

# **Energy Use in a large Kenyan Dairy Factory**

**A DISSERTATION**

submitted to the

**SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY**

**ZURICH**

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by

**MICHAEL W. OKOTH**

B. Sc. (Chem.Eng.), M.Sc.(Fd.Sci.& Technol.)  
born on 5 February 1955  
citizen of Kenya

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. F. Emch, examiner  
Dr. P. Muench, co-examiner  
Dr. h.c. W. Schulthess, co-examiner

Zurich 1990

## ABSTRACT

Kenya is a non-oil producing developing country which imports about 80% of her so-called commercial energy requirements. In 1985, for instance, the net oil import cost amounted to 32% of the total cost of the non-oil imports and 39% of the total non-oil export earnings. Nearly 20% of the total electrical energy consumption is either imported from Uganda or generated using imported oil. The industrial sector accounted for 30.5% of the total oil and 53.5% of the total electrical energy consumed in 1983. Food processing occupies a prominent position in this sector and is one of the fastest growing industrial activities. Within the food industry, an extensive network of milk processing plants handled 356'000 tonnes of milk in 1987. The cost of energy and water in milk processing accounts for about 8% of the total operating costs (excluding the cost of raw milk and cream).

The present study sought to analyse energy and water consumption in one Kenyan dairy plant, which primarily produces skim-milk powder and butter, with a view to determining the conservation potential. The plant has a processing capacity of 150 tonnes of milk per day. No milk powder is, however, produced in the dry season since the liquid milk is pasteurised and taken elsewhere for packaging. The dairy plant utilises fuel oil and electricity as energy sources. Fuel usage for transportation was not considered. Water is supplied by the local Municipal Council and has to be paid for on the basis of the volume consumed per month. Between 1981 and 1988, energy and water consumption accounted for an average of 22% of the total operating cost.

In 1988, fuel oil consumption averaged 595 MJ per tonne milk intake when there was no milk powder production and 2230 MJ per tonne milk intake during the milk powder production season. Electrical energy consumption averaged 170 MJ per tonne milk intake when there was no milk powder production and 244 MJ per tonne milk intake during milk drying. Water consumption in 1988 averaged 4.4 kg per kg milk intake when there was no drying and 7.0 kg per kg milk intake during the drying season.

Boiler efficiency was 83.7% during the drying season but dropped to 73.3% when there was no milk powder production. Thermal energy losses by convection and radiation from the steam distribution pipes amounted to 1.1% of the total thermal energy (steam) production during the drying season but increased to 3.2% when there was no milk powder production. Steam leakage was at times considerable, but it was not quantified.

The milk pasteuriser operated at 95% regeneration with simultaneous cream separation. Exclusive of cleaning, thermal energy consumption averaged 29.6 kJ per kg raw milk initially but later increased to 33.5 kJ per kg raw milk when the automatic control system broke down. Steam required for cleaning the plate heat exchanger increased from 16% of the daily consumption under automatic control to 41% under manual control.

The plate heat exchanger for heat treatment of cream operated at 70% regeneration and had an average thermal energy consumption of 290 kJ per kg cream during processing. Process control was manual and was generally very poor. On average, 59% of the daily thermal energy consumption was used for either cleaning or water heating for disinfection.

Exclusive of cleaning, the milk evaporator consumed 0.27 kg steam per kg water evaporated (670 kJ/kg water evaporated). The total consumption, including cleaning, was 0.43 kg steam per kg water evaporated.

Excluding cleaning, which was infrequent, the spray drier consumed 2.6 kg steam per kg water evaporated (7131 kJ per kg water evaporated).

Can washing consumed 13.3 kg steam per tonne milk intake (36.4 kJ/kg milk).

Apart from cleaning of cans, evaporator, plate heat exchangers for milk and cream, hot water used for general cleaning accounted for 9% of the total steam production during the milk drying season and 45% of the total steam production when there was no drying of milk.

Energy and water flow to various sections of the factory was determined. During the milk drying season, 74% of the total thermal energy production went to the evaporation and drying section. During this season, 49% of the electrical energy consumed went to the evaporation and drying section while 31% went to the refrigeration system. When there was no milk powder production, the refrigeration system alone accounted for about 68% of the total electrical energy consumed. The major consumer of water during the drying season was the evaporation section (50%). Cleaning accounted for about 62% of the total water consumed when there was no milk powder production.

There is considerable potential for saving energy and water in the factory. Appropriate energy and water saving measures are recommended. Suggested targets would result in savings of 38%, 41% and 45% for fuel oil, electricity and water, respectively, when there is no milk powder production and 28%, 39% and 43%, respectively, during the milk drying season.

## ZUSAMMENFASSUNG

Kenya erzeugt kein Erdöl und importiert rund 80% seines kommerziellen Energiebedarfes. 1985 machte die Oeleinfuhr 32% des Wertes seiner Nicht-Oel-Importe und 39% aller Erträge der gesamten Nicht-Oel-Exporte aus. Fast 20% der landesweit verwendeten elektrischen Energie stammen aus Uganda oder werden im Land aus eingeführtem Erdöl erzeugt. Der industrielle Sektor, die Lebensmittelverarbeitung ist einer seiner schnellst wachsenden Bereiche, benötigte 1983 30,5% des Landesbedarfes an Oel und 53,5% jenes an Elektrizität. 1987 nahm ein ausgebautetes Netz von Molkereien insgesamt 356000 Tonnen Milch auf. Bei deren Verarbeitung entfielen 8% der gesamten Prozesskosten, ohne Milch und Rahm gerechnet, auf Energie und Wasser.

Die vorliegende Untersuchung erhebt den Energie- und Wasserbedarf einer kenyanischen Molkerei, welche insbesondere Magermilchpulver und Butter erzeugt. Das Potential zur Energieerhaltung soll festgestellt werden. Das Werk hat eine Verarbeitungskapazität von 150 Tonnen Milch pro Tag. In der trockenen Jahreszeit wird kein Milchpulver erzeugt, weil alle anfallende Milch pasteurisiert und anderswo verpackt wird. Die Anlage benutzt Erdöl und Elektrizität als Energiequellen. Der Treibstoffbedarf für Transporte ist nicht einbezogen. Wasser wird von der Stadtbehörde bezogen und auf Volumenbasis verrechnet. Zwischen 1981 und 1988 machten der Energie- und Wasserverbrauch im Mittel 22% der gesamten Verarbeitungskosten aus.

In den Monaten ohne Milchpulvererzeugung des Jahres 1988 betrug der Aufwand an Heizöl im Mittel 595 MJ pro Tonne angelieferter Milch. Arbeitete der Sprühtrockner, stieg der Wert auf 2230 MJ. In der Jahreszeit ohne Milchpulverproduktion waren 170 MJ elektrischer Energie pro Tonne Milch erforderlich. Erfolgte Milchtrocknung, waren 244 MJ pro Tonne angelieferter Milch aufzubringen. Der Wasserbedarf betrug im Mittel 4,4 kg ohne und 7,0 kg pro kg angeführter Milch mit Magermilchpulvererzeugung.

Der Wirkungsgrad der Dampfkessel betrug 83,7% während der Periode der Milchpulvererzeugung und fiel auf 73,3% bei reiner Flüssigmilchverarbeitung. Auch die Verluste durch Konvektion und Strahlung des Dampf-Verteilnetzes stiegen von rund 1,1% der thermischen Energie im Dampf während der Trocknungsperiode auf 3,2% in der Zeit ohne Sprühtrocknung. Zeitweise war der direkte Dampfverlust aus dem Netz beachtlich, er liess sich aber nicht direkt erfassen.

Der Milchpasteurisateur arbeitete mit 95% Rückgewinnung, wenn gleichzeitig Rahm abzentrifugiert wurde. Für Reinigungszwecke entstand anfänglich pro kg Rohmilch ein Bedarf von 29,6 kJ an thermischer Energie. Dieser Wert stieg auf 33,5 kJ, als das automatische Regelsystem ausfiel. Dadurch stieg der Dampfanteil

für die Reinigung des mit automatischer Regelung arbeitenden Plattenwärmeaustauschers von 16% des Tagesbedarfes auf 41% bei manueller Führung.

Der Plattenwärmeaustauscher für die Hitzebehandlung von Rahm arbeitete bei 70% Rückgewinnung und benötigte während des Prozesses 290 kJ pro kg verarbeiteten Rahmes. Die Prozessregelung erfolgte manuell und war allgemein sehr schlecht. Im Mittel wurden 59% der täglich benötigten thermischen Energie für die Reinigung und zur Erhitzung von Wasser zu Desinfektionszwecken aufgewendet.

Der Milcheindampfer benötigte für Verarbeitung und Reinigung insgesamt 0,43 kg Dampf pro kg verdampftes Wasser. Davon wurden 0,27 kg ( 670 kJ) für die Verarbeitung aufgewendet.

Ohne Berücksichtigung der unregelmässig durchgeführten Reinigung benötigte der Sprühtrockner eine Zufuhr von 2,6 kg Dampf (7131 kJ) pro kg verdampftes Wasser.

Die Kannenwäsche ergab einen Bedarf von 13,3 kg Dampf pro Tonne Milchanfuhr (36,4 kJ/kg Milch).

Heisswasser diente neben der Reinigung von Kannen, Eindampfer und Plattenwärmeaustauschern für Milch und Rahm für die allgemeine Reinigung. Es benötigte 9% des gesamten Dampfes während der Trocknungssaison und 45%, wenn die Pulverherstellung unterblieb.

Der Energie- und Wasserstrom zu den verschiedenen Bereichen der Molkerei ist ebenfalls untersucht. Lief das Trockenwerk, gelangten 74% der gesamten thermischen Energie zum Eindampfer und Trockner. Gleichzeitig benötigten die beiden Anlagen 49% der total erforderlichen elektrischen Energie, währenddem 31% dem Kühlsystem zuzuführen waren. Dieses benötigte in der Zeit ohne Milchpulvererzeugung rund 68% der gesamten eingesetzten elektrischen Energie. In der Jahreszeit mit Trocknung war der Eindampfer mit 50% der Hauptverbraucher von Wasser. Bei reiner Flüssigmilchverarbeitung benötigte die Reinigung 62% des gesamthaft erforderlichen Wassers.

Im untersuchten Betrieb besteht ein beachtliches Sparpotential. Entsprechende Massnahmen sind empfohlen. Deren Realisation könnte zu Einsparungen von 38% Heizöl, 41% Elektrizität und 45% Wasser führen, wenn die Anlage ausschliesslich Flüssigmilch verarbeitet. Bei Milchpulverproduktion bestehen Einsparmöglichkeiten von 28% Heizöl, 39% Elektrizität und 43% Wasser.