

**THE OPTIMAL DESIGN OF CHEMICAL PLANT
CONSIDERING UNCERTAINTY AND
CHANGING CIRCUMSTANCES**

ABHANDLUNG

zur Erlangung

des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN

HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

GERASSIMOS MARKETOS

Dipl. Ing. Chem. (ETH Zürich)

geboren am 11. September 1946

Athen, Griechenland

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. D. W. T. Rippin, Referent

Prof. Dr. M. Rössler, Korreferent

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird der optimale Entwurf chemischer Anlagen behandelt. Eine neue Entwurfsmethode, und ein darauf basierendes Computerprogramm werden entwickelt. Das neue Verfahren, das anhand einiger Beispiele mit aus der Literatur entnommenen Methoden verglichen wird, hat die zentrale Eigenschaft, dass das Entscheidungskriterium für die Planung die Leistung des Projektes während des ganzen Zeitraumes seiner Existenz miteinbezieht. Es werden somit Anlagen entworfen, mit denen durch betriebliche Manipulationen, oder geeignete Umstellungen und Ersetzungen zeitabhängige Nachfragen unter Berücksichtigung von möglicherweise zeitabhängigen Randbedingungen optimal erreicht werden können.

Berücksichtigt werden auch Einflüsse von stochastischen Parametern deren Werte erst einige Zeit nach Inbetriebnahme der Anlage realisiert werden. Die Leistung der Anlage lässt sich durch verschiedene nicht-lineare Funktionen definieren. Ebenso kann eine grosse Auswahl von Wirtschaftlichkeitskriterien behandelt werden. Aufgrund der Wahrscheinlichkeitsverteilung des gewählten Wirtschaftlichkeitskriterium wird das Entscheidungskriterium bestimmt, auf dem die Optimierung beruht.

Das vorgeschlagene Verfahren führt zum Entwurf von Anlagen, die eine grössere Flexibilität bezüglich vorhersagbarer Situationen aufweisen. Das gewählte Entscheidungskriterium kann ein Spektrum von möglichen zukünftigen Ereignissen berücksichtigen und gewichten. Für jedes mögliche Ereignis wird der Betrieb einer Anlage optimiert und, wenn nötig, werden optimale Erweiterungen oder / und Modifikationen berechnet.

Es muss betont werden, dass das entwickelte Computerprogramm noch nicht reif ist für die routinemässige Anwendung bei Planungsverfahren. Die Gründe dafür liegen hauptsächlich in den wenig effizienten numerischen Methoden, die angewendet werden (teilweise willkürlich ausgelesen), wodurch lediglich kleine hypothetische chemische Anlagen optimal entworfen werden können. Ferner ist es, ausgehend vom erreichten lokalen Optimum, immer noch schwierig festzustellen, ob es sich um das globale Optimum handelt.

Trotzdem wurde das Hauptziel der Arbeit (d.h. die Quantifizierung von Vorteilen, die die neue Methode bringt) erreicht. Es konnte z.B. gezeigt werden, dass die relativen Grössen der einzelnen Einheiten einer Anlage bei zeitlich sich ändernden Nachfragen anders ausfallen, als bei allen möglichen zeitunabhängigen Nachfragen. Gezeigt wurde auch, dass die mit den stochastischen Parametern verbundenen Unsicherheiten die optimalen Dimensionen der einzelnen Einheiten nicht proportional beeinflussen, sondern dass deren optimale Dimensionen Funktionen sind, und zwar (a) der Kosten der Ueberdimensionierung der Einheiten, (b) der Wahrscheinlichkeit, dass die entsprechende Einheit ein Engpass bei der Produktion darstellt, (c) der Kosten einer eventuellen Erweiterung und (d) aller in die Berechnung eingehenden Parameter. Die oben erwähnten Funktionen konnten nicht auf einfache Weise ermittelt werden.

Der grundlegendste Fortschritt des entwickelten Verfahrens gegenüber den herkömmlichen liegt darin, dass es die möglichen zukünftigen Kosten, die sich aus einer unsicheren Umwelt ergeben, voll berücksichtigt.

ABSTRACT

The optimal design of chemical plant is treated and a new design method is developed and implemented in a general-purpose computer program. This new procedure is evaluated against previously proposed methods in a number of examples. The central feature of the work is that the design criterion is evaluated taking account of the whole life-time performance of the plant. The plant is thus designed to meet time-varying demands or constraints in an optimal way either by adjustment of operating variables or by appropriate modification or replacement of equipment. The quantitative treatment also includes the effect of design uncertainties which are resolved after a definite period of plant operating experience has been gained. The plant performance can be defined by arbitrarily complex non-linear relationships, and a wide variety of economic optimisation criteria can be handled. Furthermore, the probability distribution of a chosen economic criterion can be used to determine probabilistic criteria for guiding the overall optimisation.

The proposed procedure leads to the design of more flexible plants that can be more readily operated (or modified) to accommodate or exploit foreseeable situations. The overall criterion of optimisation takes account of a possible continuum of alternative future events and is weighted accordingly. For each such outcome, the procedure optimises the operation of the process and also, if necessary, incorporates optimal expansions or modifications.

It should be emphasized that it is not yet practicable to apply the design procedure routinely. The reasons for the limited range of application lie primarily in shortcomings of a numerical nature. Thus the efficiency of the (somewhat arbitrarily chosen) numerical methods is not sufficient to design optimally more than small hypothetical chemical plants. Furthermore, there are still difficulties in ensuring that a global

optimum has been achieved. However, the objective of the study was to quantify the potential benefits that this new design procedure may confer. In this respect a large measure of success has been achieved, for example it has been found that in meeting varying market demands, the relative sizes of units in the optimal plant did not correspond to the relative sizes for a plant designed to meet any fixed market conditions. Similarly uncertainty did not affect the optimal unit sizes proportionately. The units were sized taking account of the relative cost of oversizing, the relative chances of the unit becoming a "bottleneck" and the relative costs of "de-bottlenecking" the unit. This relative sizing was arrived at in a manner that could not be reproduced by any simple method of hand-calculation.

In that the proposed design procedure takes full account of possible future running costs in an uncertain environment, it constitutes the basis of a significant advance over currently employed procedures.