

## KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROCESU PROJEKTOWANIA STACJI WYPARNEJ

*Zbigniew Kobus, Jacek Mazur, Tomasz Guz, Mirosław Pastuszak*  
*Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

*Stanisław Juško*  
*Katedra Inżynierii Procesowej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

**Streszczenie.** W pracy omówiono koncepcję komputerowego projektowania i obliczania aparatów służących do zateżniania roztworów. Celem pracy było napisanie aplikacji do wstępnego obliczania powierzchni grzejnej trójstopniowej stacji wyparnej w programie C++ Builder. Algorytm aplikacji został opracowany na podstawie modelu matematycznego zaczerpniętego z literatury. Podano parametry wejściowe potrzebne do obliczania wymiarów stacji wyparnej oraz opisano główne karty programu. Aplikacja „WYPARKA” umożliwia szybkie obliczenie parametrów strumieni wewnętrznych i wszystkich strumieni wylotowych produktów głównych i ubocznych procesu zateżniania. Program może być wykorzystany zarówno w celach dydaktycznych do analizy zależności pomiędzy wielkościami strumieni wejściowych, a rozmiarami aparatu wyparnego, jak i do wstępnego obliczania gabarytów trójdziałowej stacji wyparnej stosowanej w praktyce przemysłowej.

**Słowa kluczowe:** stacja wyparna, wspomaganie komputerowe, projektowanie procesów

### Wykaz oznaczeń:

- L – ilość roztworu dopływającego do stacji wyparnej [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ],
- $b_0$  – stężenie roztworu dopływającego do stacji wyparnej [%],
- $t_0$  – temperatura dopływającego roztworu [K],
- p – ciśnienie pary grzejnej zasilającej stację wyparną [ $10^5$  Pa],
- W – całkowita ilość wody odparowana w stacji wyparnej [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ],
- T – temperatura pary grzejnej zasilającej stację [K],
- r – entalpia parowania pary grzejnej zasilającej stację [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ],
- $i'$  – entalpia skroplin powstałych z pary grzejnej zasilającej stację [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ],
- $i''$  – entalpia pary grzejnej zasilającej stację [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ],
- G – rozchód pary grzejnej [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ],

$W_n$	– ilość wody odparowana w kolejnych działach stacji wyparnej [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ],
$b_n$	– stężenie roztworu wypływającego z kolejnych działów stacji wyparnej [%],
$p_n$	– ciśnienia pary wtórnej w kolejnych działach stacji wyparnej [ $10^5 \text{ Pa}$ ],
$p_k$	– ciśnienie w skraplaczu [ $10^5 \text{ Pa}$ ],
$r_n$	– entalpia parowania pary wtórnej w kolejnych działach stacji wyparnej [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ],
$i'_n$	– entalpia skroplin powstałych w kolejnych działach stacji wyparnej [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ],
$i''_n$	– entalpia pary wtórnej w kolejnych działach stacji wyparnej [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ],
$\Delta t_{wn}$	– temperatury wrzenia roztworów przy ciśnieniu atmosferycznym [K],
$\Delta t'_n$	– straty temperaturowe związane z prawem Raolta [K],
$\Sigma \Delta t$	– całkowita użyteczna różnica temperatur w stacji wyparnej [K],
$t_n$	– temperatura wrzenia roztworu w kolejnych działach stacji wyparnej [K],
$k_n$	– współczynnik przenikania ciepła w kolejnych działach stacji wyparnej [K],
$\Delta t_n$	– różnica temperatur roztworu na wejściu i wyjściu z poszczególnych działów stacji wyparnej [K],
$q_n$	– ilość ciepła potrzebna do zateżenia roztworu w kolejnych działach stacji wyparnej [kJ],
$A_n$	– pole powierzchni wymiany ciepła w poszczególnych działach stacji wyparnej [ $\text{m}^2$ ], gdzie $n=1, 2, 3$ .

## Wprowadzenie

Zateżanie jest jednym z podstawowych procesów prowadzonych w przemyśle spożywczym i chemicznym. Najpowszechniej stosowanym sposobem zagęszczania roztworów jest odparowanie rozpuszczalnika. Proces ten prowadzi się w urządzeniach zwanych aparatami wyparnymi lub w skrócie wyparkami [Lewicki 2006].

Prawidłowo zaprojektowany aparat wyparny powinien spełniać następujące wymagania:

- posiadać wysoki współczynnik przewodzenia ciepła, co zapewnia mniejsze wymiary gabarytowe aparatu oraz skraca czas odparowywania rozpuszczalnika,
- skutecznie oddzielać opary rozpuszczalnika od zateżanego roztworu,
- umożliwiać uzyskanie produktu o wysokiej jakości,
- zapewniać wysoką wydajność energetyczną procesu,
- spełniać wymogi higieniczne i sanitarne,
- zapewniać łatwą obsługę, czyszczenie i utrzymanie [Glover 2004].

W celu zwiększenia efektywności procesu odparowywania pojedyncze wyparki łączy się w linie zwane bateriami wyparnymi. W takiej baterii para wtórna wykorzystywana jest, jako para grzejna w następnym dziale wyparki, a para świeża doprowadzana jest tylko do pierwszego działu wyparki. Aby utrzymać odpowiednią różnicę temperatur pomiędzy parą grzejną i wrzącym roztworem w poszczególnych działach, roztwór wrze w każdym następnym dziale pod niższym ciśnieniem. Zastosowanie baterii wyparnej pozwala na znaczne zmniejszenie zużycia energii cieplnej potrzebnej do odparowania każdego kilograma wody z rozcieńczonego roztworu.

Ze względu na duży stopień złożoności proces projektowania linii wyparnej wymaga przeprowadzenia wielu trudnych i czasochłonnych obliczeń inżynierskich. Pierwszym, istotnym celem obliczeń jest zbilansowanie masy i energii dla całego procesu poprzez wy-

konanie bilansów dla wszystkich aparatów umieszczonych w linii wyparnej. Przy tym zakłada się, że wszystkie przemiany fizyczne i chemiczne w danym procesie przebiegają tylko w aparatach, zaś łączące je strumienie materiałowe pozostają w stanie równowagi fizykochemicznej, zachowując stałe wartości wszystkich parametrów danego strumienia.

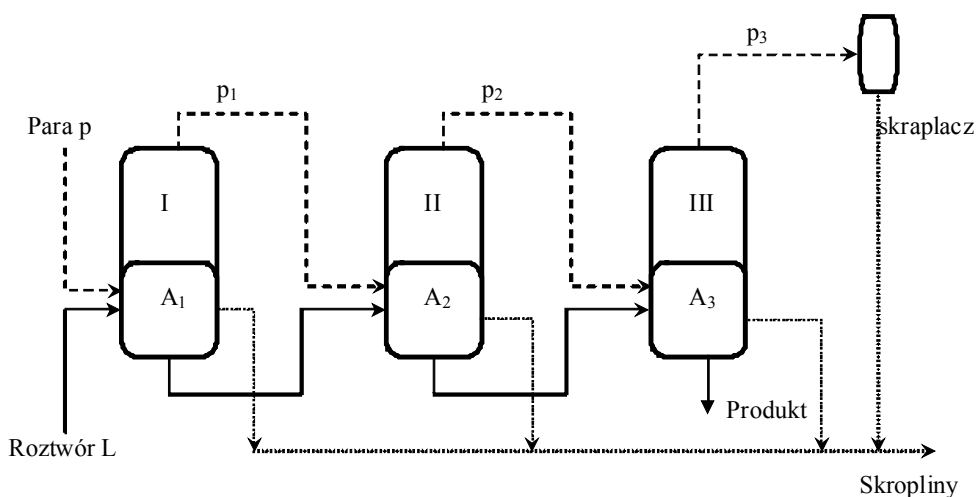
Generalnie przyjmuje się, że koszty związane z projektowaniem i obliczaniem linii produkcyjnych stanowią ponad 10% całkowitych kosztów ponoszonych na budowę i uruchomienie nowego zakładu [Winter 1992]. Dlatego obecnie nieodzownym elementem prawie każdego procesu projektowego stały się programy komputerowe wspomagające obliczenia inżynierskie (tzw. CAE) [Diefes i in. 2000]. Podstawową korzyścią zastosowania tego typu programów jest znaczące skrócenie czasu projektowania. Nużące i często powtarzające się obliczenia zostają przeprowadzone w sposób efektywny i z dużą dokładnością. Dzięki temu projektant może w większym stopniu skoncentrować się na koncepcji samego procesu produkcyjnego czy poszukiwaniu alternatywnej metody jego realizacji.

## Cel pracy

Celem pracy było napisanie aplikacji do wstępnego obliczania powierzchni grzejnej trójstopniowej stacji wyparnej w programie C++ Builder.

## Metodyka

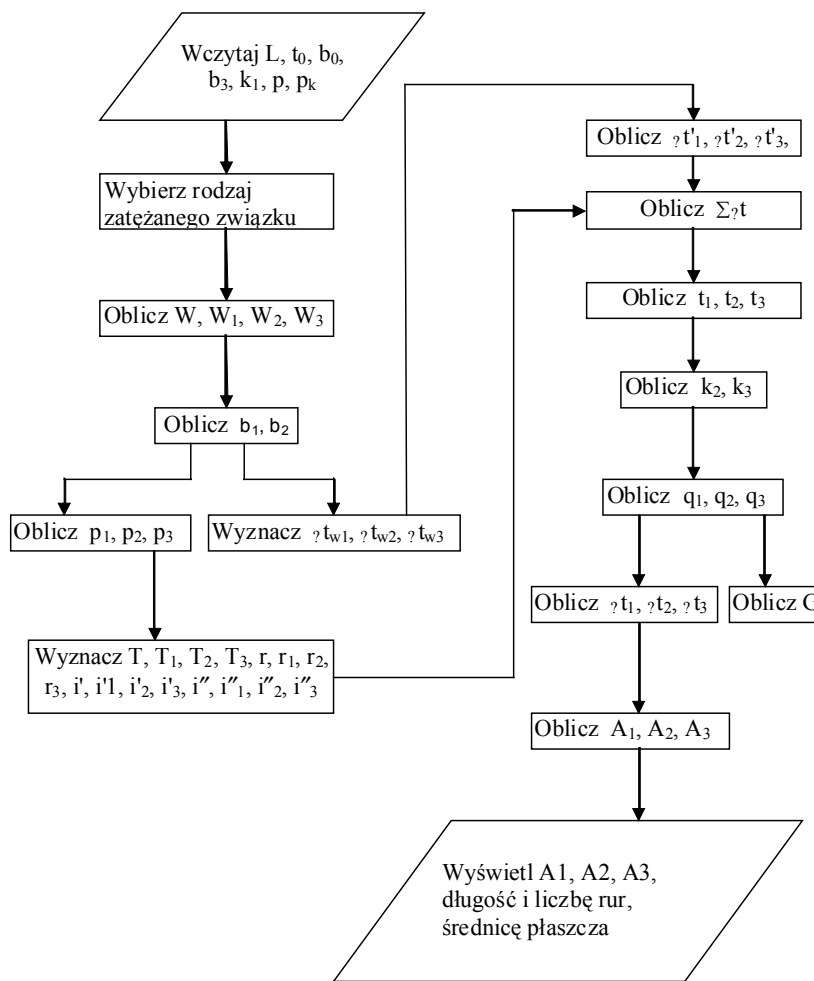
Schemat stacji wyparnej wraz z projektowanymi wymiarami został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat trójdziałowej stacji wyparnej  
Fig. 1. The scheme of a three-effect evaporation station

Algorytm do wyznaczania parametrów pracy trójdziałowej stacji wyparnej pokazano na rysunku 2. Algorytm został opracowany na podstawie modelu matematycznego zaczerpniętego z literatury [Pawłow i in. 1971].

Parametrami wstępnymi do obliczania parametrów stacji wyparnej były: ilość i temperatura roztworu wpływającego do pierwszego działu wyparki, stężenie roztworu wpływającego i wypływającego ze stacji, ciśnienie początkowe pary grzejnej, ciśnienie końcowe pary wtórnej w skraplaczu, współczynnik przenikania ciepła w pierwszym dziale oraz rodzaj zateżanego związku. Aplikacja została napisana w programie C++ Builder i nosi nazwę „WYPARKA”.



Rys. 2. Algorytm aplikacji „WYPARKA”  
 Fig. 2. The algorithm of „ WYPARKA” application

## Wyniki badań

Po uruchomieniu aplikacji „WYPARKA” pojawia się główna jej karta (rys. 3), która umożliwia wpisanie danych wejściowych.

Wspomaganie projektowania wyparki współpradowej trojdziałowej

Opcje Pomoc

Wczytywanie danych

Podaj ilość roztworu wpływającego do pierwszego działu wyparki (L=0.5-5) [kg/s]

Podaj stężenie roztworu wpływającego do pierwszego działu (b0=5-15) [%]

Podaj stężenie roztworu wpływającego z trzeciego działu (b3=50-70) [%]

Podaj ciśnienie pary nasyconej dopływającej do pierwszego działu (p=4-8) [bar]

Podaj ciśnienie w skraplaczu (pk=0.1-0.3) [bar]

Podaj współczynnik przenikania ciepła w pierwszym dziale wyparki (k1=1.5-1.8) [kW/m2K]

Podaj temperaturę roztworu rozcieńczonego (t0=60-80) [C]

Wybierz związek

CaCl2  K2CO3  NH4Cl

KOH  NaOH

Oblicz Pokaż szczegóły Schemat wyparki

Dane wczytane

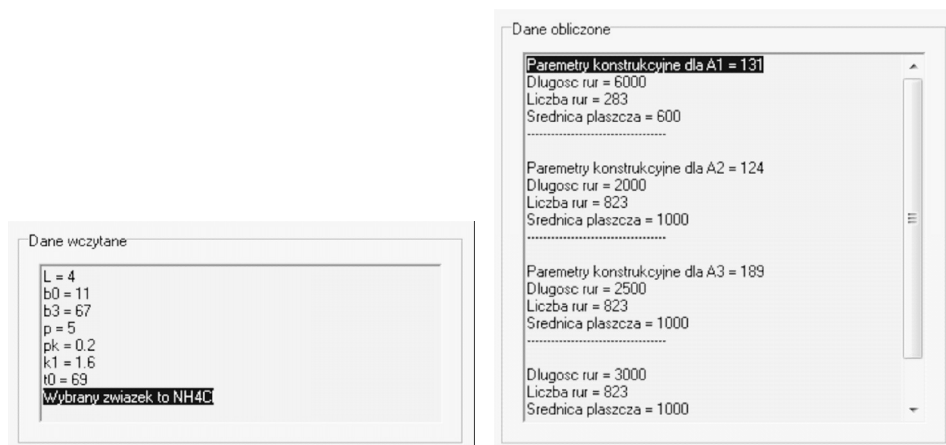
Dane obliczone

Rys. 3. Główna karta aplikacji „WYPARKA”

Fig. 3. The main card of „WYPARKA” application

Przejsie do cyklu obliczeniowego jest możliwe tylko w przypadku wypełnienia wszystkich pól programu. Aplikacja jest również zabezpieczona przed wprowadzaniem danych znacząco odbiegających od możliwych warunków procesu zateżenia. W przypadku gdy wprowadzane wartości wejściowe wykraczają poza przyjęte założenia wyświetlony zostaje komunikat: „Niepoprawne dane!! Dane muszą należeć do przedziału (...)” wraz z podpowiedzią z jakiego przedziału dane należy wpisać.

Po poprawnym wprowadzeniu danych i kliknięciu przycisku „OBLICZ” po prawej stronie głównej karty programu zostaną wyświetlone wczytane dane wraz z obliczonymi parametrami stacji wyparnej (rys. 4).



Rys. 4. Karta programu z parametrami stacji wyparnej.

Fig. 4. The card of application with parameters of evaporation station

Przycisk „POKAŻ SZCZEGÓŁY” umożliwia wyświetlenie wszystkich wartości, które zostały obliczone w trakcie projektowania cyklonu. Program umożliwia także wyświetlenie schematu stacji wyparnej wraz z zaznaczonymi działami (przycisk „SCHEMAT WYPARKI”).

## Wnioski

Projektowanie stacji wyparnych jest procesem wymagającym wykonania wielu żmudnych, często powtarzających się działań matematycznych. W celu zautomatyzowania obliczeń związanych z tym procesem wykorzystuje się różnego rodzaju platformy programistyczne. Jedną z nich jest bardzo popularny program C++ Builder. Napisana w poniższym programie aplikacja „WYPARKA” umożliwia szybkie obliczenie parametrów strumieni wewnętrznych i wszystkich strumieni wylotowych produktów głównych i ubocznych procesu zateżania. Aplikacja wyznacza także pole powierzchni wymiany ciepła w poszczególnych działach wyparki a następnie na jej podstawie pobiera z tablicy wymiary znormalizowanych wymienników ciepła.

Program „WYPARKA” może być wykorzystany zarówno w celach dydaktycznych do analizy zależności pomiędzy wielkościami strumieni wejściowych, a rozmiarami aparatu wyparnego, jak i do wstępnego obliczania gabarytów trójdziałowej stacji wyparnej stosowanej w praktyce przemysłowej.

## **Bibliografia**

- Pawłow K.F., Romankow P.G., Noskow A.A.** (1971): Przykłady i zadania z zakresu aparatury i inżynierii Chemicznej WNT, Warszawa, 598.
- Glover W.B.** (2004): Selecting evaporators for process application. *Chemical Engineering Progress* 100(12), 26-33.
- Lewicki P.** (2006): Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego. WNT, Warszawa, 468.
- Diefes H.A., Okos M.R., Morgan M.T.** (2000): Computer-aided process design using Food Oriented Design System Block Library. *Journal of Food Engineering*, 46, 99-108.
- Winter P.** (1992): Computer-aided process engineering: the evolution continues. *Chemical Engineering Progress*, 88(2), 76-83.

## **COMPUTER-AIDED PROCESS DESIGN OF EVAPORATION STATION**

**Abstract.** „WYPARKA” application developed under C++ Builder software was presented in the paper. The algorithm of application was based on a mathematical model from the literature. The application has been proved to be an effective tool in the design and analysis relationship between parameters of the evaporation process and the total heat surface of the evaporation station.

**Key words:** evaporator, computer- aided design, process design

### **Adres do korespondencji:**

Zbigniew Kobus; e-mail: [zbigniew.kobus@up.lublin.pl](mailto:zbigniew.kobus@up.lublin.pl)  
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
ul. Doświadczalna 44  
20-280 Lublin