



Originalni naučni rad

Ključne reči:
дестилација;
ректификациона колона;
етанол

ДЕСТИЛАЦИЈА АЛКОХОЛА У РЕКТИФИКАЦИОНОЈ КОЛОНИ ДО 96%VOL ЕТАНОЛА

Key words:
distillation;
rectification column;
ethanol

ALCOHOL DISTILLATION
IN RECTIFICATION COLUMN
FOR PRODUCTION OF 96%VOL ETHANOL

Бранислав ГАЈИЋ*

* bgajic@mas.bg.ac.rs

Ђорђе САМАРЦИЋ

Никола МИТРОВИЋ

Универзитет у Београду, Машински факултет, Београд

ORCID: 0000-0002-6651-0498

Универзитет у Бања Луци, Технолошки факултет, Бања Лука,
Босна и Херцеговина

Криминалистичко-полицијски универзитет,
Криминалистичко-полицијска академија, Београд
ORCID: 0000-0001-5970-2654

Етанол је један од најфреквентније коришћених производа. У циљу добијања 96%vol етанола ферментисана сировина мора проћи кроз пар колона, где је последња у низу ректификациона колона. Фокус у овом раду је на фракционој дестилацији, као и конструкционим карактеристикама ректификационе колоне.

Ethanol is one of the most frequently used products. In order to produce 96%vol ethanol fermented raw material must be treated in few columns, where last column in line is rectification column. In this paper focus is on fractional distillation and construction of rectification column

1. Увод

У савремено доба веома велики број производа, који се свакодневно користе добијени су операцијом дестилације (ректификације). Неки од тих производа су: бензин, дизел, керозин, уља, мазива, алкохол (етанол - 96%vol или дехидрисани), итд.

У овом раду акценат је на добијању 96%vol етанола у ректификационој колони и на крају рада дат је пример ректификационе колоне из праксе. У првом делу објашњен је целокупни процес добијања 96%vol етанола од припреме сировине у кувачима и ферменторима, до операције дестилације, која се завршава у ректификационој колони.

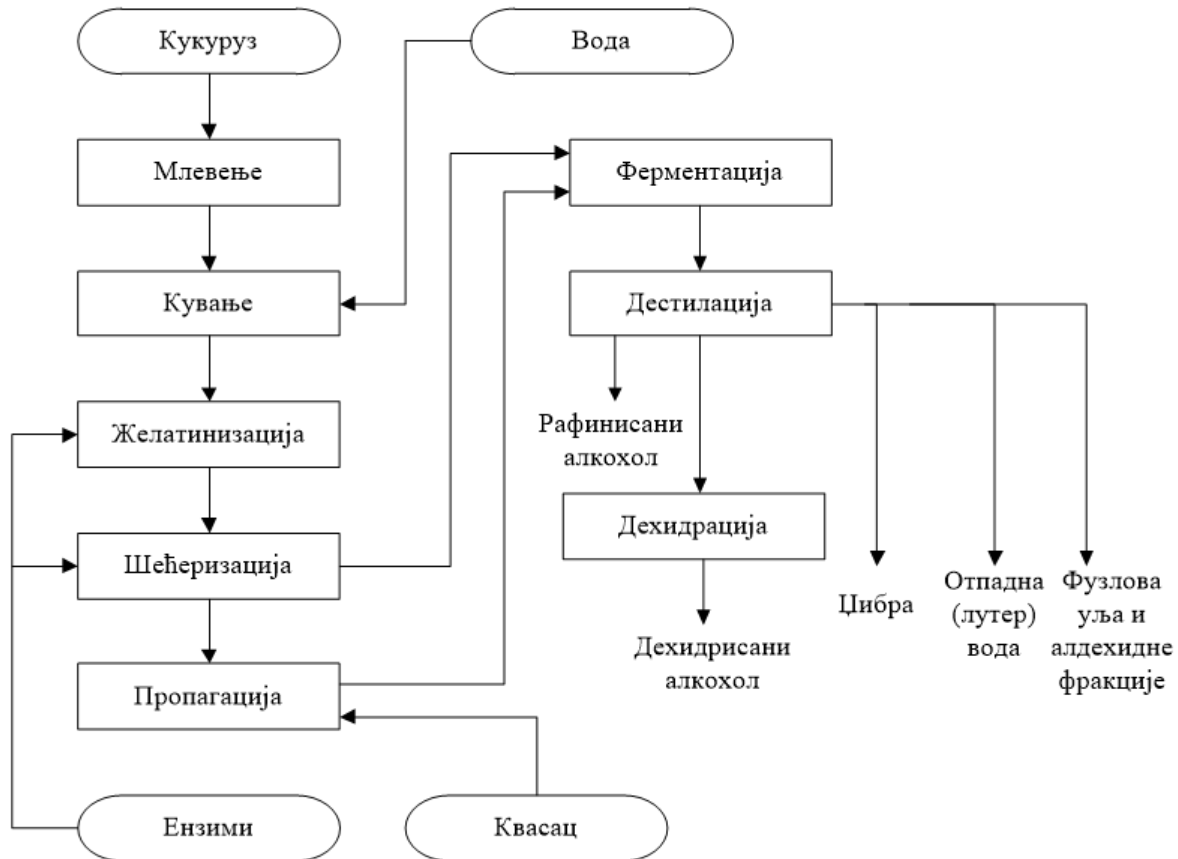
Уколико је потребно да се додатно смањи удео воде у алкохолу приступа се процесу дехидрације у посебном дехидрационом постројењу, које се састоји од два адсорбера - један радни, а један резервни.

У раду је дат акценат на конструкционе карактеристике колоне, као и теоријска основа, која се може искористити при пројектовању колоне.

2. Процес у оквиру дестилерије са континуалном дестилацијом

Иако у Републици Србији постоји велики број дестилерија, које користе шаржне операције припреме сировине и дестилације, у овом раду ће акценат бити на континуалним операцијама.

Да би уопште постојала могућност вршења операције дестилације, потребно је прво извршити припрему сировине. Као сировина могу се користити кукуруз, кромпир, тапиока и др. Целокупни процес приказан је на слици 1.



Слика 1. Процес добијања 96%_{vol} етанола

Процес започиње припремом сировине за производњу етанола. Једно од решења производње алкохола јесте да се као сировине користе житарице из разлога што житарице дају велики принос производа, односно алкохола на крају процеса. Од 100 kg кукуруза може да се добије 40 литара алкохола. Биотехнолошки поступак производње алкохола из шећера заснива се на биохемијским реакцијама у којима се додавањем ензима (дијастаза или амилаза) претварање скроба у шећера а касније ћелије квасца врше ферментацију шећера у алкохол. Ова фаза када квасац врши ферментацију шећера у алкохол се означава као фаза пропагације, односно фаза у којој се интензитет хемијске реакције повећава и почиње несметано да се одвија. Важно је нагласити да су све ове хемијске реакције и операције праћене низом помоћних токова, који омогућавају несметан рад апарата и реактора у коме се одвијају наведене технолошке операције. Када се процес ферментације заврши, односно читав процес уђе у фазу терминације, следећа операција јесте поступак дестилације. Он је неопходан из разлога што процес ферментације није у потпуности селективна хемијска реакција, у смислу да неће настајати само етанол, већ ће настајати низ споредних продуката, који нису пожељни у финалном производу. Током процеса дестилације користе се разлике у физичко-хемијским својствима добијених продуката (алкохола), те се на основу њихових различитих температура кључања односно различитих

вредности напона пара при различитим температурама, врши њихова сепарација из вишекoмпонентног система и добија жељени производ у жељеној чистоћи. Затим се врши процес дехидрације да би се задовољила жељена вредност концентрације алкохола.

Често се као главни продукт може добити алкохол који може да се користи и у погонске сврхе, нпр. у прилагођеним бензинским моторима или у мешавини са бензином (10% алкохола и 90% бензина) под називом гасохол.

3. Континуална дестилација

Постоји више различитих дефиниција дестилације, нпр:

- “Дестилација је дифузиона операција у систему пара-течност при чему су најчешће све компоненте расподељене у обе фазе” [1],
- “Генерални циљ дестилације јесте раздвајање компонената који имају различит напон паре при било којој задатој температури” [2],
- “Дестилација је најбитнија и највише виђена сепарациона технологија” [3].

Након припреме сировине, која је описана у претходном делу, иста се доводи у дестилационо постројење. Дестилационо постројење које врши континуалну дестилацију мора да има бар 3 колоне и то:

- сировинску колону,
- алдехидну колону и
- ректификациону колону.

Континуалност процеса обезбеђује се коришћењем испаривача на дну колоне, било да су то хоризонтални испаривачи са потопљеним цевним снопом (“kettle” испаривачи), или вертикални термосифонски испаривачи.

Са горње стране на колону се најчешће цевоводом повезује кондензатор, где се пара из колоне кондензује. Део кондензоване паре се може вратити у колону, а у том случају се назива рефлукс. Рефлуксни однос представља однос протока рефлукса и протока дестилата.

Основне билансне једначине дестилације гласе:

$$\dot{F} = \dot{D} + \dot{W} \quad (1)$$

$$\dot{F} \cdot x_F = \dot{D} \cdot x_D + \dot{W} \cdot x_W \quad (2)$$

$$\dot{F} \cdot h_F + Q_B = Q_C + \dot{D} \cdot h_D + \dot{W} \cdot h_W \quad (3)$$

где су:

\dot{F} , kg/s, масени проток улазне сировине,

\dot{D} , kg/s, масени проток дестилата,

\dot{W} , kg/s, масени проток остатка,

x_F, x_D, x_W , kg/kg, масени удели компоненте у сировини, дестилату и остатку респективно,

h_F, h_D, h_W , kJ/kg, енталпије сировине, дестилата и остатка респективно,

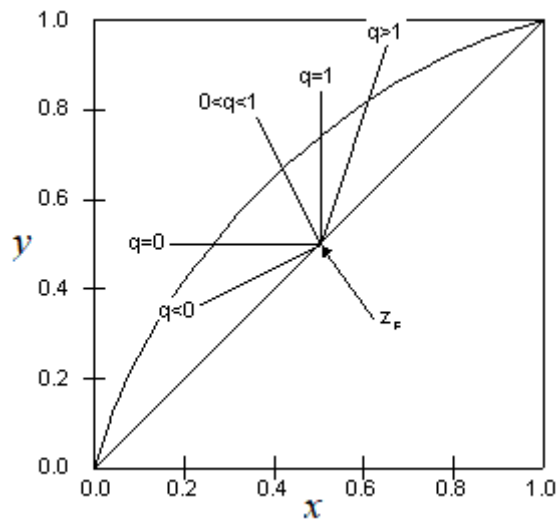
Q_B , kW, топлотна снага испаривача,

Q_C , kW, топлотна снага кондензатора.

Сировина (“Feed”) се у колону уводи на напојни под. Увођење сировине описује једначина напојне линије, а она гласи:

$$y = \frac{q}{q-1} \cdot x - \frac{x_F}{q-1} \quad (4)$$

где је q параметар напојне линије. Он зависи (а самим тим и нагиб напојне линије) од тога у којој фази је сировина на улазу у колону (слика 2).



Слика 2. Нагиб напојне линије

На слици 2 су приказани случајеви у којима је улазна сировина:

- течност на температури нижој од температуре кључања ($q > 1$),
- течност на температури кључања ($q = 1$),
- мешавина паре и течности ($0 < q < 1$),
- сувозасићена пара ($q = 0$) и
- прегрејана пара ($q < 0$).

Осим напојне линије потребно је дефинисати и једначине линија колоне за јачање и слабљење. У колони за јачање (горњи део колоне) је доминантна лакше испарљива компонента, а излаз из колоне за јачање је дестилат. У колони за слабљење (доњи део колоне) је врло мали удео лако испарљиве компоненте, која је доминантна у дестилату, а излаз из колоне за слабљење је остатак.

Једначине операционе линије колоне за јачање и слабљење респективно гласе:

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} \cdot x_n + \frac{x_D}{R+1} \quad (5)$$

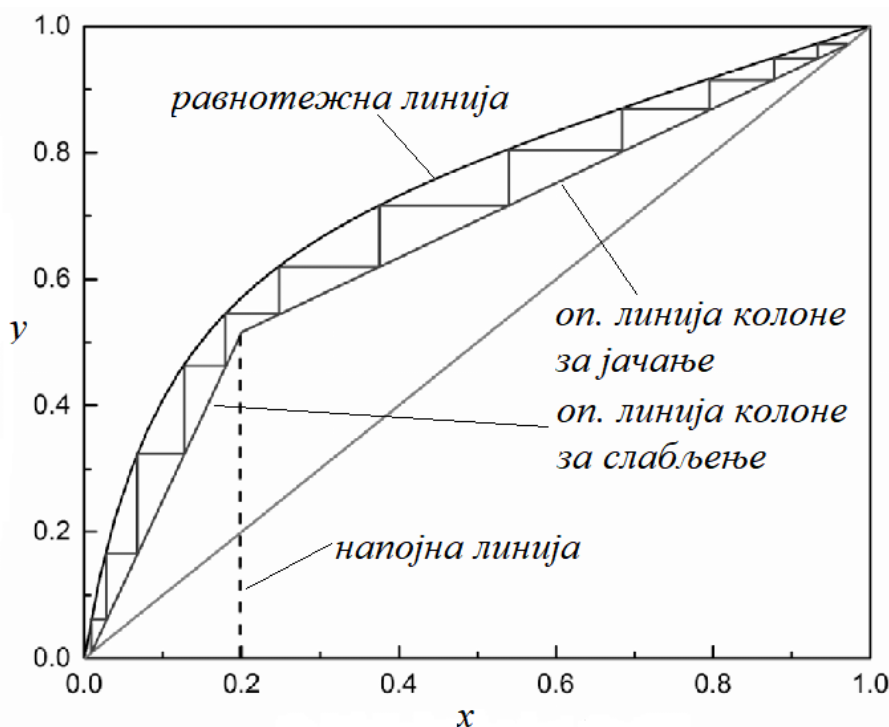
$$y_{m+1} = \frac{\dot{L}^s}{\dot{L}^s - \dot{W}} \cdot x_m + \frac{\dot{W}}{\dot{L}^s - \dot{W}} \cdot x_W \quad (6)$$

где су:

R , -, рефлуксни однос,

\dot{L}^s , kg/s, масени проток течне фазе у колони за слабљење.

Претходне једначине је потребно наћи да би се графичким методом Мекејба и Тила (McCabe, Thiele) решио неки задати проблем из области дестилације. Пример дијаграма Мекејба и Тила дат је на слици 3.



Слика 3. Пример дијаграма Мекејба и Тила

На основу дијаграма могуће је одредити број теоријских степени контакта, податак који је потребан за одређивање броја подова.

4. Подови дестилационих колона

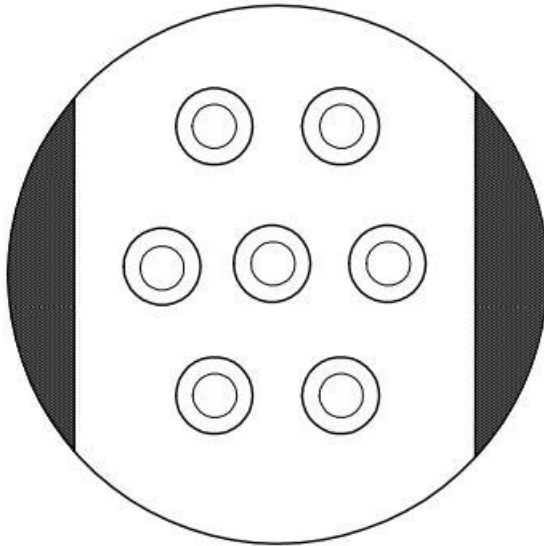
Дестилационе колоне израђују се спајањем подова, који могу бити:

- унакрсним протицањем фаза и
- истосмерним протицањем фаза.

Подови са унакрсним протицањем фаза су подови са звонима (слика 4а), ситасти (слика 4б) и вентилски подови (слика 5). Што се тиче подова са звонима могу се користити звона кружног и правоугаоног попречног пресека. Ситасти подови се израђују од перфорираног лима и уобичајено кружни отвори су пречника од 6 - 25 mm. Светли пресек пода се креће у границама од 5 -15%.

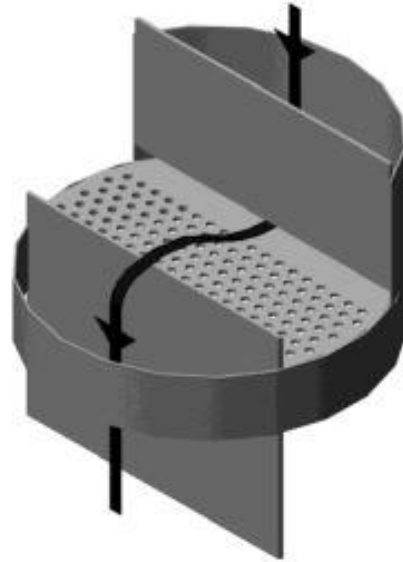
Вентилски подови представљају прелазно решење између ситастих подова и подова са звонима. Под је перфориран, а изнад перфорације се поставља вентил, који се креће горе, или доле у зависности од протока парне фазе. Уколико је проток већи тада се вентил подиже и повећава се светли пресек за пролаз паре. У супротном се вентил спушта ка поду.

С обзиром да је на крају рада приказан пример колоне са ситастим подовима у даљем тексту неће бити речи о дестилационим колонама са истосмерним протицањем фаза, које су и слабије заступљене у пракси.



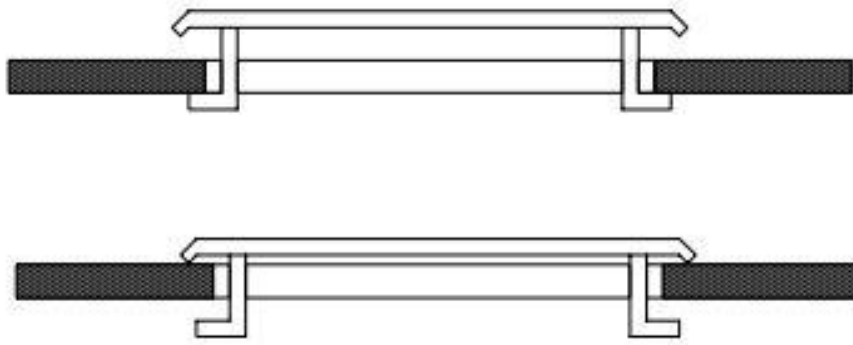
Слика 4а

Под са звонима



Слика 4б

Ситаста под



Слика 5. Вентилски под

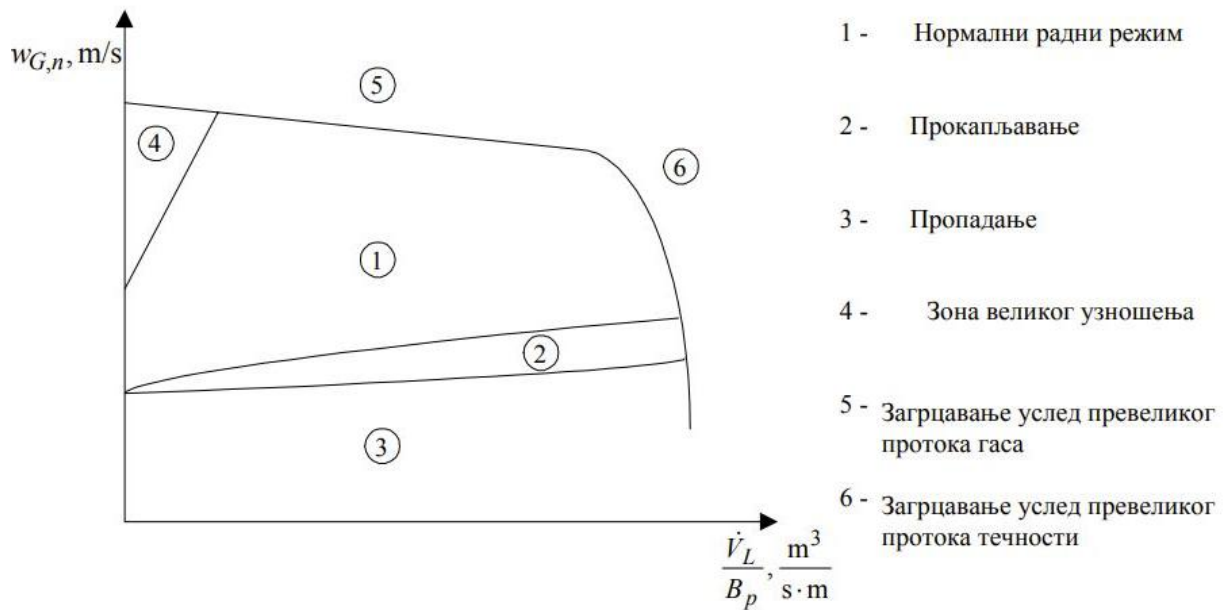
5. Режији рада колона

Колоне могу радити у неколико карактеристичних радних режима и то:

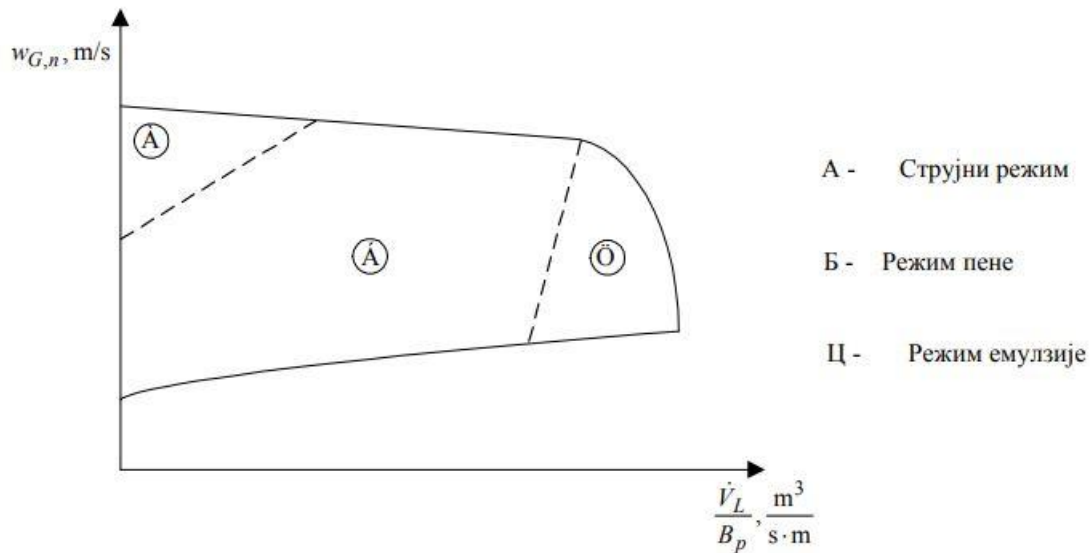
- нормални радни режим,
- прокапљавање течности,
- пропадање течности,
- интензивно узношење при малим протоцима течности,
- загрцавање услед превеликог протока гаса,
- загрцавање услед превеликог протока течности.

Осим радних режима на основу дијаграма могуће је познавати структуру двофазног слоја.

Карактеристични радни Режији приказани су на дијаграму на слици 6, док је дијаграм структуре двофазног слоја приказан на слици 7.



Слика 6. Радни режими колоне



Слика 7. Структура двофазног слоја

6. Одређивање геометријских карактеристика колоне

У наставку текста биће приказано пар једначина за одређивање геометријских карактеристика колоне.

Површина попречног пресека колоне је:

$$A_K = \frac{D_K^2 \cdot \pi}{4} = A_n + A_{sc} \quad (7)$$

где су:

A_K , m^2 , површина попречног пресека колоне,

D_K , m , пречник колоне,

A_n , m^2 , површина попречног пресека колоне без сливне цеви и

A_{sc} , m^2 , површина попречног пресека сливне цеви.

Постоје препоруке за растојање између подова, а оно се налази у табели 1.

Табела 1 Препоруке за растојања између подова

Dк, mm	<800	800÷1600	1600÷2000	2000÷3000	3000÷4000	4000÷8000
T, mm	150÷350	350÷400	400÷500	500÷600	600÷750	750÷900

Брзина у тачки инверзије:

$$W_{Gin,f} = c_f \cdot \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}} \cdot \left(\frac{\sigma}{0,02}\right)^{0,2} \cdot \psi \cdot SF \quad (8)$$

где су:

c_f , -, фактор загрцавања,

ρ_L , kg/m³, густина течне фазе,

ρ_G , kg/m³, густина парне фазе,

σ , J/m², коефицијент површинског напона,

ψ , -, корекциони фактор,

SF , -, систем фактор.

Једначина је добијена за услове где систем нема склоности ка успењавању, где је висина преливника мања од 15% од растојања између подова, где активна зона заузима највећи део барботажне зоне пода и где је пречник отвора у ситастом поду мањи од 13 mm.

Фактор загрцавања је могуће израчунати на основу следеће једначине:

$$c_f = 0,0105 + 0,1496 \cdot T^{0,755} \cdot \exp(-1,463 \cdot F_{LG}^{0,842}) \quad (9)$$

где је F_{LG} однос кинетичких енергија гаса и течности:

$$F_{LG} = \frac{\dot{V}_L}{\dot{V}_G} \cdot \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}} \quad (10)$$

Корекциони фактор ψ може имати следеће вредности:

- 1 за однос $\varphi_b \geq 0,1$ и
- $0,5 + 5 \cdot \varphi_b$ а однос $\varphi_b < 0,1$.

Величина φ_b представља однос површина попречног пресека свих отвора на поду и површина барботажне зоне.

Систем фактор има следеће вредности:

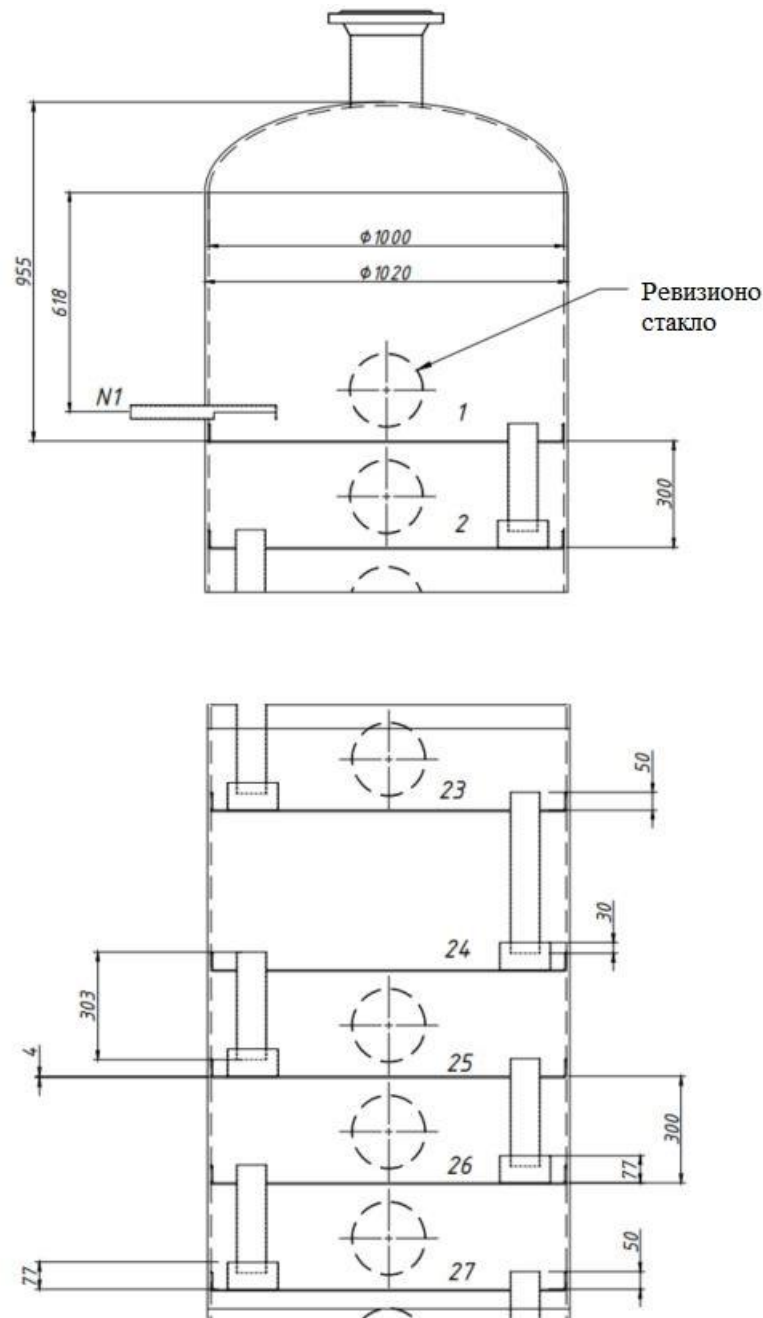
Табела 2 Вредности

Систем	SF	Систем	SF
без успењавања	1	знатно успењавање	0,73
системи са флуором	0,9	врло велико успењавање	0,6
умерено успењавање	0,85	системи са стабилном пеном	0,3

Брзина паре кроз колону треба да бу 80% - 85% од брзине у тачки инверзије, а однос брзине гаса/паре и брзине у тачки инверзије се зове фактор загрцавања и означава се са FF .

Ширина преливне бране треба да износи између 60% - 85% од пречника колоне. Површина сливне цеви је:

$$A_{sc} = \frac{\dot{V}_L}{W_{L,sc}} \quad (11)$$



Слика 9. Пример детаља везаних за колону

9. Референце

- [1] **Јаћимовић Б., Генић С.,** *Дифузионе операције и апарати, други део*, Београд, Република Србија, 2010.
- [2] **Holland, D. C.,** *Fundamentals of multicomponent distillation*, Texas A&M, USA, 1981.
- [3] **Kister, Z. H.,** *Distillation design*, McGraw-Hill Education, USA, 1992.
- [4] **Петровић, Р.,** *Одабрана поглавља физичке хемије*, Бања Лука, Република Српска, 2020.
- [5] **Јаћимовић Б., Генић С.,** *Дифузионе операције и апарати, први део*, Београд, Република Србија, 2007.