dry Tray Pressure Drop	mm liq	105,2	138,6	125,2	108,4	121,4
Total Tray Pressure Drop	mm liq	161,8	197,9	185,6	165,2	179,1
Total Tray Pressure Drop	mm Hg	7,5	9,1	8,5	7,6	8,3
Cf Active Area	m/s	0,10	0,12	0,11	0,10	0,11
Weir Load	m3/h/m	58,6	68,7	68,4	59,7	63,7
Weir Crest	mm liq	42,7	47,5	47,3	43,2	45,1
Tower Diameter	mm	3600	<b>Number of Passes</b>			2
Tower Area	m2	10,18	<b>Flow Path Length</b>		mm	1365
Valve Type	Type A(V-1)		<b>Weir Length</b>		mm	4320
Est. Number of Valves	1166		<b>Active Area</b>		m2	8,58
		<b>Side</b>		<b>Center</b>		
		TOP	BOTTOM	TOP	BOTTOM	
Downcomer Width	mm	360,00	360,00	150,00	150,00	
Downcomer Area	m2	0,53	0,53	0,54	0,54	
Weir Height	mm	75,00		75,00		
Downcomer Clearance	mm	30,00		30,00		
		<b>Panel A</b>		<b>Panel B</b>		
Active Area	m2	4,29		4,29		
Flow Path Length	mm	1365,00		1365,00		

The information contained herein is the confidential and proprietary property of Koch-Glitsch, LP and/or its affiliates ("Koch-Glitsch"). This information and any derivatives thereof are the exclusive property of Koch-Glitsch. This information is believed to be accurate and reliable but is not to be construed as implying any warranty or guarantee of performance. The KG-TOWER(R) Software that generated this report may not be used by or exported or re-exported to any U.S. embargoed country (currently Cuba, Iran, Syria, Sudan, and North Korea), a national or resident of such countries, or anyone on the U.S. Treasury Department's list of Specialty Designated Nationals. You are solely responsible for compliance with U.S. economic and trade sanctions. Refer to the License Agreement for additional information.

## Liite 5. Simuloinnin ajotuloste, muutos petrolituotteen leimahduspisteessä

Selite	Name	Units	Status	Tietokonesäädöt:				
				Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
				Alkuperäinen	Operointi	Operointi	3	4
DA-75001 reflux	DA5001.MASS_L1	kg/hr	Calculated	40833	40833	46445	46445	46445
DA-75002 reflux	DA5002.MASS_L1	kg/hr	Calculated	113342	116567	119380	122532	122073
PE -> DA-75003	DA5002.DA5003.B_MASS FLOW2	kg/hr		32350	34052	33839	34359	33312
KA -> DA-75004	DA5002.DA5004.B_MASS FLOW2	kg/hr		123843	123842	123469	126132	126449
PE tuote	522.STR_MAIN	C	Calculated	216	212	212	209	209
DA-75002 lauhdutin	DA5002.SC_TEMP	C	Specified	78	78	78	78	78
DA-75002 reflux	DA5002.HYD_TL2	C	Calculated	79,1	78,2	79,8	79,2	79,1
DA-75001 STM	501.TOTFLOW	kg/hr	Specified	2270	2270	2700	2700	2700
DA-75002 STM	531.TOTFLOW	kg/hr	Specified	3375	3375	4000	4000	4000
KA KP	P-1.PA_DUTY	kW		-14654	-14654	-14654	-14654	-14654
KA KP	P-1.BASIS_PAFLW	kg/hr		329268	329268	329268	329268	329268
DA-75002 lauhdutin	DA5002.PRES1	kPa	Specified	150	150	150	150	150
DA-75002	DA5002.PRES2	kPa	Specified	219	219	219	219	219
Stripperi PE	DA5003.ST_PRES1	kPa		232	232	232	232	232
Stripperi KA	DA5004.ST_PRES1	kPa		246	246	246	246	246
Kiehutin PE	DA5003.ST_Q_REB	kW		1230	1230	1230	1230	1130
Kiehutin KA	DA5004.ST_Q_REB	kW		2200	2200	2200	2200	2300
Syöttö	166.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	333944	333944	333944	333944	333944
Polttokaasu	7503.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	6468	6468	6521	6521	6521
BEK	DA5001.2.VALUE			7840	7840	7840	7840	7840
	7507.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	7840	7840	7840	7840	7840
BER	DA5002.BASIS_D	kg/hr	Specified	35950	34000	34000	32500	32500
	7518.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	35950	34000	34000	32500	32500
PE	DA5003.BASIS_ST_B	kg/hr		22015	23965	23965	24465	24465
	522.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	22015	23965	23965	24465	24465
KA	DA5004.BASIS_ST_B	kg/hr		119770	119770	119770	122500	122500
	3528.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	119770	119770	119770	122500	122500
ÖP	530.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	142036	142034	141985	140251	140251
DA-75001 pohja	7509D.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	320190	320190	320206	320206	320206
DA-75001 haparvesi	7505.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	1716	1716	2077	2077	2077
DA-75002 lauhde	516.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	3793	3796	4486	4489	4490
Leimahduspiste	PE LP, C		Calculated	55,9	53,4	53,5	51,2	50,9
PE V	522.STR_MAIN	cum/hr	Calculated	36,2	39,3	39,3	40,0	40,0
PE D86 (til-%)								
0	522.STRM_UPP	C	Calculated	154,8	152,0	152,2	148,6	146,7
5	522.STRM_UPP	C	Calculated	165,7	162,1	162,3	159,2	158,5
10	522.STRM_UPP	C	Calculated	170,1	166,2	166,3	163,5	163,2
30	522.STRM_UPP	C	Calculated	176,5	173,4	173,6	170,5	170,3
50	522.STRM_UPP	C	Calculated	182,7	180,2	180,3	177,4	177,2
70	522.STRM_UPP	C	Calculated	190,2	188,3	188,4	185,7	185,5
90	522.STRM_UPP	C	Calculated	201,3	200,2	200,2	198,0	197,8
95	522.STRM_UPP	C	Calculated	209,8	208,9	208,8	207,4	207,2
100	522.STRM_UPP	C	Calculated	218,2	217,6	217,5	216,7	216,6
KA D86 (til-%)								
0	3528.STRM_UPP	C	Calculated	170,0	170,0	168,9	167,6	169,7
5	3528.STRM_UPP	C	Calculated	217,2	217,2	216,9	215,7	216,4
10	3528.STRM_UPP	C	Calculated	238,4	238,4	238,5	237,4	237,4
30	3528.STRM_UPP	C	Calculated	264,5	264,6	264,6	264,3	264,3
50	3528.STRM_UPP	C	Calculated	288,2	288,2	288,0	288,3	288,3
70	3528.STRM_UPP	C	Calculated	313,1	313,1	312,4	313,4	313,4
90	3528.STRM_UPP	C	Calculated	343,1	343,1	341,5	343,3	343,3
95	3528.STRM_UPP	C	Calculated	360,0	360,0	357,4	360,1	360,1
100	3528.STRM_UPP	C	Calculated	376,9	376,9	373,3	376,9	376,9
Tulvimiskertoimet								
Välipohjat 1-18	DA5002.1.FLOOD_FAC6			0,818	0,818	0,839	0,843	0,840
Välipohjat 19-22	DA5002.2.FLOOD_FAC6			0,736	0,736	0,754	0,749	0,749
Välipohjat 23-31	DA5002.3.FLOOD_FAC6			0,514	0,514	0,532	0,526	0,526
Välipohjat 32-39	DA5002.4.FLOOD_FAC6			0,370	0,370	0,400	0,396	0,396
DA-75003 (PE)	DA5002.DA5003.FLOOD_FAC12			0,591	0,590	0,591	0,589	0,546

DA-5004 (KA)	DA5002.DA5004.FLOOD_FAC12			0,330	0,330	0,326	0,325	0,341
SG (Ominaispaino)								
Syöttö	166.STRM_UPP		Calculated	0,823	0,823	0,823	0,823	0,823
Poltto- kaasu	7503.STRM_UPP		Calculated	0,449	0,449	0,450	0,450	0,450
BEK	7507.STRM_UPP		Calculated	0,589	0,589	0,588	0,588	0,588
BER	7518.STRM_UPP		Calculated	0,737	0,735	0,736	0,734	0,734
PE	522.STRM_UPP		Calculated	0,782	0,781	0,781	0,780	0,780
KA	3528.STRM_UPP		Calculated	0,854	0,854	0,854	0,854	0,854
ÖP	530.STRM_UPP		Calculated	0,882	0,882	0,882	0,882	0,882
Syöttö D86 (til-%)								
0	166.STRM_UPP	C	Calculated	-46,1	-46,1	-46,1	-46,1	-46,1
5	166.STRM_UPP	C	Calculated	47,6	47,6	47,6	47,6	47,6
10	166.STRM_UPP	C	Calculated	109,2	109,2	109,2	109,2	109,2
30	166.STRM_UPP	C	Calculated	230,6	230,6	230,6	230,6	230,6
50	166.STRM_UPP	C	Calculated	316,2	316,2	316,2	316,2	316,2
70	166.STRM_UPP	C	Calculated	392,6	392,6	392,6	392,6	392,6
90	166.STRM_UPP	C	Calculated	480,7	480,7	480,7	480,7	480,7
95	166.STRM_UPP	C	Calculated	503,7	503,7	503,7	503,7	503,7
100	166.STRM_UPP	C	Calculated	526,7	526,7	526,7	526,7	526,7
PK D86 (til-%)								
0	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-205,2	-205,2	-205,1	-205,1	-205,1
5	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-160,7	-160,7	-160,5	-160,5	-160,5
10	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-122,2	-122,2	-121,7	-121,7	-121,7
30	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-58,5	-58,5	-58,1	-58,1	-58,1
50	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-42,3	-42,3	-42,0	-42,0	-42,0
70	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-34,2	-34,2	-33,9	-33,9	-33,9
90	7503.STRM_UPP	C	Calculated	5,9	5,9	6,5	6,5	6,5
95	7503.STRM_UPP	C	Calculated	27,9	27,9	28,0	28,0	28,0
100	7503.STRM_UPP	C	Calculated	49,9	49,9	49,5	49,5	49,5
BEK D86 (til-%)								
0	7507.STRM_UPP	C	Calculated	-95,4	-95,4	-95,7	-95,7	-95,7
5	7507.STRM_UPP	C	Calculated	-45,3	-45,3	-45,6	-45,6	-45,6
10	7507.STRM_UPP	C	Calculated	-17,1	-17,1	-17,4	-17,4	-17,4
30	7507.STRM_UPP	C	Calculated	6,9	6,9	6,4	6,4	6,4
50	7507.STRM_UPP	C	Calculated	19,7	19,7	18,0	18,0	18,0
70	7507.STRM_UPP	C	Calculated	41,1	41,1	40,2	40,2	40,2
90	7507.STRM_UPP	C	Calculated	55,7	55,7	54,1	54,1	54,1
95	7507.STRM_UPP	C	Calculated	70,2	70,2	68,1	68,1	68,1
100	7507.STRM_UPP	C	Calculated	84,7	84,7	82,0	82,0	82,0
BER D86 (til-%)								
0	7518.STRM_UPP	C	Calculated	39,3	38,6	43,4	42,6	42,6
5	7518.STRM_UPP	C	Calculated	65,8	64,9	67,2	66,4	66,4
10	7518.STRM_UPP	C	Calculated	77,5	76,5	77,5	76,7	76,6
30	7518.STRM_UPP	C	Calculated	93,1	91,4	91,8	90,5	90,4
50	7518.STRM_UPP	C	Calculated	106,6	105,0	105,2	103,5	103,5
70	7518.STRM_UPP	C	Calculated	119,9	116,8	117,1	114,7	114,6
90	7518.STRM_UPP	C	Calculated	136,6	133,0	133,2	130,4	130,4
95	7518.STRM_UPP	C	Calculated	145,0	143,1	143,3	139,1	139,3
100	7518.STRM_UPP	C	Calculated	153,5	153,3	153,5	147,9	148,2
ÖP D86 (til-%)								
0	530.STRM_UPP	C	Calculated	306,7	306,7	311,7	312,2	312,2
5	530.STRM_UPP	C	Calculated	344,7	344,7	348,1	348,8	348,8
10	530.STRM_UPP	C	Calculated	360,8	360,8	363,6	364,3	364,3
30	530.STRM_UPP	C	Calculated	402,5	402,5	402,7	404,0	404,0
50	530.STRM_UPP	C	Calculated	429,4	429,4	429,4	430,4	430,4
70	530.STRM_UPP	C	Calculated	457,9	457,9	457,9	458,4	458,4
90	530.STRM_UPP	C	Calculated	489,0	489,0	489,0	489,1	489,1
95	530.STRM_UPP	C	Calculated	503,6	503,6	503,6	503,6	503,6
100	530.STRM_UPP	C	Calculated	518,1	518,1	518,1	518,0	518,0
TBP PE (m-%)								
0	522.STRM_UPP	C	Calculated	125,8	122,5	122,7	118,8	116,2
5	522.STRM_UPP	C	Calculated	147,6	143,5	143,8	139,4	138,6
10	522.STRM_UPP	C	Calculated	154,8	149,8	150,0	147,1	146,8
30	522.STRM_UPP	C	Calculated	169,7	166,4	166,6	163,3	163,1
50	522.STRM_UPP	C	Calculated	182,0	179,4	179,5	176,6	176,4
70	522.STRM_UPP	C	Calculated	194,5	192,7	192,7	190,0	189,8
90	522.STRM_UPP	C	Calculated	210,0	209,1	209,1	207,1	206,9
95	522.STRM_UPP	C	Calculated	217,4	216,8	216,8	213,9	213,6
100	522.STRM_UPP	C	Calculated	228,5	228,1	228,1	227,4	227,3
TBP KA (m-%)								

0	3528.STRM_UPP	C	Calculated	123,3	123,3	121,8	120,5	123,1
5	3528.STRM_UPP	C	Calculated	201,2	201,2	201,4	200,4	200,7
10	3528.STRM_UPP	C	Calculated	218,9	218,9	219,0	217,9	217,9
30	3528.STRM_UPP	C	Calculated	258,5	258,5	258,5	258,2	258,2
50	3528.STRM_UPP	C	Calculated	292,6	292,6	292,4	292,8	292,8
70	3528.STRM_UPP	C	Calculated	325,6	325,6	324,9	325,9	325,9
90	3528.STRM_UPP	C	Calculated	361,2	361,2	359,6	361,3	361,3
95	3528.STRM_UPP	C	Calculated	376,8	376,8	374,1	376,9	376,9
100	3528.STRM_UPP	C	Calculated	398,2	398,2	394,3	398,2	398,2
TBP Syöttö (m-%)								
0	166.STRM_UPP	C	Calculated	-123,9	-123,9	-123,9	-123,9	-123,9
5	166.STRM_UPP	C	Calculated	61,3	61,3	61,3	61,3	61,3
10	166.STRM_UPP	C	Calculated	112,4	112,4	112,4	112,4	112,4
30	166.STRM_UPP	C	Calculated	247,7	247,7	247,7	247,7	247,7
50	166.STRM_UPP	C	Calculated	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0
70	166.STRM_UPP	C	Calculated	413,2	413,2	413,2	413,2	413,2
90	166.STRM_UPP	C	Calculated	499,9	499,9	499,9	499,9	499,9
95	166.STRM_UPP	C	Calculated	520,7	520,7	520,7	520,7	520,7
100	166.STRM_UPP	C	Calculated	549,8	549,8	549,8	549,8	549,8
TBP PK (m-%)								
0	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-261,0	-261,0	-261,0	-261,0	-261,0
5	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-194,5	-194,5	-193,8	-193,8	-193,8
10	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-163,6	-163,6	-163,3	-163,3	-163,3
30	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-61,9	-61,9	-61,4	-61,4	-61,4
50	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-41,3	-41,3	-41,1	-41,1	-41,1
70	7503.STRM_UPP	C	Calculated	-14,7	-14,7	-13,4	-13,4	-13,4
90	7503.STRM_UPP	C	Calculated	25,8	25,8	25,9	25,9	25,9
95	7503.STRM_UPP	C	Calculated	43,0	43,0	42,5	42,5	42,5
100	7503.STRM_UPP	C	Calculated	61,3	61,3	60,5	60,5	60,5
TBP BEK (m-%)								
0	7507.STRM_UPP	C	Calculated	-152,6	-152,6	-152,6	-152,6	-152,6
5	7507.STRM_UPP	C	Calculated	-52,6	-52,6	-52,6	-52,6	-52,6
10	7507.STRM_UPP	C	Calculated	-43,3	-43,3	-43,4	-43,4	-43,4
30	7507.STRM_UPP	C	Calculated	-3,9	-3,9	-3,9	-3,9	-3,9
50	7507.STRM_UPP	C	Calculated	26,7	26,7	24,5	24,5	24,5
70	7507.STRM_UPP	C	Calculated	46,2	46,2	45,1	45,1	45,1
90	7507.STRM_UPP	C	Calculated	66,2	66,2	64,2	64,2	64,2
95	7507.STRM_UPP	C	Calculated	76,2	76,2	74,0	74,0	74,0
100	7507.STRM_UPP	C	Calculated	94,9	94,9	92,0	92,0	92,0
TBP BER (m-%)								
0	7518.STRM_UPP	C	Calculated	-5,2	-5,7	0,1	-0,5	-0,5
5	7518.STRM_UPP	C	Calculated	43,5	42,7	44,1	43,5	43,5
10	7518.STRM_UPP	C	Calculated	55,5	54,4	55,4	54,6	54,6
30	7518.STRM_UPP	C	Calculated	84,0	82,1	82,4	81,0	80,9
50	7518.STRM_UPP	C	Calculated	105,4	103,2	103,4	102,1	102,0
70	7518.STRM_UPP	C	Calculated	125,5	121,9	122,1	119,4	119,4
90	7518.STRM_UPP	C	Calculated	146,5	142,2	142,4	139,5	139,6
95	7518.STRM_UPP	C	Calculated	153,6	150,1	150,3	146,1	146,3
100	7518.STRM_UPP	C	Calculated	163,8	163,3	163,5	157,4	157,8
TBP ÖP (m-%)								
0	530.STRM_UPP	C	Calculated	281,6	281,6	286,8	287,6	287,6
5	530.STRM_UPP	C	Calculated	338,4	338,4	341,4	342,1	342,1
10	530.STRM_UPP	C	Calculated	359,9	359,9	362,3	363,3	363,3
30	530.STRM_UPP	C	Calculated	414,1	414,1	414,2	415,8	415,8
50	530.STRM_UPP	C	Calculated	451,6	451,6	451,6	452,8	452,8
70	530.STRM_UPP	C	Calculated	488,2	488,2	488,2	488,8	488,8
90	530.STRM_UPP	C	Calculated	524,4	524,4	524,4	524,7	524,7
95	530.STRM_UPP	C	Calculated	539,9	539,9	539,9	540,1	540,1
100	530.STRM_UPP	C	Calculated	555,9	555,9	555,9	555,9	555,9
DA-75001 huippu	DA5001.B_TEMP5	C	Calculated	100	100	98	98	98
DA-75001 pohja	DA5001.B_TEMP5	C	Calculated	219	219	217	217	217
DA-75001 pohja	DA5001.B_PRES7	kPa	Calculated	1028	1028	1028	1028	1028
DA-75001 lauhdutin	DA5001.PRES1	kPa	Specified	930	930	930	930	930
DA-75001 huippu	DA5001.PRES2	kPa	Specified	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>
DA-75001 lauhdutin	DA5001.T_COND	C	Specified	40	40	40	40	40
BEK tuote	7507.STR_MAIN	C	Calculated	40	40	40	40	40
DA-75001 syöttö	Q166.TEMP	C	Specified	230	230	230	230	230
DA-75001 syöttö	Q166.PRES	kPa	Specified	1200	1200	1200	1200	1200
EA-75002	EA5002.QCALC	kW	Calculated	-7280	-7280	-8166	-8166	-8166

EA-75002	EA5002.TEMP	C	Specified	40	40	40	40	40
EA-75002	EA5002.PRES	kPa	Specified	930	930	930	930	930
DA-75001 peti 1	DA5001.1.DP_SECTION	kPa		0,18	0,18	0,23	0,23	0,23
DA-75001 peti 2	DA5001.2.DP_SECTION	kPa		0,05	0,05	0,06	0,06	0,06
DA-75001 peti 3	DA5001.3.DP_SECTION	kPa		0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
DA-75001 STM	1501.STR_MAIN	C	Calculated	325	325	325	325	325
DA-75001 STM	1501.STR_MAIN	kPa	Calculated	1120	1120	1120	1120	1120
DA-75002 syöttö	Q5509D.TEMP	C	Specified	<b>365</b>	<b>365</b>	<b>365</b>	<b>365</b>	<b>365</b>
DA-75002 syöttö	Q5509D.PRES	kPa	Specified	<b>274</b>	<b>274</b>	<b>274</b>	<b>274</b>	<b>274</b>
DA-75002 P	DA5002.B_PRES7	kPa	Calculated	234	234	234	234	234
DA-75002 P	DA5002.B_PRES7	kPa	Calculated	245	245	245	245	245
DA-75002 P	DA5002.B_PRES7	kPa	Calculated	266	266	266	266	266
DA-75002 huippu	DA5002.B_TEMP5	C	Calculated	138	134	134	131	131
DA-75002 pohja	DA5002.B_TEMP5	C	Calculated	351	351	349	349	349
DA-75002 pohja	DA5002.B_PRES7	kPa	Calculated	274	274	274	274	274
DA-75003 huippu	DA5002.DA5003.B_TEMP3	C		200	197	197	194	194
DA-75003 pohja	DA5002.DA5003.B_PRES5	kPa		246	246	246	246	246
DA-75004 huippu	DA5002.DA5004.B_TEMP3	C		278	278	278	277	277
KA tuote	DA5002.DA5004.B_TEMP3	C		298	298	298	297	298
DA-75004 pohja	DA5002.DA5004.B_PRES5	kPa		260	260	260	260	260
PE -> DA-75003	DA5002.DA5003.B_TEMP2	C		191	189	188	186	186
KA -> DA-75004	DA5002.DA5004.B_TEMP2	C		278	278	278	277	277
ÖP tuote	530B.STR_MAIN	C	Calculated	340	340	338	338	338
EA-75005	EA5005.QCALC	kW	Calculated	-871	-745	-1516	-1498	-1442
EA-75005	EA5005.TEMP	C	Specified	78	78	78	78	78
EA-75005	EA5005.PRES	kPa	Specified	150	150	150	150	150
EC-75001	EC5001.QCALC	kW	Calculated	-20000	-20000	-20000	-20000	-20000
DA-75002 STM	1531.STR_MAIN	C	Calculated	245	245	245	245	245
DA-75002 STM	1531.STR_MAIN	kPa	Calculated	274	274	274	274	274
SPEC1: KA/360/95 (REVEAL/HIDDEN)	DA5002.1.SPEC_HIDE			HIDDEN	HIDDEN	HIDDEN	HIDDEN	HIDDEN
SPEC2: KA/170/0	DA5002.1.SPEC_HIDE			HIDDEN	HIDDEN	HIDDEN	HIDDEN	HIDDEN
SPEC3: BER/145/95	DA5002.1.SPEC_HIDE			HIDDEN	HIDDEN	HIDDEN	HIDDEN	HIDDEN
Syöttö1	164.TOTFLOW	kg/hr	Specified	64076	64076	64076	64076	64076
Syöttö2	1165.TOTFLOW	kg/hr	Specified	269868	269868	269868	269868	269868
DA-75001 höyryst.	8166.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	13980	13980	13980	13980	13980
DA-75002 höyryst.	9509D.STR_MAIN	kg/hr	Calculated	172723	172723	172906	172906	172906
Höyrystymisaste 1				0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Höyrystymisaste 2				0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
Syöttö asetus				<b>333944</b>	<b>333944</b>	<b>333944</b>	<b>333944</b>	<b>333944</b>