

### 3.9 УПАРИВАЧКЕ СТАНИЦЕ

Упаривачке станице се састоје од више појединачних упаривача повезаних у батерију. Код оваквих постројења се примарна пара најчешће доводи само у један од упаривача, а секундарна пара се користи за упаравање у осталим апаратима у батерији. На тај начин се, уз искоришћење топлотног садржаја секундарне паре, смањује потрошња примарне паре, те се повећава ефикасност утрошка паре. Део секундарне паре се може користити не само за грејање других упаривачких тела, већ и у другим потрошачима топлоте који пак могу бити изван упаривачке станице. Та пара се назива екстра пара. У упаривачким станицама раствор прелази из степена у степен, све се више укувава, да би се у последњем степену добио финални производ жељеног садржаја раствора. Степени упаривачке станице подразумевају технолошке подсистеме у оквиру упаривачке станице који се међусобно разликују по радним (технолошким) параметрима, као што су концентрација раствора у мешавини, радни притисак и температура, али и по конструкционим карактеристикама. Кондензат примарне паре се по правилу враћа у котларницу, док се кондензат из осталих степени не може слати у котларницу без физичко–хемијског третмана, јер у себи садржи и одређену количину раствора без обзира на ефикасност сепаратора.

Према релативном кретању грејне паре и раствора кроз упаривачку станицу постоје на четири основна типа станица [3.2]:

- упаривачке станице са истосмерним током;
- упаривачке станице са супротносмерним током;
- упаривачке станице са паралелним током;
- упаривачке станице са комбинованим током.

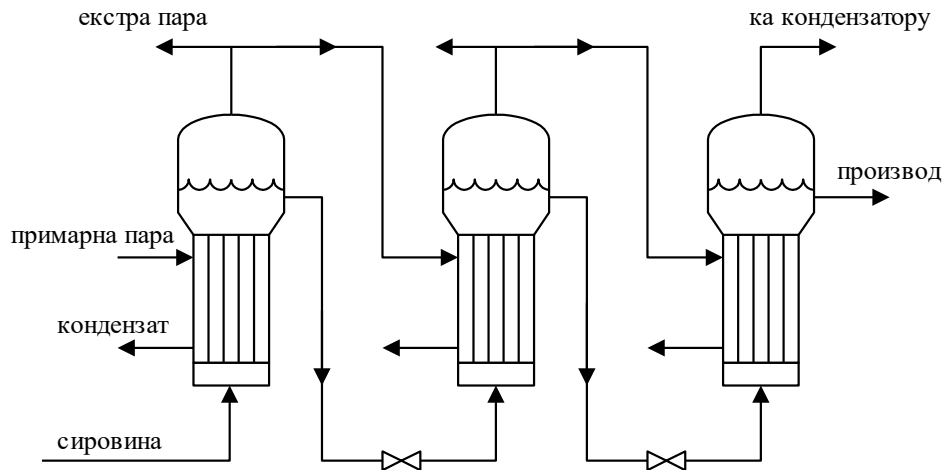
Приликом пројектовања упаривачке станице потребно је изабрати технолошку шему упаравања, оптимални број степена упаравања и систем рационалног искоришћења секундарне паре.

Примарна грејна пара која се уводи у први степен упаривачке станице мора да има температуру која је довољно висока да обезбеди потребну температурску разлику између грејног медијума и раствора на температури кључања. Ова температурска разлика не би требало да буде нижа од 10°C. Од температуре примарне паре зависи и могућност искоришћења секундарне паре у наредним степенима упаривачке станице. У последњим степенима упаривачке станице где је вискозност раствора велика, посебно у случају кристализације укуваног раствора потребно је да корисна температурска разлика буде у границама 28÷30°C, а понекад и већа.

#### 3.9.1 Упаривачке станице са истосмерним током

У оваквим упаривачким станицама секундарна пара и раствор струје у истом смеру (од првог ка последњем упаривачком телу где се концентровање укуваног раствора обавља на најнижем притиску који влада у систему, а самим тим и на најнижој температури). Ова шема обезбеђује најједноставнији начин транспорта раствора из степена у степен. Са стране раствора су потребне само две пумпе и то пумпа за сировину и пумпа за финални производ (слика 3.27). Транспорт раствора између појединих степена се

остварује захваљујући разлици притисака која постоји између суседних упаривачких тела. На цевоводу за транспорт раствора налазе се регулациони вентили помоћу којих се обезбеђује потребан проток третиране мешавине.



Слика 3.27 Упаривачка станица са истосмерним током

Ова шема упаравања је погодна за третман термолабилних раствора (органске супстанције и прехранбени производи), јер се укувани раствор третира на ниским притисцима, односно на нижим температурама. Пожељно је да раствор на улазу у први степен упаривачке станице буде догрејан до температуре кључања. За те сврхе се користи секундарна пара и кондензат из последњег степена упаривачке станице, као и екстра пара и кондензат из осталих степена. Често се финално догревање почетног раствора обавља помоћу свеже (примарне) паре. Загревање сировине до температуре кључања на улазу у упаривачку станицу има свог економског оправдања јер је јединична цена загрејача обично знатно нижа од јединичне цене упаривача, где би се иначе вршило догревање почетног раствора у случају да он није загрејан на температуру кључања.

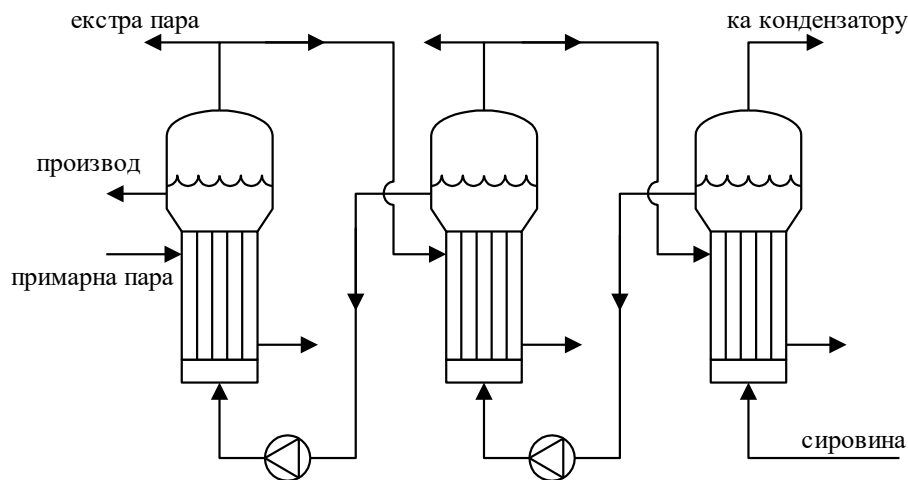
Због једноставне регулације самог постројења као и због осталих добрих страна које су напред изнете ова шема упаравања се најшће се користи у пракси.

Недостатак ове шеме упаравања је у томе што је за исту укупну грејну површину упаривачке станице најмања количина размењене топлоте, а самим тим и најмањи капацитет постројења у односу на све остале шеме упаравања (слично поређењу рекуперативних размењивача топлоте са истосмерним, супротносмерним и комбинованом струјањем флуида).

### 3.9.2 Упаривачке станице са супротносмерним током

У упаривачким станицама са супротносмерним током се сировина доводи у последњи степен станице (део система где је најнижи притисак), па се помоћу пумпи пребацује у суседне степене у којима влада виши притисак (слика 3.28).

Струјање раствора према овој технолошкој шеми се остварује помоћу пумпи које се налазе између појединих суседних степена упаривачке станице.



**Слика 3.28** Упаривачка станица са супротносмерним током

С обзиром да је у последњем степену упаривачке станице најнижи притисак у систему (а то значи да је и најнижа температура кључања раствора) следи да није потребно претходно догревање раствора испред упаривачке станице, односно да је економичнија потрошња топлоте у односу на претходну технолошку шему.

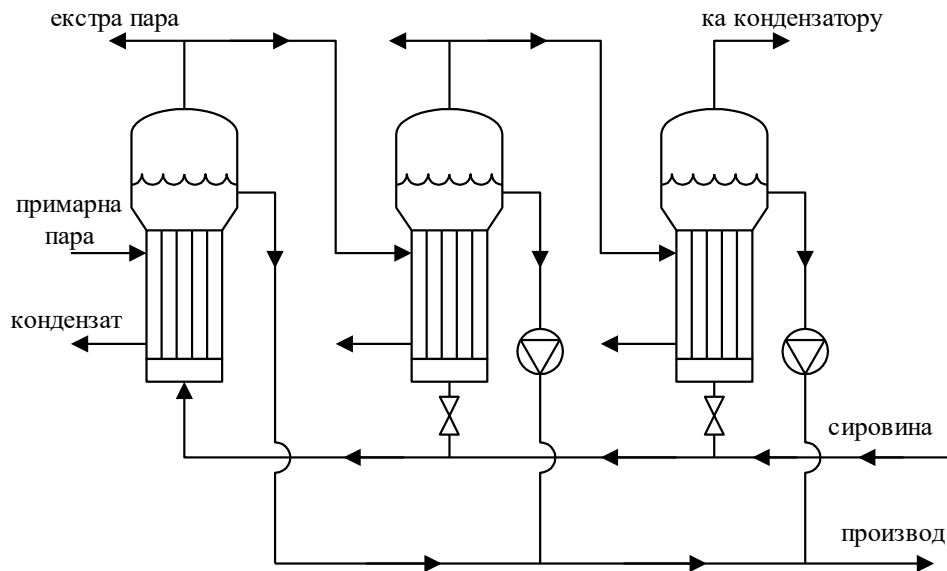
Овај начин упаравања се користи за растворе чија вискозност расте веома брзо са порастом концентрације раствора у мешавини, као и за упаравање раствора који имају велику термодинамичку депресију, односно високу температуру кључања.

Капацитет упаривачке станице са супротносмерним током је већи од капацитета станице са истосмерним током за исту укупну грејну површину система, што нарочито долази до изражаја при упаравању релативно вискозних раствора.

Основни недостатак ове технолошке шеме лежи у чињеници да није погодна за третман термолабилних раствора.

### 3.9.3 Упаривачке станице са паралелним током

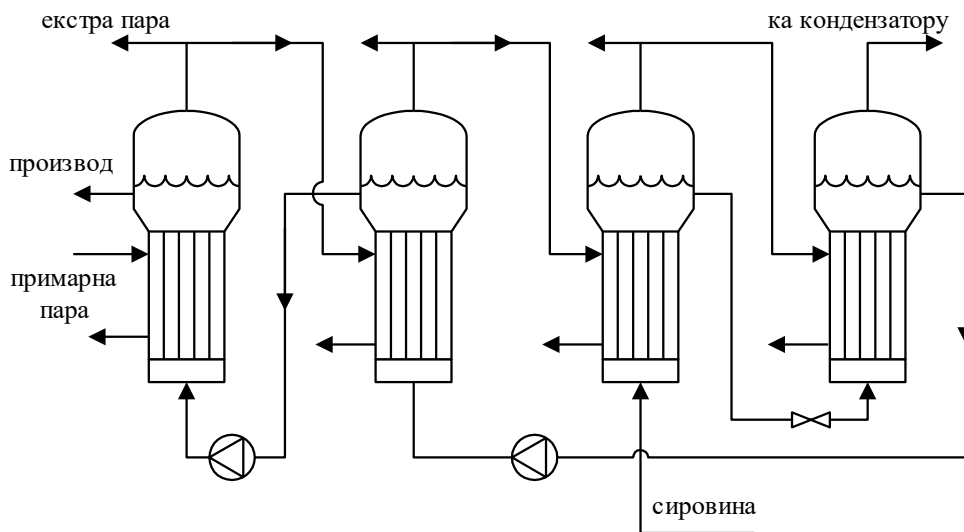
Упаривачка станица са паралелним током је према начину рада слична једностепеном упаравању, уз искоришћење секундарне паре. Наиме, у сваки степен упаривачке станице доводи се сировина која се упарава до крајње концентрације (слика 3.29). Ова шема упаравања се користи за третирање раствора који су склони кристализацији.



Слика 3.29 Упаривачка станица са паралелним током

### 3.9.4 Упаривачке станице са комбинованим током

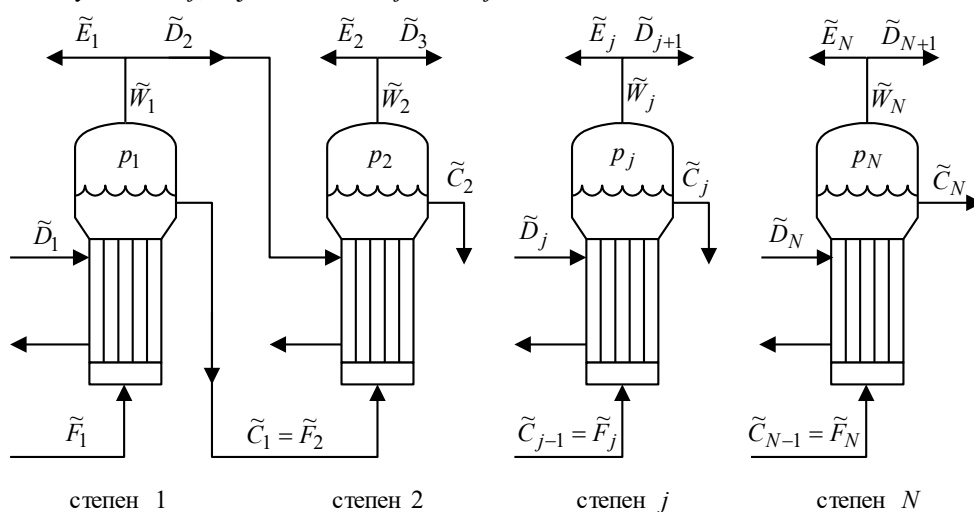
У овом случају сировина се уводи у неки од степена који није ни први ни последњи, а затим се транспортује кроз упаривачку станицу или природним током или помоћу пумпи (слика 3.30). На тај начин се избегавају неке од пумпи које би биле потребне за станицу са супротносмерним током, а омогућава се третирање концентрованог раствора на највишој температури у систему. Користи се за растворе већег вискозитета, као и за растворе који су склони кристализацији.



Слика 3.30 Упаривачка станица са комбинованим током

### 3.9.5 Биланс топлоте и супстанције код вишестепене упаривачке станице

Основу за инжењерско сагледавање рада упаривачке станице представљају биланси који се израђују за комплетну упаривачку станицу, као и за сваки од упаривача у оквиру станице. На слици 3.31 представљена је упаривачка станица са истосмерним током која има  $N$  степени упаравања. Означавање појединачних степени упаравања се врши помоћу индекса  $j$ , који се мења од  $j = 1$  до  $j = N$ .

Слика 3.31 Упаривачка станица са  $N$  степени упаравања

Проток сировине на улазу у упаривачку станицу је  $\tilde{F} = \tilde{F}_1$ , док се на излазу добија укувани раствор протока  $\tilde{C} = \tilde{C}_N$  и секундарна пара протока  $\tilde{W} = \tilde{W}_N$ . Одговарајући удели раствора су  $\tilde{x}_{F,j}$  (kgA/kg(A+B)) у сировини и  $\tilde{x}_{C,j}$  (kgA/kg(A+B)) у производу. За комплетну упаривачку станицу једначине укупног биланса супстанције и биланса за растворак гласе

$$\tilde{F}_1 = \tilde{C}_N + \tilde{W}_N \quad (3.68)$$

$$\tilde{F}_1 \cdot \tilde{x}_{F,1} = \tilde{C}_N \cdot \tilde{x}_{C,N} \quad (3.69)$$

одакле се добија укупни проток секундарне паре

$$\tilde{W}_{uk} = \tilde{F}_1 \cdot \left( 1 - \frac{\tilde{x}_{F,1}}{\tilde{x}_{C,N}} \right) \quad (3.70)$$

при чему важи

$$\tilde{W}_{uk} = \sum_{j=1}^N \tilde{W}_j \quad (3.70)$$

Грејни флуид у првом упаривачком телу је примарна пара протока  $\tilde{D} = \tilde{D}_1$  која се кондензује, при чему кондензат напушта постројење на температури кључања. Загревање осталих степени се одвија помоћу секундарне паре. Секундарна пара на излазу из  $j$ -тог упаривачког степена, протока  $\tilde{W}_j$  се може користити на два начина:

- као примарна пара за обављање операције у следећем степену протока  $\tilde{D}_{j+1}$ ;
- као екстра пара протока  $\tilde{E}_j$  која се одводи ван упаривачког постројења за друге потребе.

Специфична енталпија секундарне паре је  $\tilde{h}_{W,j}^G = \tilde{h}_{D,j+1}^G = \tilde{h}_{E,j}^G$ , док је након кондензације у  $j$ -том упаривачком степену специфична енталпија кључале течности  $\tilde{h}_{D,j}^L$ , па биланс продукције паре за  $j$ -то упаривачко тело гласи

$$\tilde{W}_j = \tilde{E}_j + \tilde{D}_{j+1} \quad (3.71)$$

Ради постављања топлотног биланса потребно је дефинисати одговарајуће специфичне енталпије сировине  $\tilde{h}_{F,j}$  (J/kg) и производа  $\tilde{h}_{C,j}$  (J/kg).

За произвољно упаривачко тело се могу поставити једначине биланса супстанције, и то:

- једначина укупног биланса супстанције

$$\tilde{F}_j = \tilde{C}_j + \tilde{W}_j \quad (3.71)$$

- једначина биланса за растворак

$$\tilde{F}_j \cdot \tilde{x}_{F,j} = \tilde{C}_j \cdot \tilde{x}_{C,j} \quad (3.72)$$

Проток секундарне паре износи

$$\tilde{W}_j = \tilde{F}_j \cdot \left( 1 - \frac{\tilde{x}_{F,j}}{\tilde{x}_{C,j}} \right) \quad (3.73)$$

Топлотна снага посматраног упаривачког тела је

$$\dot{Q}_j = \tilde{D}_j \cdot \left( \tilde{h}_{D,j}^G - \tilde{h}_{D,j}^L \right) \quad (3.75)$$

Са стране раствора једначина топлотног биланса гласи

$$\dot{Q}_j + \tilde{F}_j \cdot \tilde{h}_{F,j} = \tilde{C}_j \cdot \tilde{h}_{C,j} + \tilde{W}_j \cdot \tilde{h}_{W,j} + \dot{Q}_{DH,j} + \dot{Q}_{g,j} \quad (3.76)$$

одакле следи

$$\dot{Q}_j = \tilde{C}_j \cdot \tilde{h}_{C,j} - \tilde{F}_j \cdot \tilde{h}_{F,j} + \tilde{W}_j \cdot \tilde{h}_{W,j} + \dot{Q}_{DH,j} + \dot{Q}_{g,j} \quad (3.76)$$

где су:

- $\dot{Q}_{DH,j}$ , W, топлота дехидрације у посматраном упаривачком телу

$$\dot{Q}_{DH,j} = \tilde{F}_j \cdot \tilde{x}_{F,j} \cdot q_{F,j} - \tilde{C}_j \cdot \tilde{x}_{C,j} \cdot q_{C,j} \quad (3.80)$$

- $\dot{Q}_{g,j}$ , W, губици топлоте у околину.

Топлотна снага се за  $j$  – ти упаривач може исказати у облику

$$\dot{Q}_j = k_j \cdot S_j \cdot \Delta t_{sr,j} \quad (3.76)$$

где су:

- $k_j$ , W/(m<sup>2</sup>·K), коефицијент пролаза топлоте;
- $S_j$ , m<sup>2</sup>, површина за размену топлоте;
- $\Delta t_{sr,j}$ , °C, средња температурска разлика.

У разматраном случају средња температурска разлика се израчунава помоћу израза

$$\Delta t_{sr,j} = t_{D,j} - t_{r,j} \quad (3..)$$

при чему се за прорачун референтне температуре кључања раствора узимају у обзир температурска и хиростатичка депресија. Температуру кондензације у посматраном упаривачу не за вредност хидраулчке депресије нижа од температуре паре која напушта претходни  $j - 1$  степен упаравања. У развијеном облику се добија

$$\Delta t_{sr,j} = (t_{W,j-1} - \Delta_{3,j}) - (t_{r,j} + \Delta_{1,j} + \Delta_{2,j}) \quad (3..)$$

одакле следи

$$\Delta t_{sr,j} = (t_{W,j-1} - t_{r,j}) - (\Delta_{1,j} + \Delta_{2,j} + \Delta_{3,j}) \quad (3..)$$