

**AN MILP MODEL FOR HEAT EXCHANGER NETWORK DESIGN OF A
CRUDE REFINERY WITH MULTIPLE TYPES OF CRUDE**



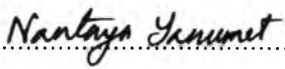
Suppanit Srathongniam

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University
in Academic Partnership with
The University of Michigan, The University of Oklahoma,
Case Western Reserve University and Institut Français du Pétrole
2008

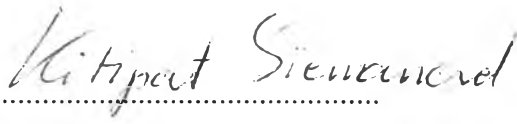
512014

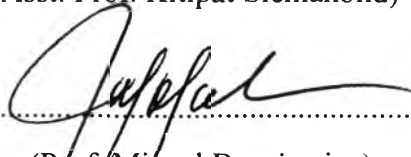
Thesis Title: An MILP Model for Heat Exchanger Network Design of a
Crude Refinery with Multiple Types of Crude
By: Suppanit Srathongniam
Program: Petroleum Technology
Thesis Advisors: Asst. Prof. Kitipat Siemanond
Prof. Miguel Bagajewicz

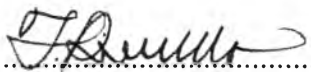
Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn
University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of
Science.

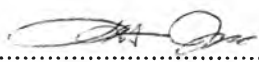

..... College Director
(Assoc. Prof. Nantaya Yanumet)

Thesis Committee:


.....
(Asst. Prof. Kitipat Siemanond)


.....
(Prof. Miguel Bagajewicz)


.....
(Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon)


.....
(Dr. Thana Sornchamni)

บทคัดย่อ

ศุภนิศย์ สระทองเนียม: แบบจำลอง MILP เพื่อการออกแบบเครือข่ายแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงกลั่นเพื่อรองรับใช้งานกับน้ำมันดิบหลายชนิด (An MILP Model for Heat Exchanger Network Design of a Crude Refinery with Multiple Types of Crude) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. กิติพัฒน์ สีมานนท์ และ ศ. ดร. มิเกล บากาเฮวิช 176 หน้า

เนื่องจากราคาของน้ำมันที่สูงขึ้นในปัจจุบัน การลงทุนในภาคธุรกิจต่างๆ จึงมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นการลดการใช้พลังงานก็เป็นปัจจัยหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม หนึ่งในวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานในโรงกลั่นน้ำมันก็คือการออกแบบเครือข่ายแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีประสิทธิภาพ ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นปรับปรุงการใช้พลังงานในโรงกลั่น ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกัน ส่วนแรกเป็นการหาค่าศักยภาพในการลดการใช้พลังงานของโรงกลั่นและใช้แบบจำลองเพื่อที่จะออกแบบเครือข่ายแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับโรงกลั่น จากการตรวจสอบจาก Composite curve พบว่าเครือข่ายแลกเปลี่ยนความร้อนของโรงกลั่นใช้พลังงาน 67,536 กิโลวัตต์ และ 9,818 กิโลวัตต์สำหรับพลังงานความร้อนและความเย็นตามลำดับ จุดพินช์ของโรงกลั่นอยู่ที่ 305 องศาเซลเซียสถึง 271.5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าของความแตกต่างของอุณหภูมิที่น้อยที่สุดของโรงกลั่นมีค่าเท่ากับ 33.5 องศาเซลเซียส ผลที่ได้จากการใช้แบบจำลองในการออกแบบเครือข่ายความร้อนพบว่ามีค่าการใช้พลังงานความร้อนเท่ากับ 59,944.74 กิโลวัตต์และพลังงานความเย็นเท่ากับ 2,152.14 กิโลวัตต์ และมีจำนวนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 43 เครื่อง

ในส่วนที่สอง จะนำเอาแบบจำลองมาออกแบบเครือข่ายความร้อนและใช้น้ำมันดิบหลายชนิดซึ่งประกอบด้วยน้ำมันดิบ Arabian light, Rebco และ Syrian ในการออกแบบ และจะใช้โปรแกรมโปรทู (PRO II Software) ในการตรวจสอบเครือข่ายที่ได้จากกาออกแบบโดยแบบจำลองอีกครั้ง และหลังจากนั้นจะนำผลที่ได้มาหาเครือข่ายแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีที่สุดที่สามารถใช้ได้กับน้ำมันดิบทั้งสามชนิดนี้

ABSTRACT

4973007063: Petroleum Technology Program
Suppanit Srathongniam: An MILP Model for Heat Exchanger
Network Design of a Crude Refinery with Multiple Types of Crude.
Thesis Advisors: Asst. Prof. Kitipat Siemanond, and
Prof. Miguel Bagajewicz 176 pp.
Keywords: Heat Exchanger Network/ Mixed Integer Linear Programming/
Distillation Unit

Because of the increase of oil prices, capital investment in industry in general has become dramatically higher. It is apparent that energy usage reduction is one factor in decreasing such operating costs in the industrial sector. One of the most effective ways to reduce energy usage in a refinery is to design efficient heat exchanger networks (HENs). This study improved the energy consumption of refinery unit. The procedure was divided into two parts. First, the retrofit potential of refinery was studied in order to find scope of energy saving by pinch analysis and grassroots model of GAMS was applied to design the heat exchanger network for a crude refinery. To check the retrofit potential of the crude refinery, a composite curve was used to confirm the utility consumption. The result showed that the existing network consumed 67,536 kW and 9,818 kW of hot and cold utility, respectively, and pinch point was located at 305°C to 271.5°C where ΔT_{\min} is 33.5°C. The result from the grassroots design gave 59,944.74 kW of hot utility usage and 2152.41 kW of cold utility usage with 43 new heat exchangers.

Second, the grassroots design of HENs with multiple types of crude—Arabian light, Rebco and Syrian crude—was done and validated by PRO II software to find the optimal network of refinery.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been a very good experience. It would not have been successful without the assistance of the following individuals and organization.

First, I gratefully acknowledge Prof. Miguel Bagajewicz, and Asst. Prof. Kitipat Siemanond, my advisors, for several enlightens suggestions, discussions, and encouragement throughout the course of my work. This thesis would never have been completed without their consistent help and also Mr. Andres Babaro for supporting grassroots model. This thesis work is partially funded by the National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, Chulalongkorn University.

I deeply indebted to ARC for supporting data, useful recommendation and encouragement throughout this work.

I would also thank Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon, and Dr. Thana Sorn chamni my thesis committee, for their well-intentioned suggestions and comments is greatly acknowledged.

I would like to take this opportunity to thank all The Petroleum and Petrochemical College's staffs who supported me throughout my thesis works and finally forward my special thanks to my friends and all senior students for their friendly help, cheerfulness and suggestions.

TABLE OF CONTENTS

	PAGE
Title Page	i
Abstract (in English)	iii
Abstract (in Thai)	iv
Acknowledgements	v
Table of Contents	vi
List of Tables	ix
List of Figures	xi
Abbreviations	xiv
CHAPTER	
I INTRODUCTION	1
II LITERATURE REVIEW	3
2.1 The Atmospheric Distillation Unit	3
2.2 Heat Exchanger Network Synthesis	4
2.2.1 Minimum Utility Cost Target	5
2.2.2 Minimum Number of Units Target	6
2.2.3 Minimum Investment Cost Network Configurations	7
2.3 Mathematical Programming Models	10
2.4 Model for Grassroots synthesis	11
2.5 Mathematical Model	12
2.5.1 Set Definitions	12
2.5.2 Heat Balance Equations	15
2.5.3 Heat Exchanger Definition and Count	19
2.5.4 Heat Transfer Consistency	26
2.5.5 Flow Rate Consistency within Heat Exchangers	30
2.5.6 Temperature Difference Enforcing	34

CHAPTER	PAGE
2.5.7 Heat Exchanger Area Calculation	37
2.5.8 Number of Shells	38
2.5.9 Objective Function	39
III METHODOLOGY AND PROCEDURE	40
3.1 Materials and Equipment	40
3.1.1 GAMS	40
3.1.2 SIMSCI (PROII)	40
3.2 Procedure in Application with Refinery	40
3.2.1 Pinch Analysis and Retrofit by pinch analysis	40
3.2.2 Grassroots Model Design for Heat Exchanger Network	40
3.3 Procedure in Study with Multiple Types of Crude	40
3.3.1 Simulation of Base Case Refinery	40
3.3.2 Grassroots Model Design Heat Exchanger Network	40
3.3.3 Validation of New Heat Exchanger Network by PROII Software	41
3.3.4 Simulation Network with Different Crude Oil Types	41
3.3.5 Optimization by GAMS software	41
IV RESULTS AND DISCUSSION	42
4.1 Review Historical Operation of Refinery Plant	42
4.2 Operating data of Refinery Plant Performance	45
4.3 Retrofit Potential	50
4.4 Retrofit by Pinch Analysis	54
4.5 Grassroots Model by Mathematical Programming	58
4.5.1 Grassroots Model 1	58
4.5.2 Grassroots Model 2	61

CHAPTER	PAGE
4.6 Heat Exchanger Network Design of a Crude Refinery with Multiple Types of Crude	65
4.6.1 Heat Exchanger Network Design of a Crude Refinery with Light Arabian Crude	67
4.6.2 Heat Exchanger Network Design of a Crude Refinery with Rebco Crude	73
4.6.3 Heat Exchanger Network Design of a Crude Refinery with Syrian Crude	79
4.7 The Optimization to Find the Best Network for Handling Different Crude Types	86
4.7.1 Example of master plan in operation in crude refinery	87
V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	88
REFERENCES	89
APPENDICES	93
Appendix A Heat Accumulate in Interval of Hot Streams for Constructing Composite Curve	93
Appendix B Heat Accumulate in Interval of Hot Streams for Constructing Composite Curve	98
Appendix C The Data Parameter and Source Code in Grassroots Model	103
Appendix D Summary Report of HEN1	163
Appendix E Summary Report of HEN2	167
Appendix F Summary Report of HEN3	171
Appendix G Sensitivity Analysis on Number of Heat Exchanger	175

CHAPTER	PAGE
Appendix H Calibration of Grassroots GAMS Model with Base Case Condition ($Q_h = 68316$ kW and $Q_c = 10,523$ kW)	178
CURRICULUM VITAE	181

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
2.1	Values of $Y_{ijm}^{z,H}$, $K_{ijm}^{z,H}$ and $\hat{K}_{ijm}^{z,H}$ variables when $(i,j) \notin B$	22
2.2	Values of $Y_{ijm}^{z,H}$, $K_{ijm}^{z,H}$ and $\hat{K}_{ijm}^{z,H}$ variables when $(i,j) \in B$	23
2.3	Values of variables $K_{ijm}^{z,H}$, $\hat{K}_{ijm}^{z,H}$, $Y_{ijm}^{z,H}$ and $\tilde{q}_{ijm}^{z,H}$ when $(i,j) \in B$	27
4.1	Heat exchanger data of ARC atmospheric distillation unit (data sheet)	45
4.2	Hot and cold streams data of ARC atmospheric distillation unit (From design data of ARC refining)	46
4.3	Hot and cold streams data from validation by heat balance calculation	48
4.4	The result from shifted composite curve in various ΔT_{\min}	53
4.5	The result of retrofit potential by pinch analysis	57
4.6	Cost data for model 1	58
4.7	The result of model 1 from GAMS	58
4.8	The result of model 1	59
4.9	Cost data for model 2	61
4.10	The result of model 2 from GAMS	61
4.11	Hot and cold streams data from grassroots mode2	62
4.12	The crude true boiling point (TBP)	65
4.13	Product Specifications	66
4.14	Gap Specifications	66
4.15	Stream properties of Light Arabian crude by PRO II	69
4.16	Pump around details of Light Arabian crude by PRO II	69
4.17	Stream details list for using in grassroots model	70
4.18	Stream properties of Rebco crude by PRO II	75
4.19	Pump around details of Rebco crude by PRO II	75
4.20	Stream details list for using in grassroots model	76

TABLE	PAGE
4.21 Stream properties of Syrian crude by PRO II	81
4.22 Pump around details of Syrian crude by PRO II	81
4.23 Stream details list for using in grassroots model	82
4.24 Variation of crude oil type in each heat exchanger network (HEN)	85
4.25 The 5 years master plan in many scenarios of operation	87

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1 Process Flow Scheme of an atmospheric distillation unit	3
2.2 Basic scheme of the transportation/transshipment model	13
2.3 A case where more than one heat exchanger unit is required for a match (i,j)	15
2.4 Non-isothermal split mixing	17
2.5 Heat exchanger definition when $(i,j) \notin B$	21
2.6 Heat exchanger definition when $(i,j) \in B$	23
2.7 Heat transfer consistency example when $(i,j) \in B$	26
2.8 Integer cut for heat exchanger end when $(i,j) \in B$	29
2.9 Flow rate consistency equations	30
2.10 Temperature difference assurance when splits are not allowed	34
2.11 Temperature difference assurance when splits are allowed	35
2.12 Temperature difference assurance at the hot end of an exchanger - $i \in S^H, j \in S^C, (i,j) \notin B$	36
4.1 The process flow scheme of ARC atmospheric distillation unit	44
4.2 The initial grid diagram of hot and cold matching streams data (from validation by heat balance calculation).	49
4.3 The composite curve of existing network ($\Delta T_{\min} = 33.5 \text{ }^\circ\text{C}$)	50
4.4 The composite curve of existing network when $\Delta T_{\min} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	51
4.5 The composite curve of existing network when reduce $Q_C=0 \text{ kW}$	52
4.6 The grand composite curve of existing network	53
4.7 The grid diagram of base case refinery and pinch point	55
4.8 The grid diagram of retrofit by pinch analysis	56
4.9 The grid diagram of grassroots model 1 from Table 4.6	60
4.10 The grid diagram of grassroots model 2 from Table 4.9	64
4.11 True boiling point (TBP) Curve at 760 mmHg.	65

FIGURE	PAGE
4.12 The base case refining with feed of Light Arabian crude	68
4.13 The result from grassroots model of Light Arabian crude by GAMS	70
4.14 The validation network (HEN1) by PRO II	72
4.15 The base case refinery with feed of Rebco crude	74
4.16 The result from grassroots model of Rebco crude by GAMS	76
4.17 The new network (HEN2) by PRO II	78
4.18 The base case refinery with feed of Syrian crude	80
4.19 The result from grassroots model of Syrian crude by GAMS	82
4.20 The new network (HEN3) by PRO II	84