ETH zürich

ETH Library

Analyse des Energieverbrauchs eines Mehrprodukte-Batch-Betriebs

Fallbeispiel Reaktivfarbstoffproduktion

Doctoral Thesis

Author(s):
Blickenstorfer, Christoph

Publication date:
1999

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-003838694

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. ETH Nr. 13411

Analyse des Energieverbrauchs eines Mehrprodukte-Batch-Betriebs

Fallbeispiel Reaktivfarbstoffproduktion

Abhandlung
Zur Erlangung des Titels
Doktor der Technischen Wissenschaften
der
Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

vorgelegt von
Christoph Blickenstorfer
Dipl. Chem.-Ing. ETH
geboren am 3. Juni 1970
von Rüschlikon ZH

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. K. Hungerbühler, Referent
Prof. Dr. D. Spreng, Korreferent

Zürich, 1999

Zusammenfassung

Die steigende Umweltbelastung durch das Verbrennen von fossilen Brennstoffen zur Energiegewinnung hat den Ruf nach einer effizienten Nutzung dieser Energie verstärkt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine detaillierte Energieanalyse in einem für die Reaktivfarbstoffproduktion konzipierten Mehrprodukte-Batch-Betrieb (Synthese von ca. 160 chemischen Verbindungen über jeweils mehrere Verfahrensstufen) durchgeführt.
Auf der Basis einer hierarchischen Strukturierung des untersuchten Mehrprodukte-Batch-Betriebs aufgrund seiner technischen bzw. prozessspezifischen Natur wurden Energieverbrauchsmodelle für Dampf, Strom und Eis mit zwei verschiedenen Detaillierungsgraden entwickelt (Grobmodell auf Gebäudeebene und Detailmodell auf Prozessebene). Anhand dieser Modelle wurde untersucht, welcher Anteil der in der Produktion verbrauchten Energie in der Phase der Forschung und Entwicklung (F&E) durch das Produkt- bzw. Prozessdesign beeinflusst werden könnte.

Das Resultat der Grobanalyse ist ein empirisches Energieverbrauchsmodell für den Dampf-, Strom- und Eisbedarf im Synthesegebäude. Dieses basiert auf einem produktionsmengenunabhängigen Basisenergieverbrauch und einem Energieverbrauch, der eine Funktion der Produktionsmenge ist, aber keine Produktedifferenzierung vornimmt. Dieses empirische Energieverbrauchsmodell erlaubt für eine geplante herzustellende jährliche Chemikalienmenge den Energiebedarf des Synthesegebäudes zu prognostizieren und zwar aufgeteilt in die folgenden Anlagen: Batch-Produktion, kontinuierliche Produktion, Eisproduktion, Produktions- und Gebäudeinfrastruktur. Bei einer Jahresproduktion von beispielsweise 14000 Tonnen Chemikalien ist beim Dampfbedarf der Anteil des Basisverbrauchs 53%, beim Strombedarf 37%. Die Eiserzeugung ist die einzige Anlage im Synthesegebäude, die keinen Basisstromverbrauch hat. Der mengenabhängige Eisverbrauch pro Tonne hergestellte Chemikalien beträgt 2500 kg/t.

Anhand einer detaillierten Eis- und Stromverbrauchsanalyse für die Batch-Produktion war es möglich, für ausgewählte Prozesse Energieverbrauchsmodelle zu entwicklen, die neben dem empirisch bestimmten und produktunabhängigen (aber vom Produktionsgebäude abhängigen) Betriebsterm auch Variablen wie Reaktionszeit, Temperatur, Ansatzgrösse usw. und damit die Individualität der herzustellenden Chemikalien berücksichtigen.
Die detaillierte Eisanalyse ergab, dass aufgrund von Eisverlusten und Prozessabweichungen durchschnittlich 19% mehr Eis verbraucht wird (produktunabhängigem Betriebsterm), als in den Betriebsvorschriften (BVO) angegeben ist. Die Berechnung des Eisbedarfs (für ausgewählte Farbstoffe) ergab, dass pro Partie durchschnittlich 50% des Eisbedarfs auf das Abkühlen der Reaktionslösung auf die gewünschte Starttemperatur entfallen. Die restlichen Eismenge wird benötigt, um die Reaktionslösung während der exothermen Reaktion auf einer tiefen Reaktionstemperatur zu halten.
Bei der detaillierten Stromanalyse für die Kondensation im R-Kessel (Farbstoffe mit Cyanurfluorid (CF) als Reaktivanker) stellte sich heraus, dass für diese Prozessstufe der empirische farbstoffunabhängige Betriebsterm (umfasst Prozessoperationen wie Vorlegen und Transfer bzw. Prozessabweichung sowie Sicherheitsmassnahmen) mindestens doppelt so gross ist wie der berechnete Strombedarf der Prozessoperation Reaktion. Wird noch der Basisstrombedarf dieser Prozessstufe berücksichtigt, so beträgt der Anteil der Reaktion 14% am gesamten Strombedarf der Kondensation im R-Kessel.
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für eine Energiebedarfsprognose auf Jahresbasis keine Produktedifferenzierung vorgenommen werden muss, da sich aufgrund der grossen Anzahl produzierter Chemikalien (und Partien) pro Jahr die Extremwerte ausgleichen. Für eine Allokation des Energiebedarfs auf individuelle Produkte sind aber detailliertere Energieverbrauchsmodelle notwendig, da die Verfahrensunterschiede gross sind.

Für das analysierte Fallbeispiel mit gegebener Technologie und Produktportfolio kann gesagt werden, dass sich die Optimierung des Energiebedarfs im Synthesegebäude durch das Produkt- bzw. Prozessdesign vor allem dann lohnen, wenn eine positive Korrelation zwischen der Produktionsmenge und dem Energiebedarf besteht und wenn zusätzlich der Anteil des Basisverbrauchs gering ist.
Dies trifft vor allem auf den Eisbedarf zu, bei dem 84% auf Einflussgrössen basieren, die in der Forschung und Entwicklung festgelegt werden.
Bei der Batch-Produktion hat die Analyse des Strombedarfs der Prozessstufe Kondensation mit CF im R-Kessel gezeigt, dass eine kürzere Reaktionszeit zu keiner signifikanten Reduktion des gesamten Strombedarfs dieser Prozessstufe führen würde.
Beim Dampfbedarf hat der Basisverbrauch aller Anlagen einen hohen Anteil am gesamten Dampfverbrauch, so dass es sich eher lohnt, zuerst mit Massnahmen zur Energieeffizienzsteigerung im Betrieb zu beginnen oder den Einsatz von neuen Technologien zu evaluieren.

Die obige Diskussion über den Einfluss der F&E auf die Energieeffizienz in der Batch-Produktion gilt unter der Voraussetzung eines gegebenen Produktionsgebäudes. Wird aber davon ausgegangen, dass zur Herstellung eines gewünschten Produktportfolios ein neues Produktionsgebäude entwickelt wird, so kommt einerseits der Wahl dieses Produktportfolios (z.B. CF als Reaktivanker) eine entscheidende Bedeutung zu, da dies gewisse Prozessstufen und eine bestimmte Produktionsinfrastuktur (z.B. spezielle Sicherheitsvorkehrungen) bedingt. Andererseits kann für ein zu entwikkelndes Produktionsgebäude durch Optimierung der Produktions- und Gebäudeinfrastruktur der Energieverbrauch vermindert werden.

Abstract

The increasing environmental impact due to the burning of fossil fuels for energy extraction asks for an efficient use of the released energy. In this project a detailed energy analysis was performed for a multiproduct batch plant (synthesis of up to 160 reactive dyes, each comprising several process stage.
Through a hierarchical decomposition of the analysed multiproduct batch plant, based on a technical and a process specific view, energy consumption models considering two different levels (basic models on a building level and detailed models on a process level) were developed for steam, electricity, and ice consumption. Based on these two types of models it was investigated which share of the consumed energy could be influenced trough product and process design during research and development.

The result of the first basic analysis was an empirical energy consumption model for steam, electricity and ice on a building level. This model consider a base load (independent of produced amount of chemicals) and an energy consumption term which is a function of the produced amount of chemicals (but does not differentiate between products). Based on a planned annual chemical production this empirical model allow to predict the required amount of energy subdivided into the following six subsystems of the analysed production plant: batch-production, continuous production, ice production, production infrastructure and building infrastructure. For an annual production of, e.g., 14000 tons of chemicals the base load of the steam consumption is 53% and the one of the electricity consumption 37%. Ice production is the only system without a significant base load. Per ton of chemical produced 2500 kg ice are consumed.

Based on a detailed ice and electricity consumption analysis for the subsystem batch production and selected processes detailed energy consump-

tion models, which allow to allocate energy consumption to each product, were developed. These models consider on the one hand an empirical production term which is independent of an individual product but depends on the production location. On the other hand, through the consideration of recipe information the individuality of each product is taken into account.
The detailed ice analysis showed that, due to process variation and ice losses, generally 19% more ice is produced (product independent production term) than is mentiond in the recipe. The calculation of the ice requirement for selected reactive dyes indicated that around 50% of the calculated ice consumption is caused by cooling down the solution to the requested starting temperature. The other 50% are required for keeping the solution at a low temperature during the exothermic reaction.
The detailed electricity analysis for the process stage condensation with cyanuric fluoride (CF) showed that electricity consumption based on the product-independent production term (including process operations such as loading, unloading, waiting, but also process variation and safety precautions) is about twice as high as the calculated electricity consumption for the process operation reaction. If the base load for this process stage is taken into account the reaction has only a share of 14% of the total electricity consumption of the condensation with cyanuric fluoride.
For the prediction of an annual energy requirement it is not necessary to distinguish between different chemicals because of the high number of chemicals produced per year and leading to a compensation of high and low values. For an allocation of the energy consumption to individual chemicals, detailed energy consumption models are required.

For the analysed multiproduct batch plant with a fixed technology and product portfolio, an optimisation of energy efficiency via product and process design seems to be effective only if there is, on the one hand, a strong positive correlation between energy consumption and the produced

amount of chemicals, and if, on the other hand, the base load has a low share of the total amount of energy required.
In the first place this would be for the ice requirement, where 84% of the ice consumption is fixed by decisions made during research and development.
The analysis of the electricity consumption of the process stage condensation with cyanuric fluoride has shown that a shorter time of reaction would have no significant effect on the overall electricity requirement of the analysed process stage.
Because of the high base load in steam consumption, it seems more promising to optimise for an efficient use of steam in the production building or evaluating new technologies instead of evaluating a changes in process design.

The whole discussion about the importance of the product and process design based on the condition of an existing production site. If it is under consideration to build a new production plant for a desired product portfolio, then the selection of this portfolio is of critical importance because this leads to main process stages and a certain production infrastructure (e.g. safety aspects). Furthermore, energy efficiency of the required production and building infrastructure can be optimised for a new production plant.