

STUDIUL PROCESULUI DE DISTILARE CU AJUTORUL INSTRUMENTELOR DIGITALE

Laura AMOAȘII*, Evgenii SAVCIUC

Departamentul Inginerie Mecanică, grupa IM-221, FIMIT, UTM, Chișinău, R. Moldova

*Autorul corespondent: Laura Amoășii, laura.amoasii@im.utm.md

Coordonator științific: Marin GUȚU, doctor, UTM

Rezumat. În contextul reformării învățământului superior din țară și facilitării procesului de învățare-predare a disciplinelor inginerești au fost identificate oportunități de utilizare a instrumentelor digitale în acest scop. În cadrul unei platforme de resurse educaționale cu acces public la simulări și laboratoare virtuale, elaborată la Universitatea din Colorado, a fost analizat procesul de distilare. În lucrare se prezintă etapele și schema de principiu a procesului de distilare periodică, modelul matematic și operarea unor experimente în instalația de laborator virtuală. Experimentele au fost făcute pe instalația de distilare dotată cu coloană de rectificare cu talere. Au fost colectate probe de distilat obținute din coloana dotată cu un singur taler și cu mai multe talere. Au fost analizate diagramele de echilibru vapori-lichid și concentrația esenței din probe și, ulterior rezultatele obținute au fost comparate și formulate concluzii.

Cuvinte cheie: proces de distilare, coloană de rectificare cu talere, laborator virtual, model matematic.

Introducere

În prezent, modelul și procesul educațional al învățământului superior se schimbă. Universitățile cu profil tehnic formează programe educaționale de bază axate pe aplicarea activă a cunoștințelor de bază în inginerie de către absolvenți în activități practice. Un inginer trebuie să fie capabil să planifice și să proiecteze obiecte tehnice, procese și sisteme și să gestioneze procesul de creare și funcționare a acestora. Studenții nu trebuie doar să memoreze fapte, definiții și principii, ci trebuie să învețe să-și folosească propriile cunoștințe atunci când rezolvă probleme practice specifice, să aleagă în mod activ metodele de proiectare și calcul, să evalueze rezultatele calculului lor, să interacționeze și să colaboreze în echipă.

Utilizarea instrumentelor digitale a fost mult timp recunoscută ca fiind importantă în educația matematică, iar progresele în domeniul tehnologiei computerelor poziționează manipuloarele virtuale și simulările interactive ca noi instrumente puternice pentru predarea și învățarea matematicii. Consiliul Național al Profesorilor de Matematică (din SUA) [1] afirmă că studenții pot învăța matematica mai profund cu utilizarea adecvată a tehnologiei, deoarece le permite elevilor să-și schimbe atenția de la calcul la reflecție, luare de decizii, raționament și rezolvarea problemelor. Autoarea lucrării [2] susține că calitatea tehnologiei educaționale – ce și cum este utilizată – este mai predictivă pentru rezultatele elevilor decât cantitatea de tehnologie cu care interacționează studenții.

Una dintre cele mai reușite platforme interactive de învățare-predare a fost realizată la Universitatea din Colorado Boulder, SUA. Platforma cuprinde subiecte la disciplinele fizica, chimia, matematica, biologia și geografia. Aplicațiile sunt concepute astfel pentru a crea experiențe de învățare captivante și eficiente, pentru a sprijini dificultățile și provocările cursanților pe măsură ce învață. Majoritatea aplicațiilor sunt traduse în toate limbile țărilor europene și sunt disponibile cu acces deschis.

În lucrare se prezintă analiza procesului de distilare periodică cu ajutorul unei aplicații de simulare a distilatorului cu coloană de rectificare cu talere. Aplicația este disponibilă în biblioteca electronică cu acces deschis a Universității din Colorado Boulder, SUA [3].

Aspecte generale privind procesul de distilare

Distilarea este o metodă de separare și purificare a unui component lichid dintr-un amestec de lichide cu puncte de fierbere diferite. Metoda constă în aducerea unui lichid la fierbere, condensarea vaporilor, și separarea distilatului într-un recipient diferit de cel în care are loc fierberea.

Aplicațiile distilării sunt următoarele: distilarea plantelor pentru parfumerie și medicamente, industria băuturilor alcoolice tari, industria chimică și petrolieră.

În industria băuturilor alcoolice tari instalațiile de distilare se deosebesc după modul regimului de lucru. Acestea pot fi cu funcționare periodică sau continuă. Procesul de distilare periodică se petrece în instalații care conțin o cantitate fixă de materie primă (borhot). Iar distilarea continuă are loc în instalațiile care sunt alimentate constant cu materie primă.

Distilarea periodică poate fi efectuată ca și proces într-o singură etapă sau în mai multe etape. Dacă în timpul distilării se colectează mai multe fracțiuni de distilat, operația poartă denumirea de *distilare fracționată*. Primele fracțiuni, bogate în component ușor volatil sunt frunți de distilare, iar ultimele fracțiuni, sărace în component ușor volatil sunt *cozi de distilare*.

Gradul de separare se îmbunătățește dacă o parte din distilat se reintroduce în blaza de distilare sub forma de *reflux*. Cu cât cantitatea refluxată este mai mare, cu atât distilatul este mai bogat în component ușor volatil. Refluxul se introduce prin intermediul unui deflegmator (condensator de reflux).

Distilarea repetată se mai numește rectificare și se utilizează cu scopul obținerii unor produse cât mai pure și mai concentrate. Schema de principiu a unei instalații de distilare dotată cu coloană de rectificare este ilustrată în Fig. 1. Materia primă fermentată (borhotul) este introdusă într-un rezervor numit *blază* care este dotat cu sistem de încălzire. La atingerea temperaturii de vaporizare, componentul care urmează a fi separat trece prin coloana de distilare. Aceasta are formă de cilindru în care sunt montate o serie de talere (tăvi) dispuse la o anumită distanță una de alta. Talerele conțin lichid în fierbere (extract din borhot) alimentat din conducta de reflux sau din conducta de alimentare a instalației.

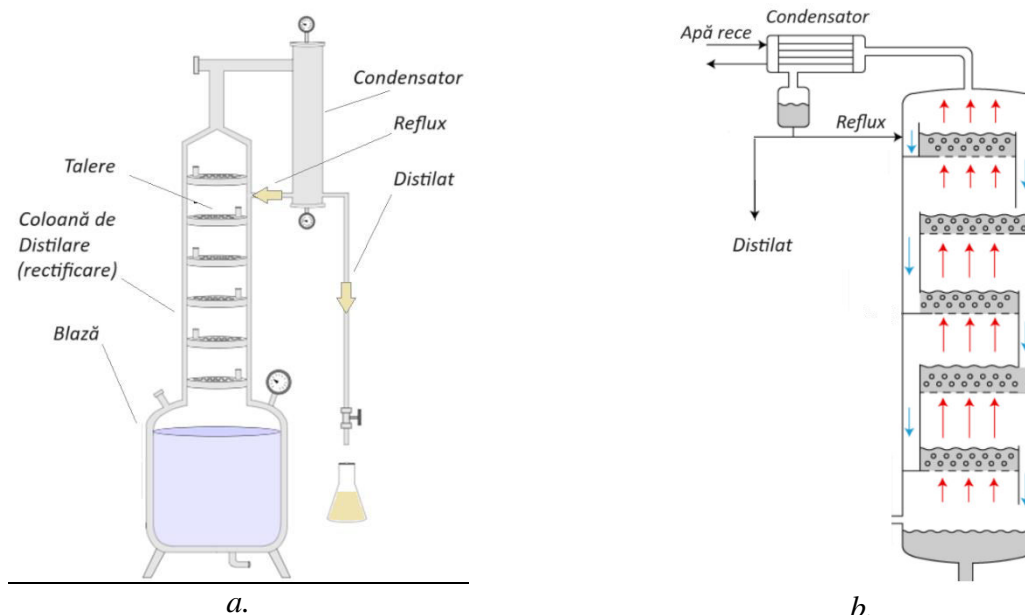


Figura 1. Schema de principiu a instalației de distilare:
a) vedere generală; b) procesul de rectificare în coloana cu talere.

Săgețile roșii îndreptate în sus spre baza fiecărei tăvi reprezintă vaporii care curg în sus. Iar săgețile albastre orientate reprezintă lichidul care se scurge gravitațional. Vaporii care ajung în partea superioară a coloanei sunt direcționați în condensator, după care condensul obținut

(distilatul) este redirecționat în coloana de rectificare (reflux) și parțial colectat. Cantitatea de reflux este reglată în funcție de calitatea necesară a distilatului. Condensatorul reprezintă un schimbător de căldură în care are loc condensarea distilatului cu ajutorul apei reci.

Modelul matematic al procesului de distilare

După cum s-a menționat, distilarea periodică în mai multe etape asigură obținerea unui produs de o puritate mai mare decât distilarea discontinuă simplă. Considerăm materia primă fermentată, introdusă în instalația de distilare, un amestec din două componente A și B (apă și etanol) dintre care B (etanolul) este componentul mai ușor volatil. Bilanțul total de materie este exprimat cu relația [4]:

$$F = W_{fin} + D_{tot} \quad (1)$$

în care F este cantitatea molară totală a materiei prime din instalație (borhotul);

W_{fin} – cantitatea molară de reziduu (care rămâne în blază);

D_{tot} – cantitatea molară totală a distilatului colectat.

Bilanțul componentului ușor volatil pe întreaga coloană este exprimat cu relația:

$$F \cdot x_f = W_{fin} \cdot x_{W,fin} + D_{tot} \cdot x_{D,med} \quad (2)$$

în care x_f este fracția molară inițială a componentului B ;

$x_{W,fin}$ - fracția molară finală de reziduu;

$x_{D,med}$ - fracția molară medie a componentului B în distilatul colectat.

Se consideră că în fiecare taler din coloana de rectificare este un echilibru lichid-vapori:

$$y = f(x) \quad (3)$$

Funcția $y=f(x)$ reprezintă curba de echilibru ilustrată în diagrama x - y , Fig. 2. Compoziția la o anumită etapă se află undeva pe această curbă (punctul de pe curba albastră).

O linie de operare indică compoziția unei etape raportată la compoziția etapei adiacente. Ecuația liniei de operare este:

$$y_n = \frac{R}{R+1} \cdot x_{n+1} + \left(1 - \frac{R}{R+1}\right)x_D \quad (4)$$

în care y_n este fracția molară de vapori a componentului B la etapa n ;

R – cifra de reflux; x_{n+1} - fracția molară de lichid a componentului B la etapa $n + 1$.

Cifra de reflux se determină cu relația:

$$R = \frac{L}{D} \quad (5)$$

În care L este debitul de lichid care se întoarce în coloană din condensator, iar D este debitul de distilat colectat.

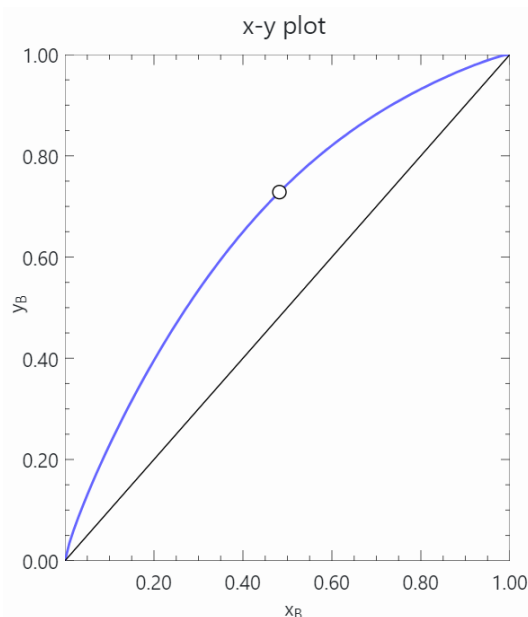


Figura 2. Diagrama de echilibru x - y .

Pentru determinarea compoziției finale a distilatului și a reziduuului este utilizată ecuația Rayleigh [4]:

$$\ln \left(\frac{W_{fin}}{F} \right) = \int_{x_F}^{x_{W,fin}} \frac{1}{x_D - x_W} dx_W \quad (6)$$

relația dintre compoziția distilatului și a rezidului $f(x_W) = x_D$ este complicată pentru instalațiile dotate cu coloane cu talere, prin urmare fracțiile molare se obțin numeric.

Simularea procesului de distilare

Procesul de distilare periodică în mai multe etape a fost simulat într-o aplicație de pe platforma *LearnChemE* a Universității din Colorado Boulder. Interfața grafică a aplicației este prezentată în Fig. 3. Aceasta constă din schema instalației de distilare, diagramele cu parametrii de proces și panoul de reglare a parametrilor operare.

Pentru a înțelege mai bine distilare periodică în mai multe etape au fost efectuate experimente virtuale la diferiți parametri de operare cum ar fi numărul de talere și cifra de reflux.

Condițiile inițiale sunt următoarele: se consideră un amestec binar din componentele A și B în cantitate de 10 kmoli care se află în blaza distilatorului; fracția molară a componentului B a fost selectată la 0,2; temperatura inițială din blază nu poate fi modificată și este 97°C.

Primul experiment a fost efectuat la instalația dotată cu un taler și cifra de reflux 3. Următorul experiment a fost efectuat la instalația dotată cu trei talere la aceeași cifră de reflux. Ulterior, au fost efectuate aceleași experimente la cifra de reflux 6. La fiecare experiment au fost colectate câte trei probe de distilat în cantitate de 0,5 kmoli fiecare. Rezultatele simulărilor sunt prezentate în Tabelul 1.

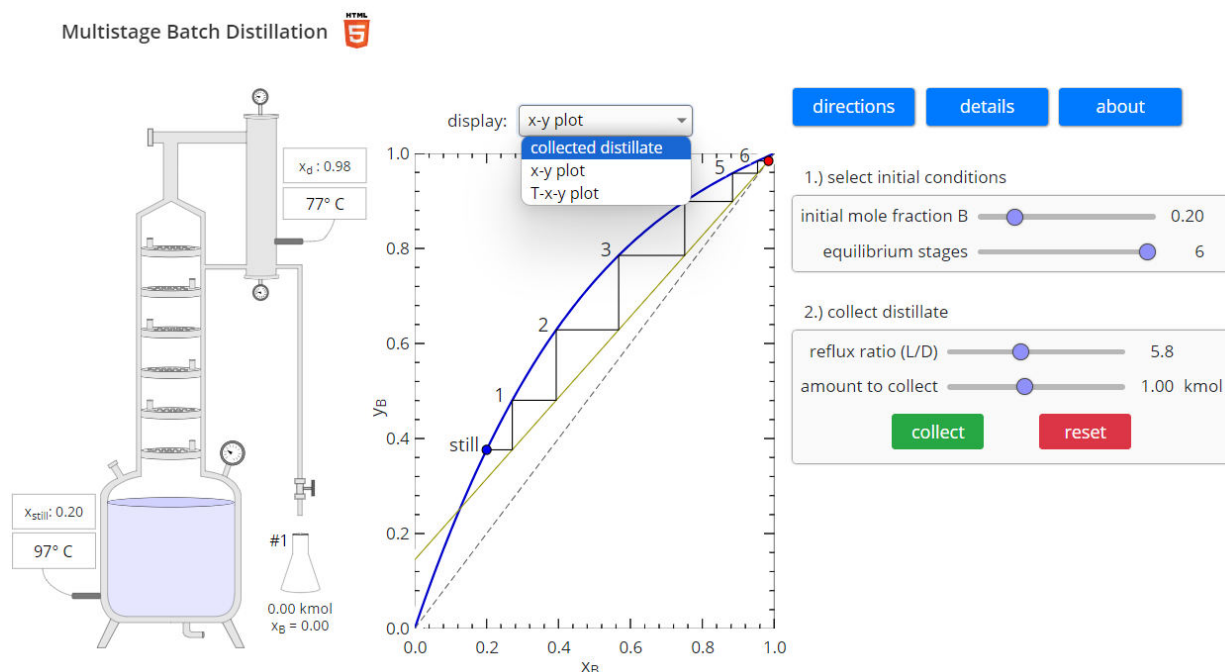
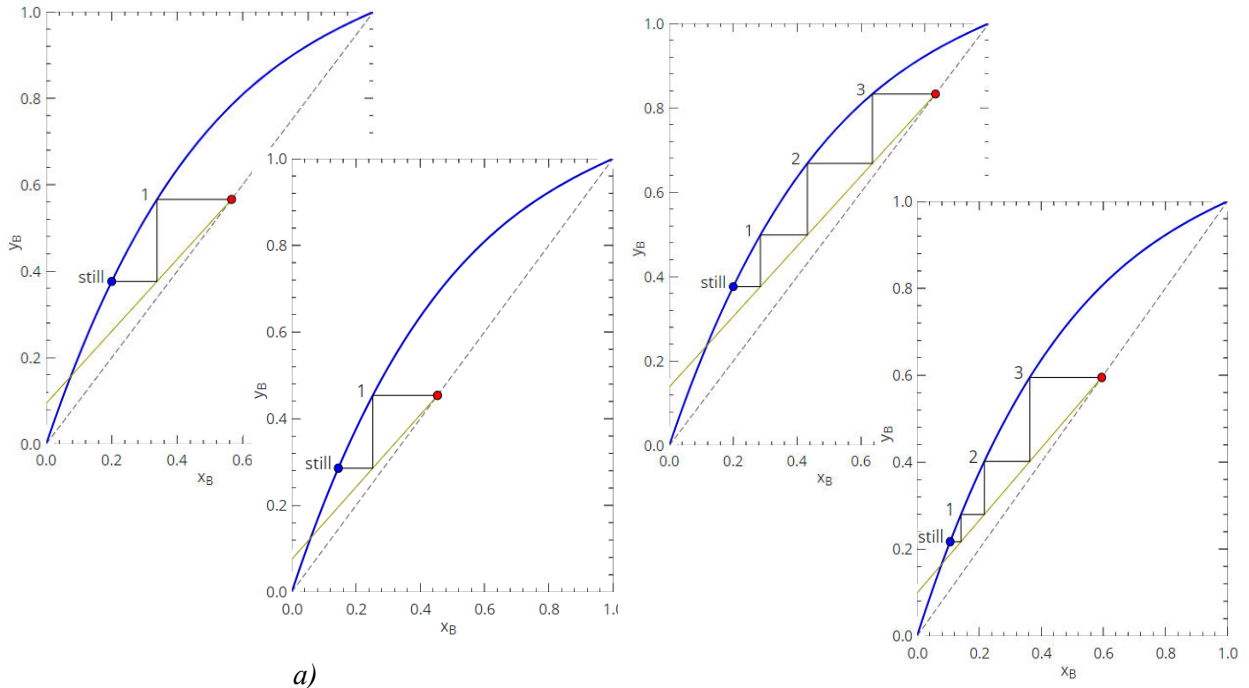
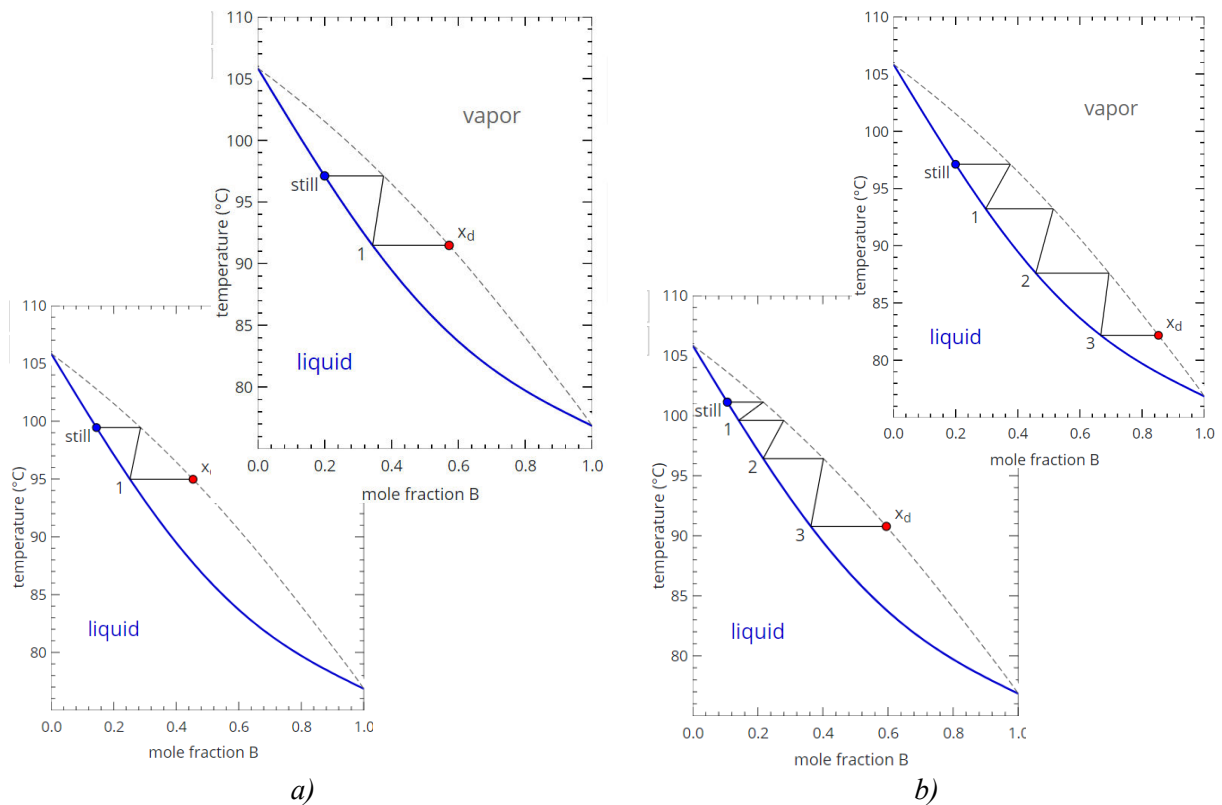


Figura 3. Interfața grafică a simulatorului „Distilare periodică în mai multe etape”.

În figura 4 sunt ilustrate diagramele de echilibru $x - y$ ale procesului de distilare prin coloana dotată cu un taler și cu trei talere. Dependența fracției molare a componentului B de temperatură este ilustrată în Fig. 5 pentru ambele cazuri. După cum se observă creșterea concentrației distilatului are loc cu fiecare etapă parcursă, iar scăderea concentrației componentului B în blază are loc în timp după colectarea probelor de distilat.



a)
**Figura 4. Diagrama de echilibru vapori-lichid (stare inițială și finală):
a) cu un taler; b) cu trei talere.**



a) b)
**Figura 5. Diagrama de echilibru vapori-lichid-temperatură (stare inițială și finală):
a) cu un taler; b) cu trei talere.**

Tabelul 1

Rezultatele simulării procesului de distilare

Proba	Concentrația borhotului din aparat		Concentrația esenței X_B		Cifra de reflux (L/D)	Cantitate colectată, (kmol)
	1 taler	3 talere	1 taler	3 talere		
1	0,18	0,17	0,53	0,72	3	0,5
2	0,16	0,14	0,49	0,65		
3	0,15	0,12	0,46	0,58		
1	0,18	0,17	0,56	0,83	6	0,5
2	0,16	0,13	0,52	0,76		
3	0,14	0,10	0,5	0,67		

Concluzii

În procesul de simulare (animație) a distilării periodice a unui amestec binar s-au observat următoarele aspecte:

- Temperatura crește în timpul distilării;
- Concentrația de distilat a componentei mai volatile scade cu timpul;
- Creșterea numărului de etape (talere) în coloană mărește concentrația componentei mai volatile din distilat;
- Creșterea cifrei de reflux mărește concentrația componentei mai volatile din distilat.

Referințe

- [1] Hensberry, Karina K. R., et al. "PhET Interactive Simulations: New Tools to Achieve Common Core Mathematics Standards." Common Core Mathematics Standards and Implementing Digital Technologies, edited by Drew Polly, IGI Global, 2013, pp. 147-167.
- [2] Lei J., *Quantity versus quality: A new approach to examine the relationship between technology use and student outcomes*. BJET, Volume 41, Issue 3, May 2010, P. 455-472 .
- [3] <https://learncheme.com/simulations/separations/multistage-batch-distillation/>
- [4] Wankat P. C., "Batch Distillation," Separation Process Engineering: Includes Mass Transfer Analysis, 3rd ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012 pp. 329-347.