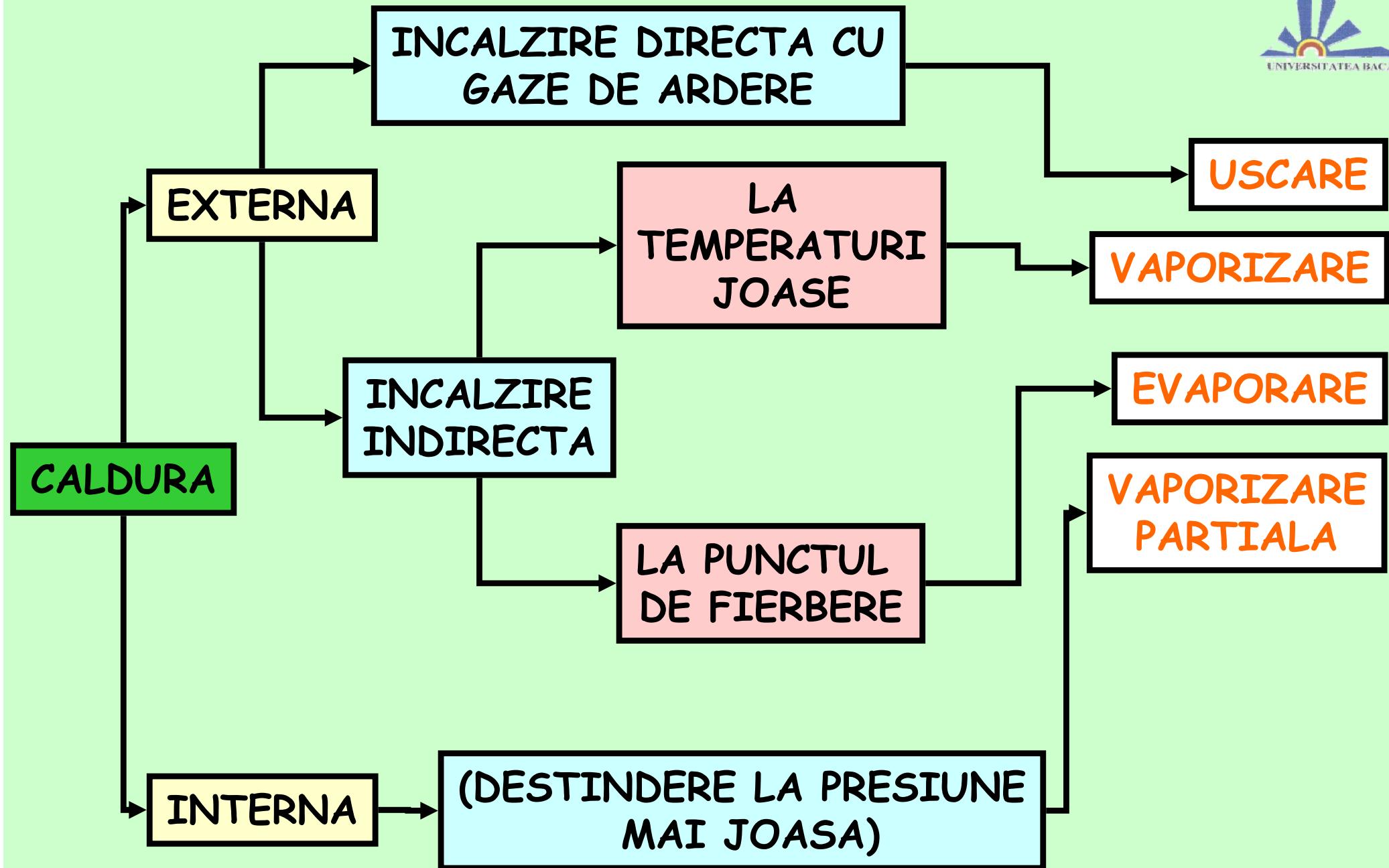


# EVAPORAREA

# EVAPORARE (VAPORIZARE)

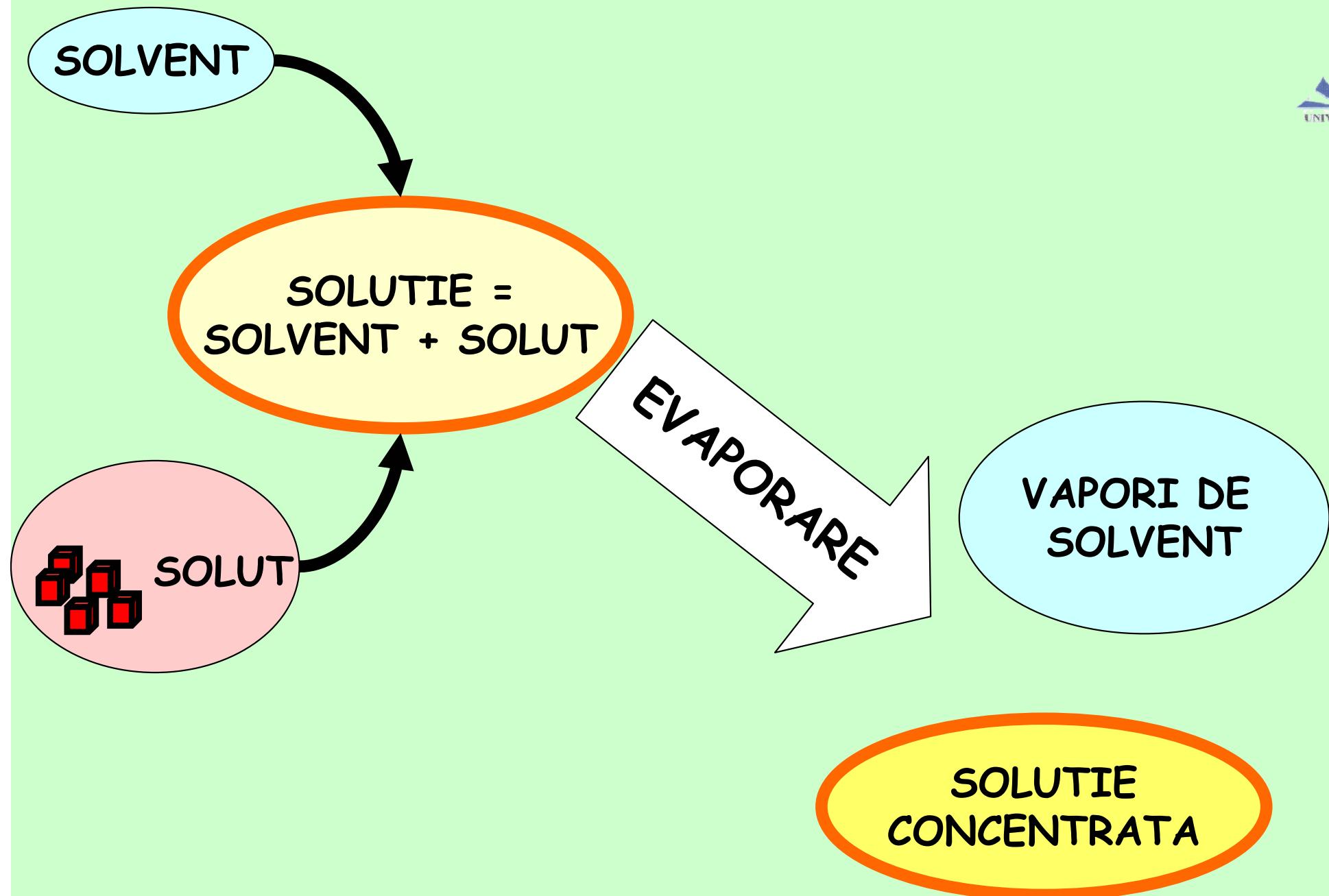
- o Operatia prin care un **lichid** este transformat in **vapori**;
- o Evaporare:
  - cu aport de caldura din exterior;
  - prin micsorarea presiunii;
- o Evaporarea la  $T = T_{fierbere}$  → **FIERBERE**

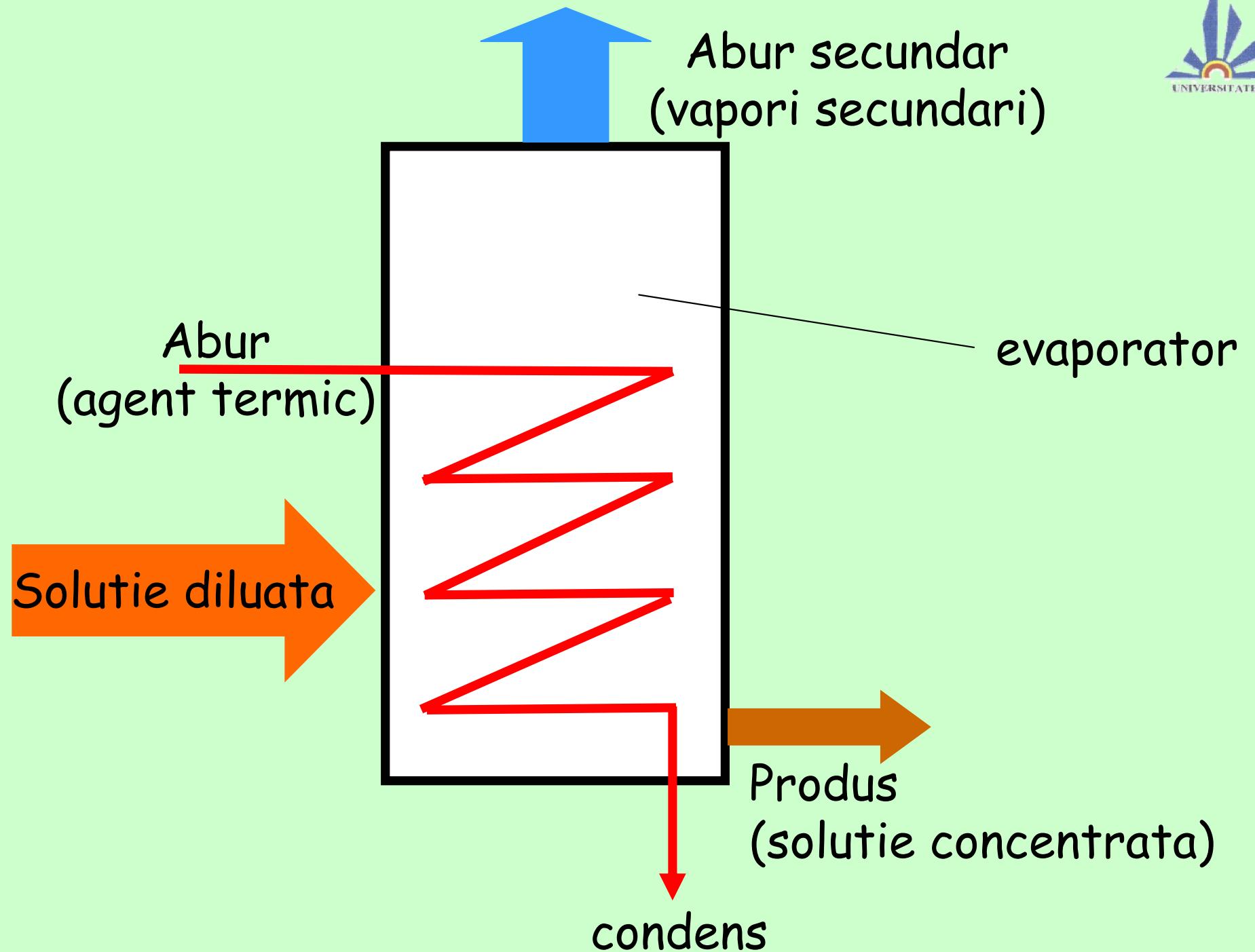


# CALDURA NECESARA VAPORIZARII



- o Contact direct intre lichidul de evaporat si:
  - aer cald
  - gaze de ardere
- o Incalzire indirecta de la:
  - un focar
  - un purtator de caldura (ABUR)





# Factori care influenteaza concentrarea prin evaporare

## o Factori referitor la solutia diluata:

- Natura solutiei
- Concentratia solutiei
- Fluctuatiile conc.
- Solubilitatea solutului
- Debitul solutiei
- Temperatura solutiei la intrare
- Proprietatile solutiei si variatia lor cu conc. si temp.
- Formarea de spuma
- Formarea de depuneri, cristale, cruste, mal
- Sensibilitatea termica
- Agresivitatea chimica

# Factori care influenteaza concentrarea prin evaporare

## o Factori referitori la produs

- Forma produsului: solutie, sirop, cristale;
- Concentratia solutiei finale;
- Proprietatile produsului si variatia lor cu conc. si temp.;
- Cantitatea (debitul) produsului

# Factori care influenteaza concentrarea prin evaporare

o Factori referitori la operatia si instalatia de evaporare:

- Modul de functionare (continuu sau in sarje)
- Tipul vaporizatorului
- Numarul vaporizatoarelor
- Circulatia vaporilor in instalatie
- Circulatia solutiei in evaporator
- Circulatia solutiei in instalatie
- Prizele de vapori
- Evacuarea vaporilor (atmosfera sau condensator)

# Factori care influenteaza concentrarea prin evaporare

o Factori referitori la operatia si instalatia de evaporare:

- Presiunea si temperatura in evaporatoare
- Presiunea hidrostatica in evaporatoare
- Caracteristicile agentului termic (aburului) proaspăt
- Consumul de abur
- Durata evaporarii
- Debitul si temperatura apei de racire la condensator
- Materialele de constructie pt. evaporatoare, pompe, conducte etc.
- Costul investitiei si costurile de exploatare

# Presiunea de vapori si temperatura de fierbere a solutiei

- o Solutiile substantelor solide fierb la temperaturi mai ridicate decat solventul pur ( $\Delta P = ct.$ )
- o Cresterea temperaturii de fierbere este direct proportionala cu concentratia solutului

# Calculul temperaturii de fierbere

o Pentru solutii apoase:

$$\Delta T_e = 0,511 \times m$$

$\Delta T_e$  - cresterea punctului de fierbere (K);

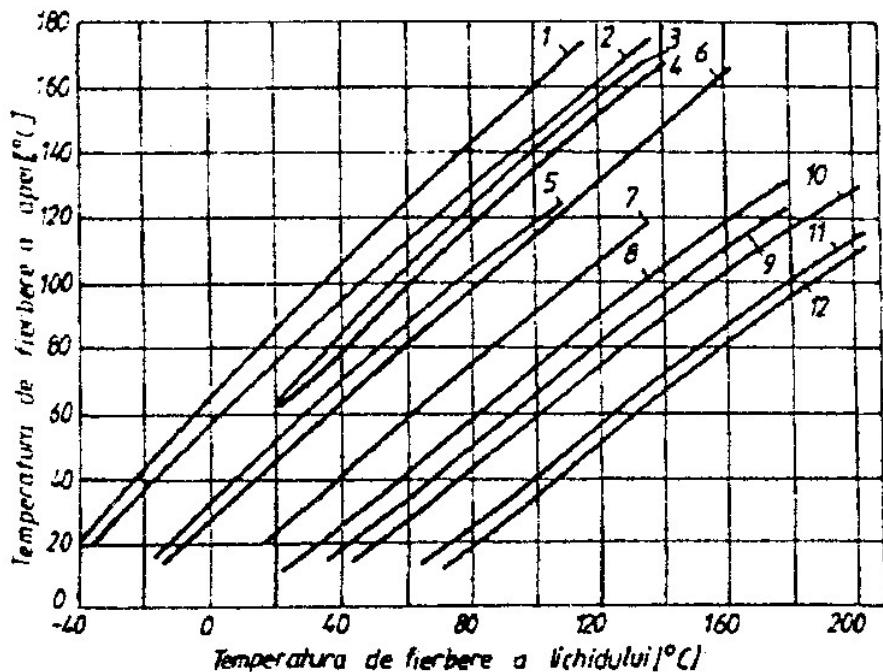
m - conc. molala a solutiei (mol solut/kg solvent);

o Pentru solutii de zahar, sucuri de fructe, lapte etc.:

$$\Delta T_e = 0,38 \exp \{0,05 + 0,045x\}$$

x - concentratia produsului in substanta uscata, (%).

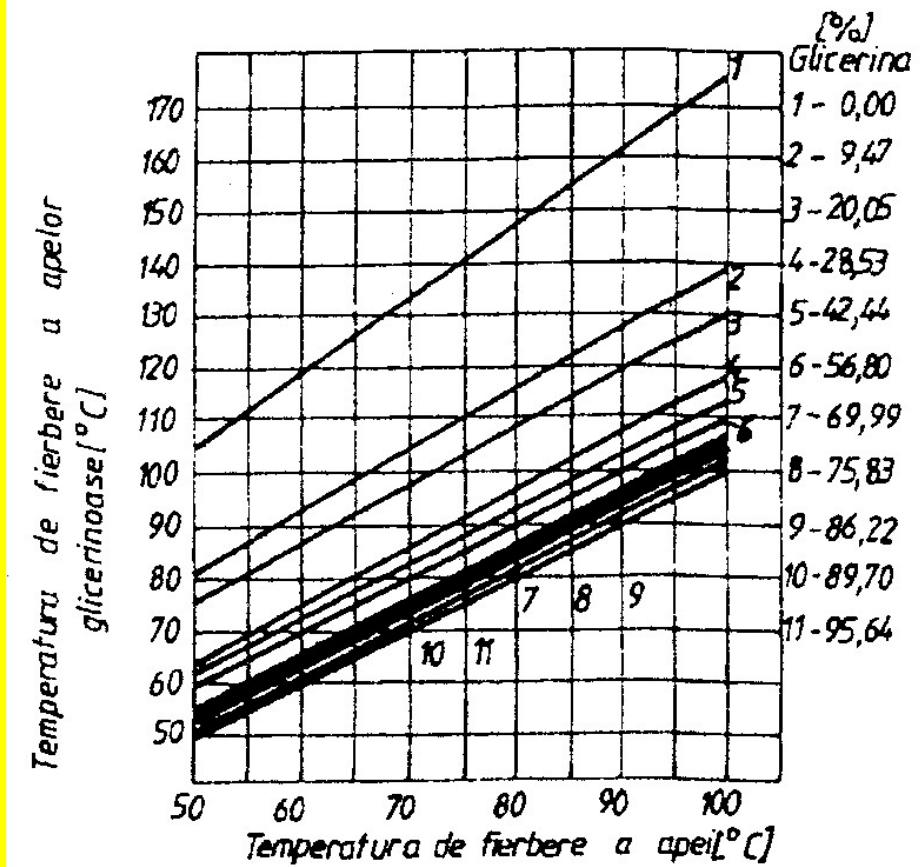
# Calculul temperaturii de fierbere



Liniile lui Duhring pentru

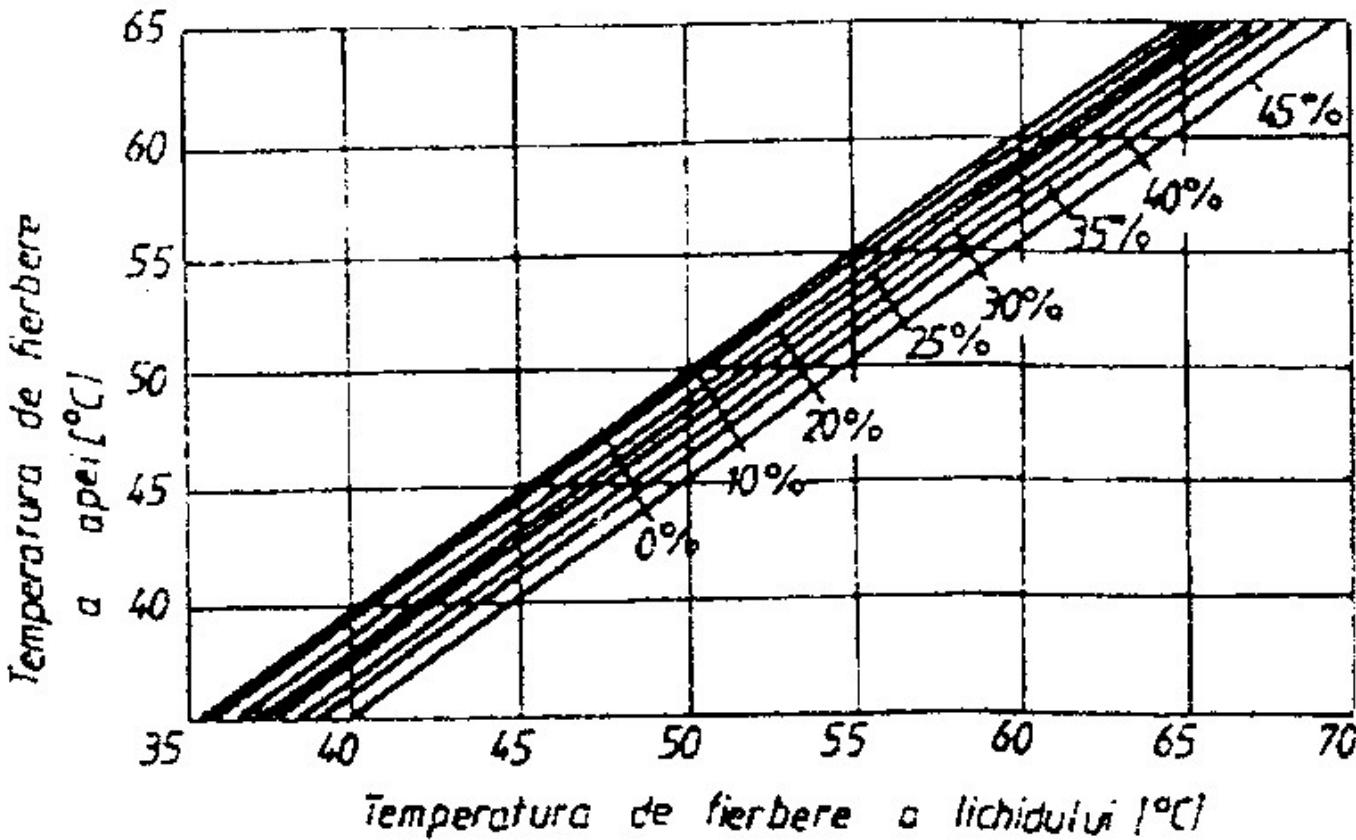
determinarea temperaturii de fierbere:

- 1 – eter etilic; 2 – sulfură de carbon; 3 – acetona; 4 – cloroform; 5 – tetraclorură de carbon; 6 – benzen; 7 –toluen; 8 – clorbenzen; 9 – oxitol; 10 – brombenzen; 11 – benzaldehidă; 12 – anilină.



Temperatura de fierbere a soluțiilor de glicerină - apă funcție de temperatura de fierbere a apei și de conținutul în glicerină

# Calculul temperaturii de fierbere



Liniile lui Duhring pentru pastă de tomate de diferite concentrații.

# Sensibilitatea termica a solutiilor

- o Majoritatea produselor alimentare se degradeaza (denatureaza) la temp. ridicate;
- o Degradarea creste cu cresterea temp. si a timpului de incalzire;
- o Produsele termolabile se concentreaza:
  - La temperaturi reduse (sub depresiune);
  - La timpi de stationare redusi in aparat (evaporare in film);
  - In instalatii cu un numar mic de efecte de concentrare;
- o Concentrarea unor produse (sucuri de fructe etc.) necesita **recuperarea aromelor**.

# Viscozitatea solutiilor

- o Creste cu cresterea conc. componentului nevolatil;
- o Scade cu cresterea temperaturii;
- o Influenteaza valoarea coeficientilor de transfer termic;

# Spumarea solutiilor

- o Produce antrenarea picaturilor in vapori:
  - Pierderi de substanta utila;
  - Impurificare condensat;
- o Adaugare de antispumanti (cand este posibil);
- o Spargatoare mecanice de spuma;
- o Separatoare de picaturi.

# Depunerea de cruste

- o Micsoreaza coeficientii de transfer termic;
- o Se elimina prin:
  - Spalarea periodica a corpurilor;
  - Adaugare de antiincrustanti (daca e posibil);
  - Reglare parametrii proces ( $P$ ,  $T$ ,  $\tau$ );
  - Constructie evaporator;
  - Supradimensionare evaporator.

# PROCEDEE DE EVAPORARE

Procedee in care eliminarea solventului din solutia diluata se face prin incalzire indirecta, a.i. faza gazoasa sa contina numai vaporii solventului (cu urme de solut antrenat si cantitati mici de gaze necondensabile, de regula aer):

1. Evaporarea simpla;
2. Evaporarea cu efect multiplu;
3. Evaporarea cu pompa de caldura.

# EVAPORAREA SIMPLA

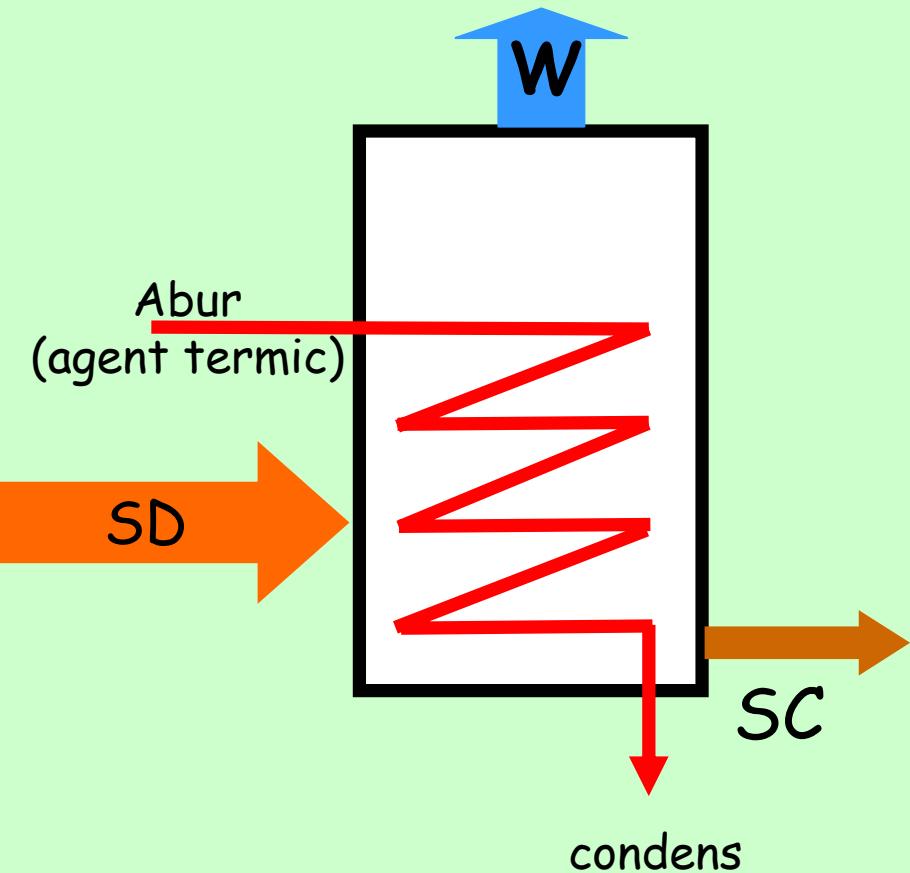
- o Fierberea solutiei diluate (SD) pana la atingerea concentratiei finale impuse;
- o Vaporii rezultati (vapori secundari, W) sunt eliminati in atmosfera sau trecuti intr-un condensator;
- o Fierberea are loc:
  - la presiune atmosferica;
  - sub vid ( $P < P_{atm}$ )
- o Evaporatorul este incalzit uzual cu abur primar (D).

# EVAPORAREA SIMPLA

## o Evaporare

- **discontinua** (in sarje) - regim nestationar;
- **continua** - regim stationar: conc. ( $x$ ), temp. ( $T$ ) si debite ( $M$ ) constante in timp in fiecare punct al instalatiei

# CALCULUL EVAPORARII SIMPLE



o BILANT DE MATERIALE

\* BILANTUL TOTAL:

$$m_{SD} = m_{SC} + W$$

\* BILANTUL SOLUTULUI:

$$m_{SD} \cdot X_{SD}^A = m_{SC} \cdot X_{SC}^A$$

\* BILANTUL SOLVENTULUI  
(BILANTUL APEI):

$$m_{SD} \cdot X_{SD}^{apa} = m_{SC} \cdot X_{SC}^{apa} + W$$

$$m_{SD} \cdot (1 - X_{SD}^A) = m_{SC} \cdot (1 - X_{SC}^A) + W$$

# CALCULUL EVAPORARII SIMPLE

o Debitul de abur secundar:

$$W = m_{SD} \cdot \left( 1 - \frac{x_{SD}^A}{x_{SC}^A} \right)$$

$m_{SD}$  - debitul solutiei diluate, kg/s;

$m_{SC}$  - debitul solutiei concentrate, kg/s;

$W$  - debitul aburului secundar, kg/s;

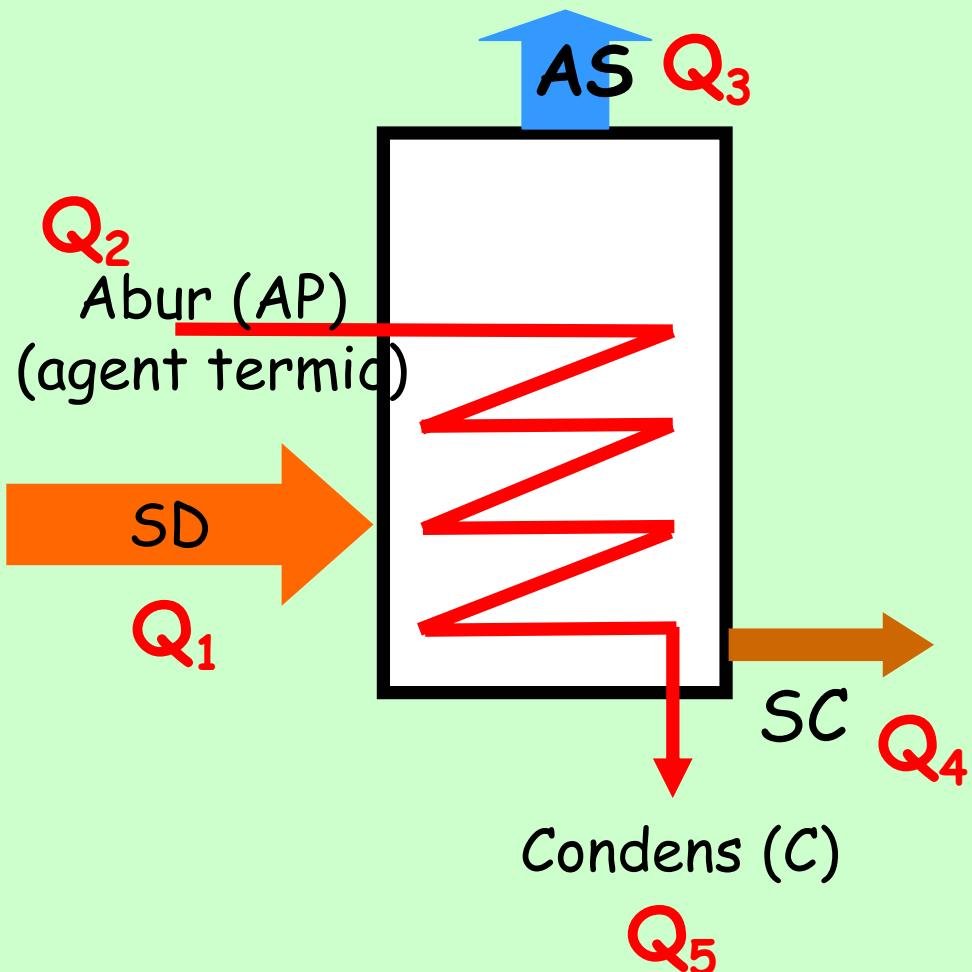
$x_{SD}^A$  - concentratia solutului A in SD, kg A/kg sol.;

$x_{SC}^A$  - concentratia solutului A in SC, kg A/kg sol.;

$x^{apa}$  - concentratia apei, kg apa/kg sol.

# CALCULUL EVAPORARII SIMPLE

## o BILANTUL TERMIC



$Q_1$  - caldura intrata cu SD

$Q_2$  - caldura intrata cu AP

$Q_3$  - caldura iesita cu AS

$Q_4$  - caldura iesita cu SC

$Q_5$  - caldura iesita cu C

# BILANT TERMIC

- o  $Q_1 = m_{SD} \times c_{pSD} \times T_{SD}$  [kJ/s];
- o  $Q_2 = m_{AP} \times i''_{AP}$  [kJ/s];
- o  $Q_3 = m_{AS} \times i''_{AS}$  [kJ/s];
- o  $Q_4 = m_{SC} \times c_{psc} \times T_{SC}$  [kJ/s];
- o  $Q_5 = m_{AP} \times i'_{AP}$  [kJ/s];
- o  $Q_p$  = pierderile de caldura in exterior

$\Sigma$  **Calduri intrate** =  $\Sigma$  **Calduri iesite**

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_p$$

# BILANT TERMIC

- o Admitand aditivitatea capacitatilor termice:

$$m_{SD} \times C_{pSD} = m_{SC} \times C_{pSC} + m_{AS} \times C_{p\text{ apa}}$$

- o Termenul  $Q_4$  se poate scrie:

$$Q_4 = (m_{SD} \times C_{pSD} - m_{AS} \times C_{p\text{ apa}}) \times T_{SC}$$

- o Grupand caldurile intrate, caldurile iesite si neglijand pierderile:

$$m_{SD} \times C_{pSD} \times T_{SD} + m_{AP} \times i''_{AP} = m_{AS} \times i''_{AS} + (m_{SD} \times C_{pSD} - m_{AS} \times C_{p\text{ apa}}) \times T_{SC} + m_{AP} \times i'_{AP}$$

# BILANT TERMIC

o Grupand termenii se obtine ecuatia:

$$m_{AP}(i''_{AP} - i'_{AP}) + m_{SD} \times c_{pSD} (T_{SD} - T_{SC}) = \\ m_{AS}(i''_{AS} - c_{papa})$$

care se poate scrie:

$$m_{AP} \frac{i''_{AP} - i'_{AP}}{i''_{AS} - c_{papa}} + m_{SD} \cdot c_{pSD} \frac{T_{SD} - T_{SC}}{i''_{AS} - c_{papa}} = m_{AS}$$

sau:

$$\alpha \cdot m_{AP} + \beta \cdot m_{SD} = m_{AS}$$

$$\alpha \cdot D + \beta \cdot m_{SD} = W$$

# BILANT TERMIC

- o Coeficientul  $\alpha$  - coeficient de evaporare

$$\alpha = \frac{i''_{AP} - i'_{AP}}{i''_{AS} - C_p \text{ apa}}$$

[kg solvent evaporat/kg AP]

raportul dintre caldura cedata in evaporator de unitatea de masa de AP si caldura necesara evaporarii unei unitati masice de solvent in conditiile din evaporator

# BILANT TERMIC

- o Coeficientul  $\beta$  - coeficient de autoevaporare

$$\beta = C_{p\ SD} \frac{T_{SD} - T_{SC}}{i''_{AS} - C_{p\ apa}}$$

raportul dintre caldura adusa de unitatea de masa de SD cand trece de la temp. de intrare ( $T_{SD}$ ) la temp. din evaporator ( $T_{SC}$ ) si caldura necesara evaporarii unei unitati masice de solvent in conditiile din evaporator.

# BILANT TERMIC

- o Daca  $T_{SD} > T_{SC} \rightarrow \beta > 0$ ;

O parte din solutie se evapora pe seama micsorarii temp. de la  $T_{SD}$  la  $T_{SC}$

- o Daca  $T_{SD} < T_{SC} \rightarrow \beta < 0$ ;

O parte din caldura se consuma pentru ridicarea temp. solutiei diluate de la  $T_{SD}$  pana la  $T_{SC}$

- o Daca  $T_{SD} = T_{SC} \rightarrow \beta = 0$ ;

Cantitatea de solvent evaporata pe seama caldurii SD este nula.

# BILANT TERMIC

- Debitul aburului primar de incalzire:

$$D = \frac{W - \beta \cdot m_{SD}}{\alpha}$$

- Cand condensatul este evacuat la  $T_{condensare}$  ( $i''_{AP} - i'_{AP} = r_{AP}$  - caldura latentă de condensare):

$$D = \frac{W \cdot (i''_{AP} - c_{pSD} \cdot T_{SD}) - m_{SD} \cdot c_{pSD} \cdot (T_{SD} - T_{sc})}{r_{AP}}$$

# BILANT TERMIC

Uzual,

$$W \cdot (i''_{AP} - c_{pSD} \cdot T_{SD}) \gg m_{SD} \cdot c_{pSD} \cdot (T_{SD} - T_{SC})$$

iar daca solventul este apa,

$$(i''_{AP} - c_{pSD} \cdot T_{SD}) \approx r_{AP}$$

Cu aceste simplificari,  $D \approx W$

CANTITATEA DE VAPORI SECUNDARI ( $W$ )

REZULTATA PRIN EVAPORARE ESTE

APROXIMATIV EGALA CU CANTITATEA DE ABUR

PRIMAR ( $D$ ) NECESARA PENTRU INCALZIRE.

# Transfer de caldura în evaporatoare

o Caldura cedată de aburul în condensare:

$$Q_{ced} = Q_2 - Q_5$$

o Caldura primită de lichidul în fierbere:

$$Q_{prim} = Q_3 + Q_4 - Q_1$$

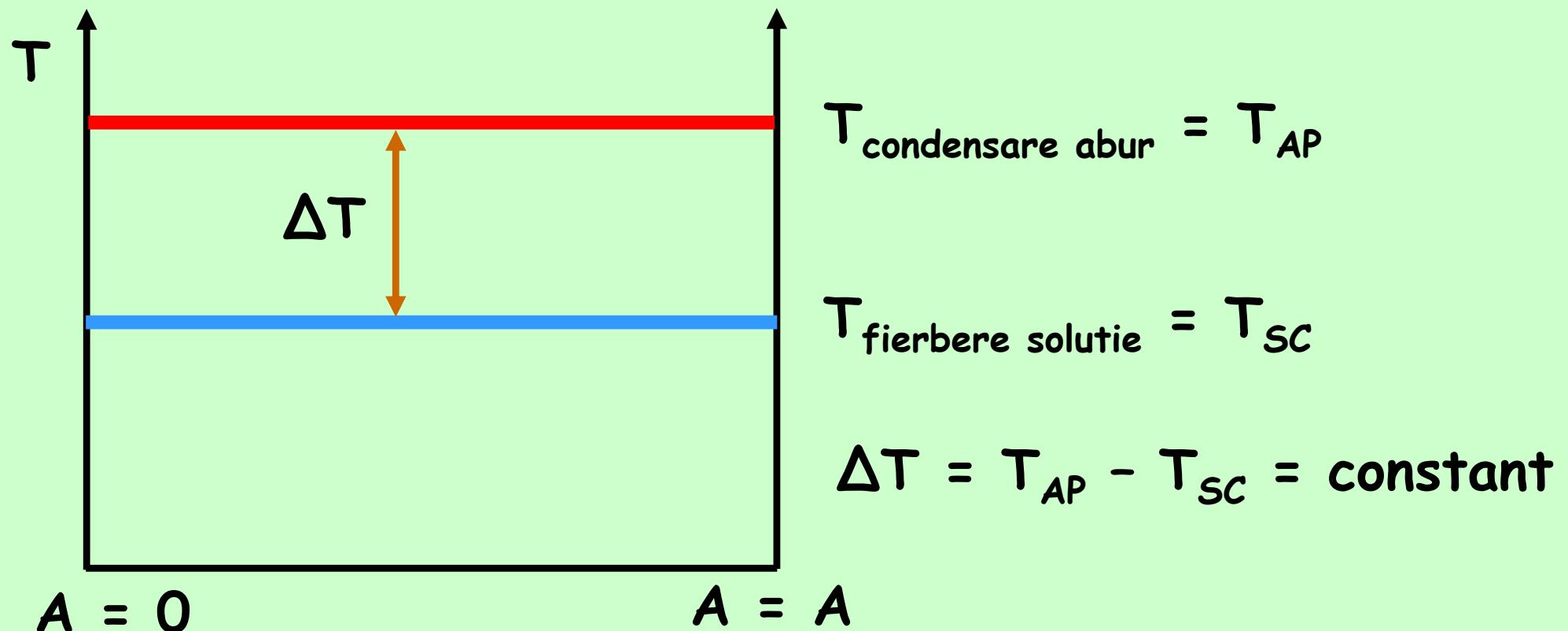
o Caldura transmisa prin suprafața de transfer:

$$Q_{ced} = Q_{prim} = K \times A \times \Delta T$$

# Transfer de caldura in evaporatoare

- o Potentialul transferului termic,  $\Delta T$

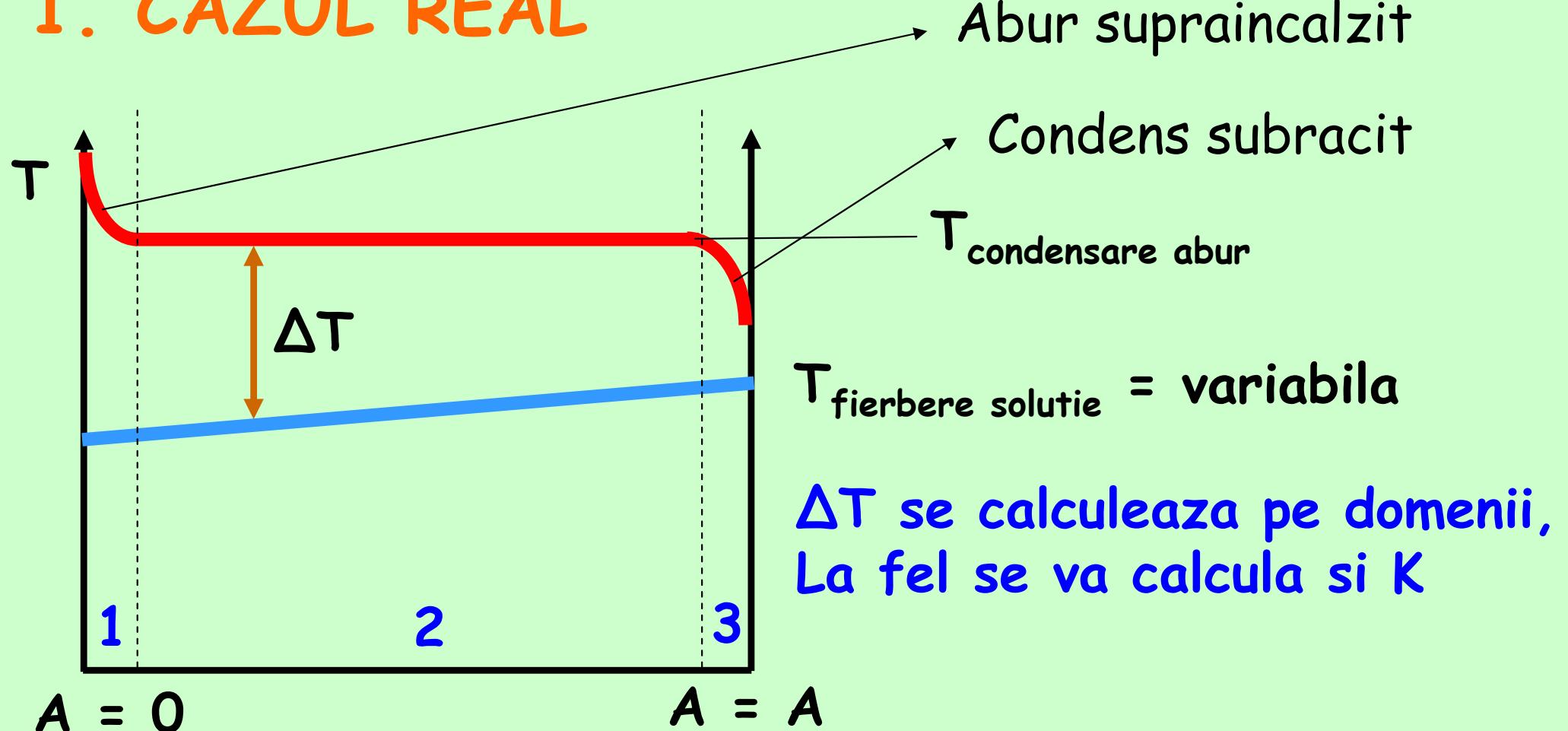
## 1. CAZUL IDEAL



# Transfer de caldura în evaporatoare

- Potentialul transferului termic,  $\Delta T$

## 1. CAZUL REAL



# Transfer de caldura in evaporatoare

- o Coeficientul global de transfer termic, K, este functie de:
  - Constantele fizice ale solutiei [ $\pi = \pi(x, T)$ ]
  - Adancimea stratului de lichid din evaporator;
  - Felul si intensitatea circulatiei solutiei in evaporator;
  - Existenta depunerilor pe suprafetele de incalzire;
  - Geometria spatiului de fierbere;
- o Nu exista relatii de calcul universale;
- o  $K = 1 \div 10^3 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

# EVAPORAREA CU EFECT MULTIPLU

- La EVAPORAREA SIMPLA, 1 kg AP produce cca. 1 kg AS, care contine aprox. aceeasi cantitate de caldura ca si AP;
- Deosebirea dintre AP si AS:

$$T_{AS} < T_{AP} \quad (P_{AS} < P_{AP})$$

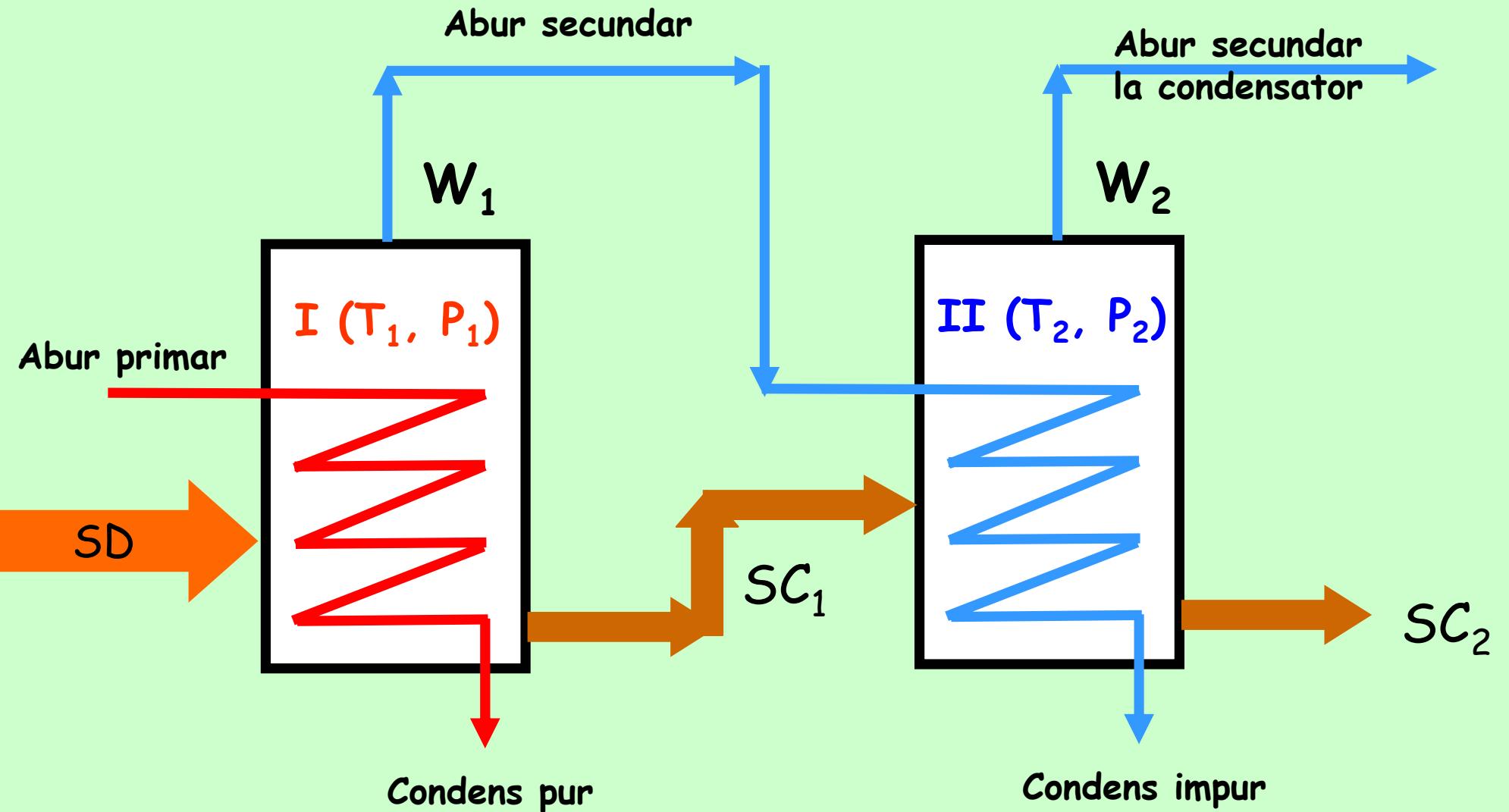
- Diferenta de temp. (P) asigura transferul termic de la AP la lichidul in fierbere.
- Principiul evaporarii cu efect multiplu (EEM): AS dintr-un evaporator este utilizat ca agent termic in evaporatorul urmator.

# EVAPORAREA CU EFECT MULTIPLU

- o Utilizarea AS din evap. "i" ca agent termic in evap. "i + 1" conduce la:
  - **Economie de abur** (1 kg AP vaporizeaza "n" kg apa in cele "n" evaporatoare din instalatie);
  - **Economie de apa de racire in condensator** (din cele "n" kg de apa evaporata in instalatie, doar aprox. 1 kg intra in condensator, restul condensand cand cedeaza caldura solutiei in fierbere).

$$T_2 < T_1$$

$$P_2 < P_1$$



# EVAPORAREA CU EFECT MULTIPLU

- o Intr-o instalatie de EEM cu "n" corpuri de evaporare:

$$T_1 > T_2 > T_3 > \dots > T_n$$
$$P_1 > P_2 > P_3 > \dots > P_n$$

- o O instalatie EEM contine mai multe evaporatoare (uzual identice) astfel conectate incat AS produs in evaporatorul "i" sa treaca in spatiul de incalzire al evaporatorului "i + 1";
- o Evaporatorul "1" este incalzit cu AP, iar AS din evaporatorul "n" merge la condensator.

# EVAPORAREA CU EFECT MULTIPLU



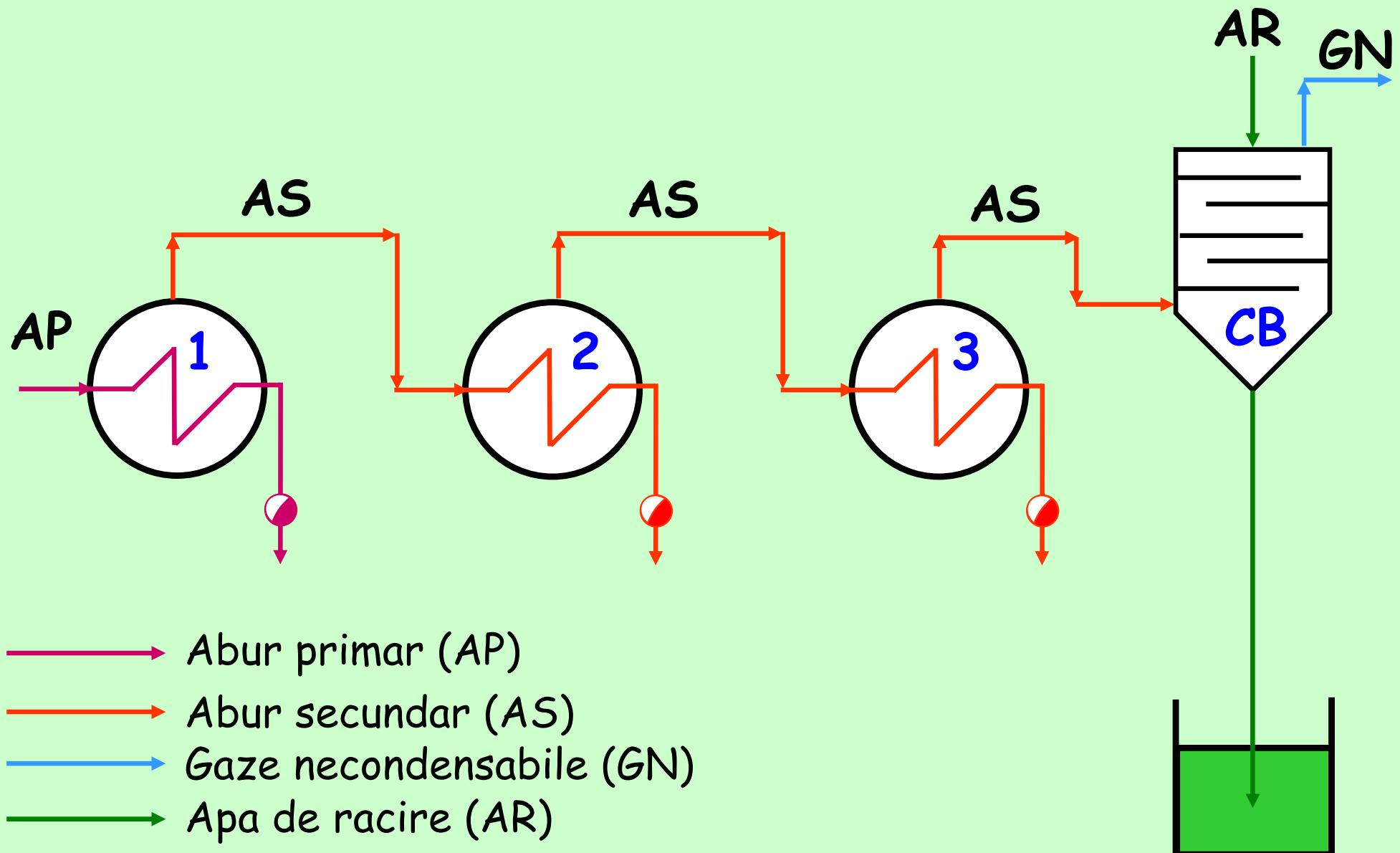
- o Instalatiile de EEM se deosebesc intre ele:
  - Dupa circulatia aburului;
  - Dupa circulatia solutiei;
  - Dupa numarul corpurilor (evaporatoarelor);
  - Dupa numarul efectelor de evaporare;
  - Dupa tipul condensatorului utilizat

# IEEM – CIRCULATIA VAPORILOR

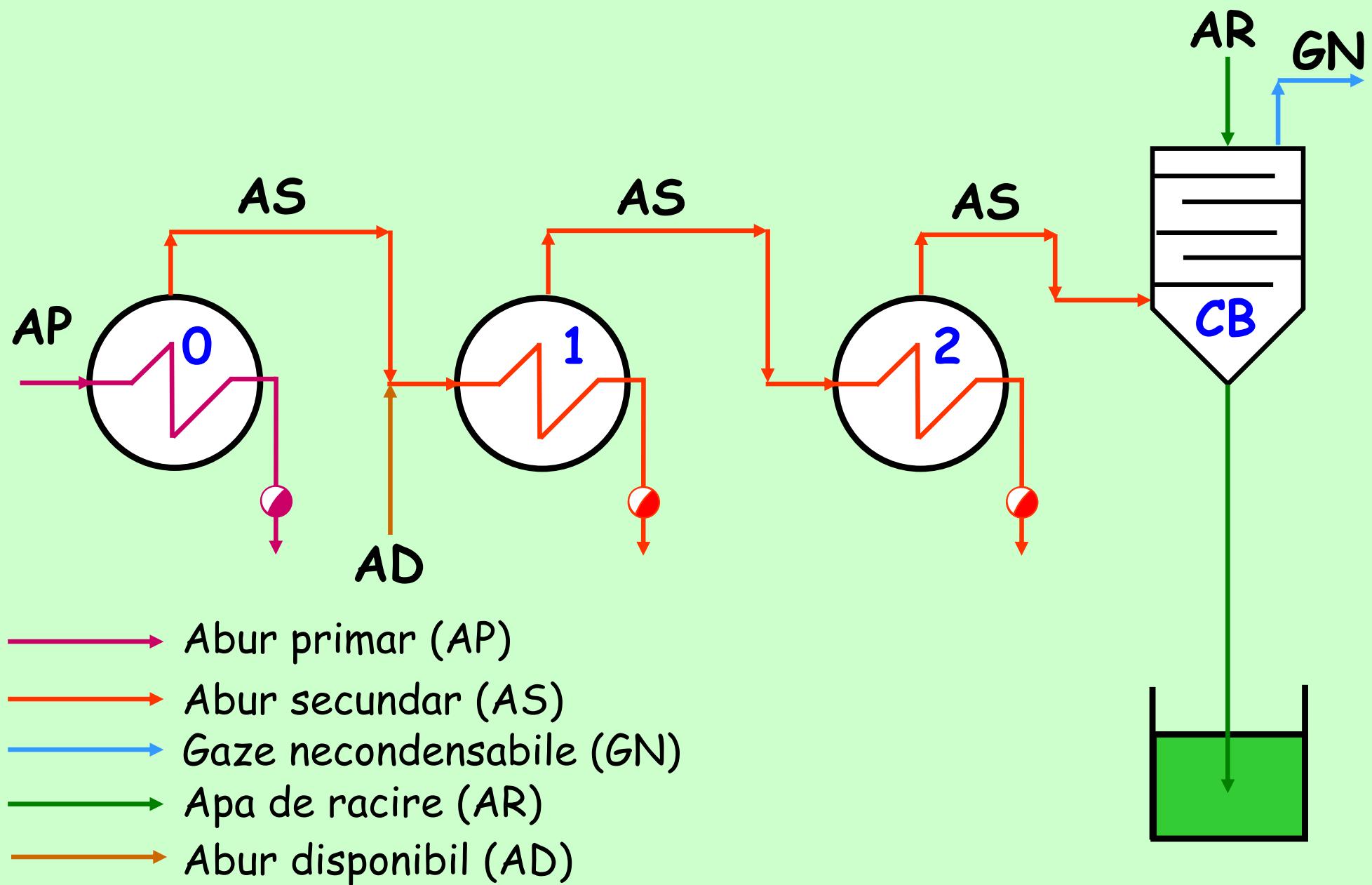


- o Instalatii cu circulatie normala a vaporilor;
- o Instalatii cu vaporizator zero;
- o Instalatii cu priza de vapori;

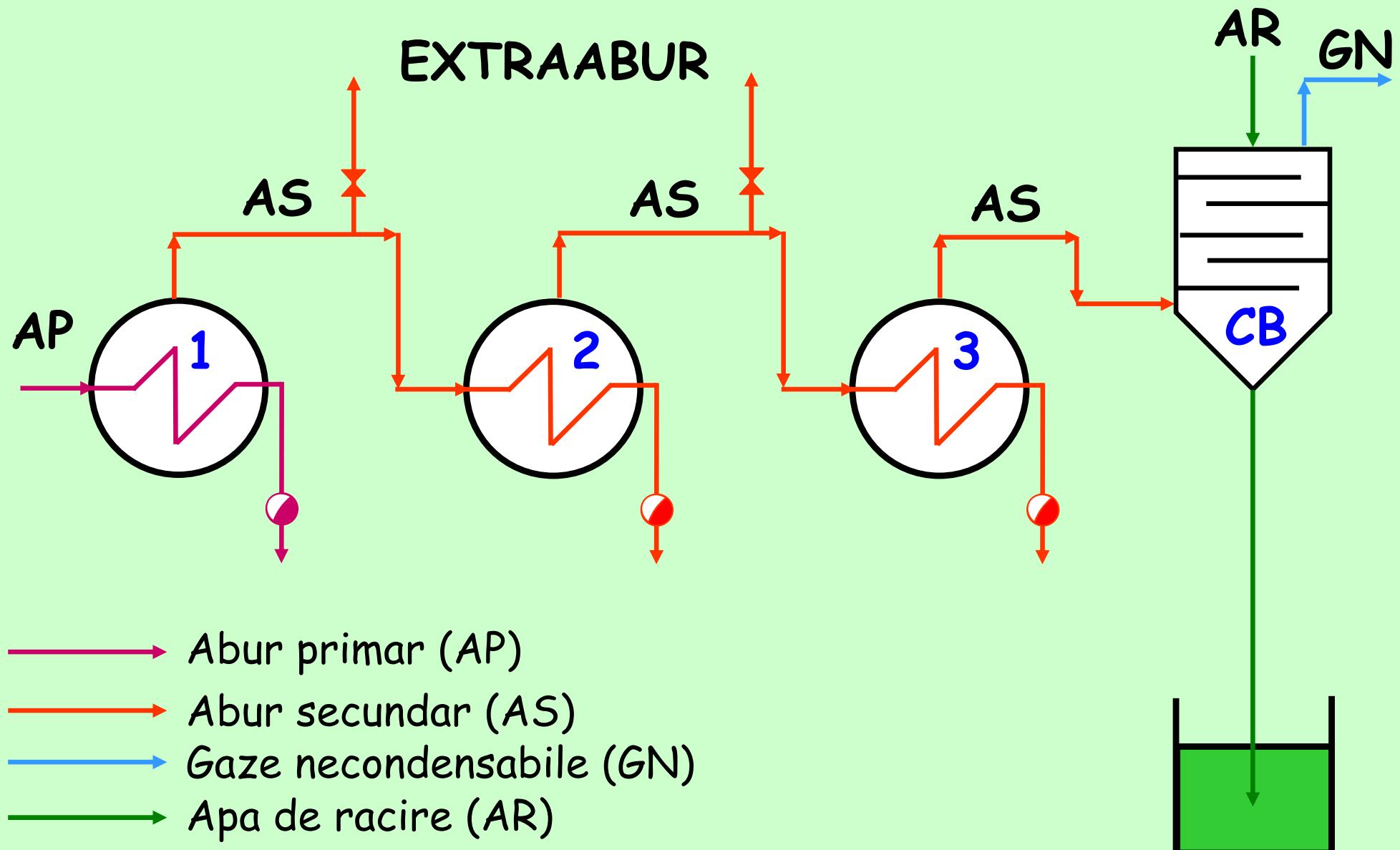
# IEEM cu circulatie normala a vaporilor



# IEEM cu evaporator zero



# IEEM cu prize de vapori

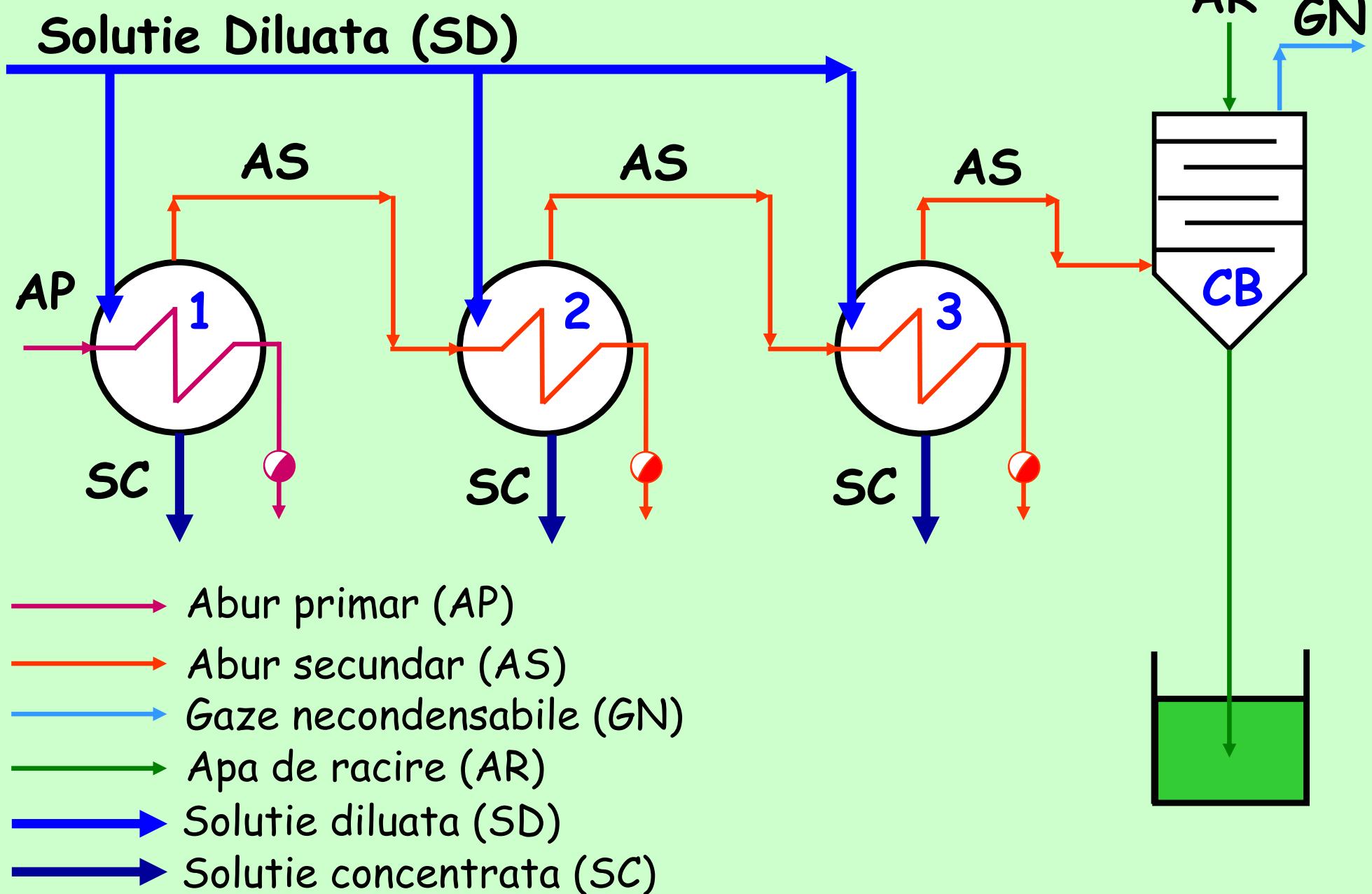


# **IEEM – CIRCULATIA SOLUTIEI**



- o Instalatii cu alimentarea individuala a evaporatoarelor;
- o Instalatii cu circulatie in echicurent;
- o Instalatii cu circulatie in contracurrent;
- o Instalatii cu circulatie in curent mixt.

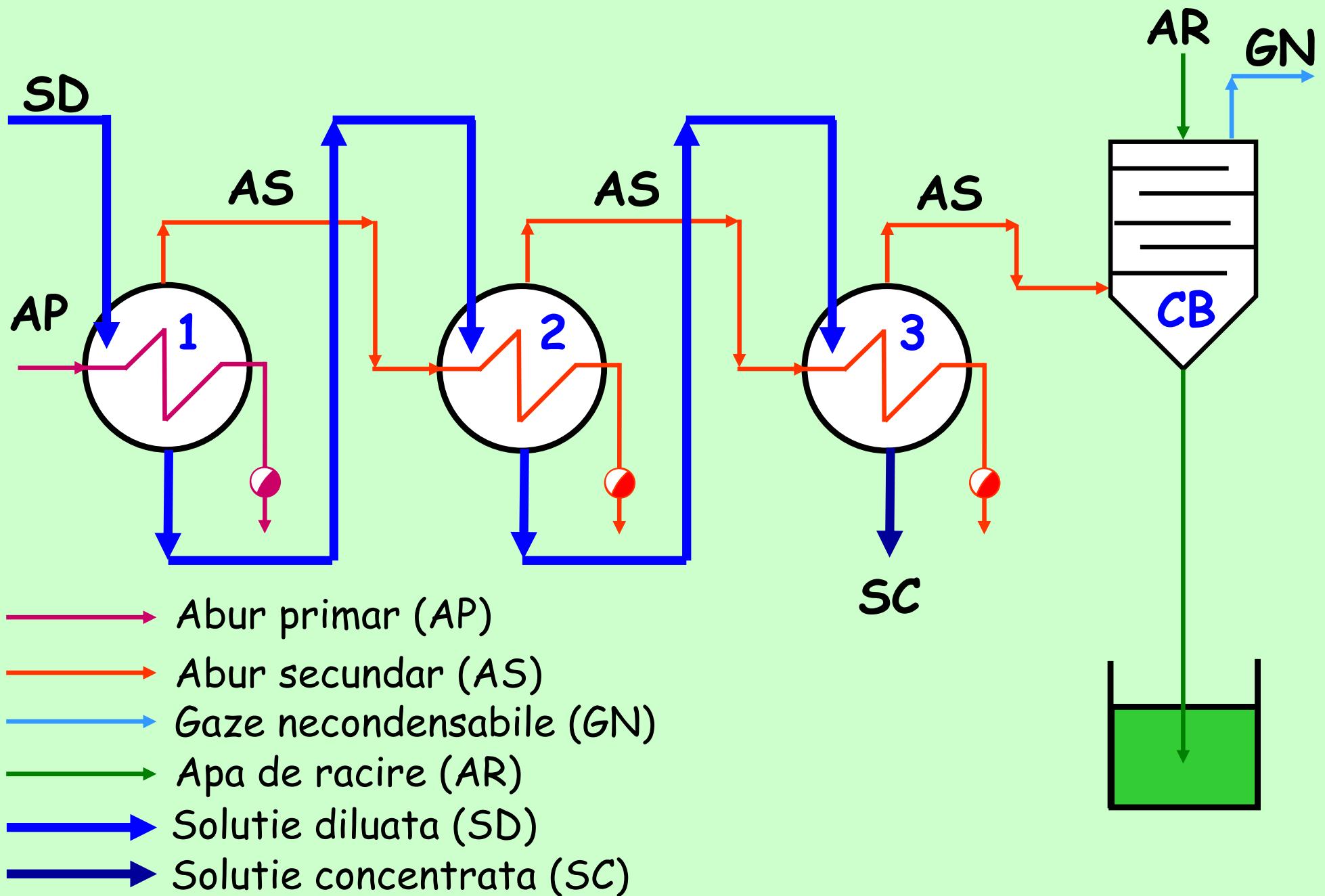
# IEEM cu alimentare individuală a evaporatoarelor



# IEEM cu alimentare individuala a evaporatoarelor

- Lipsesc conductele de lichid intre evaporatoare;
- Interdependenta mai putin stransa intre evaporatoare;
- $\Delta P$  datorita ridicarii  $T_f$  la cresterea conc. este maxima pt. fiecare evaporator;
- Scade  $K$  datorita cresterii viscozitatii sol. conc.
- Nu se aplica atunci cand produsul trebuie sa fie foarte concentrat.

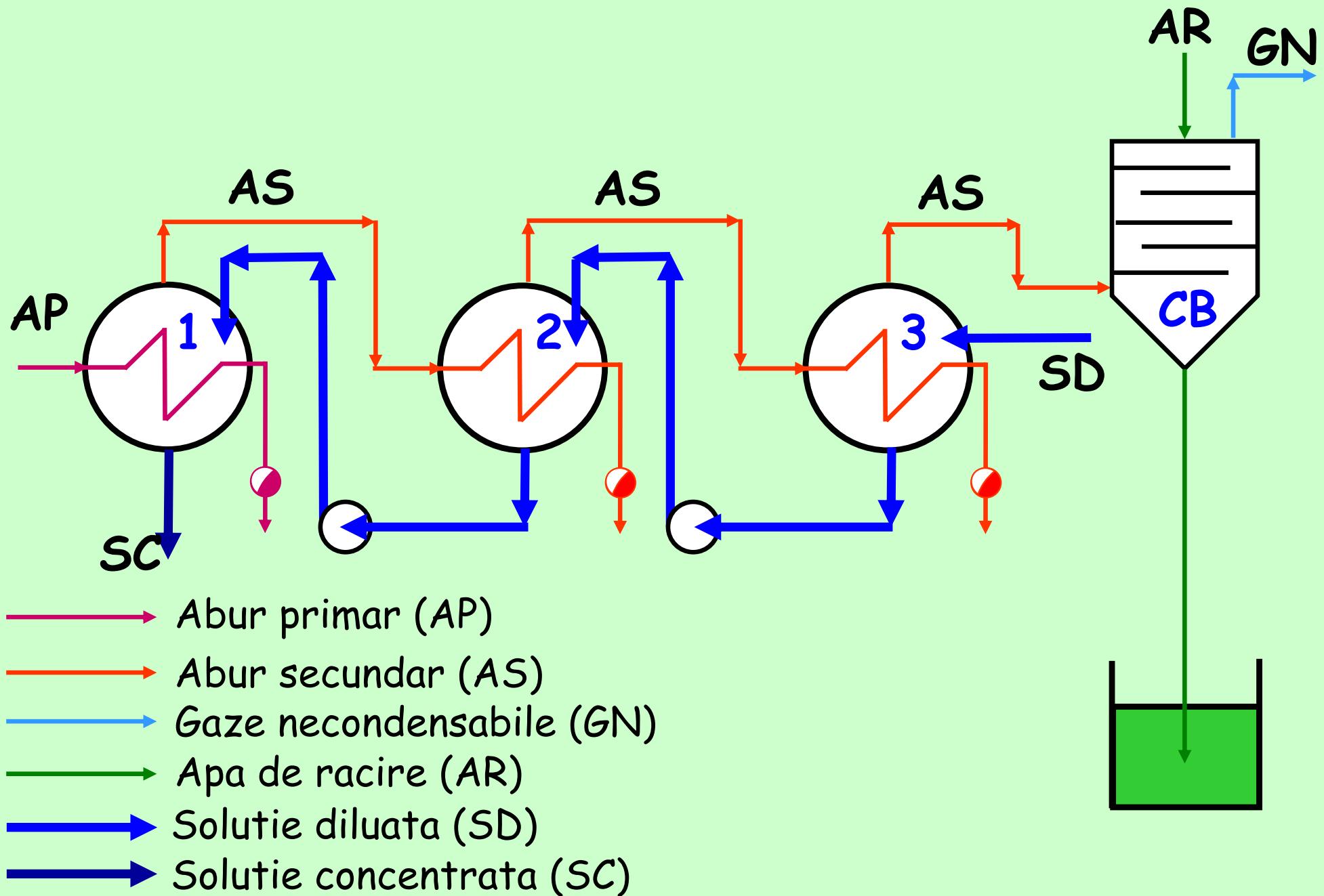
# IEEM cu circulatie in echicurent



# IEEM cu circulatie in echicurent

- Trecerea solutiei dintr-un corp in altul se face fara pompa, presiunea in corpuri descrescand in directia circulatiei solutiei;
- ↖ In ultimele evaporatoare, unde  $T$  este mai mica, lichidul are conc. mare → viscozitate mare →  $K$  mic;
- 👉 Se recomanda pentru evaporari la conc. finale nu prea mari;
- 👉 Este indicata cand alimentarea se face cu SD calda;
- 👉 Se utilizeaza cand solutia este TERMOSENSIBILA.

# IEEM cu circulatie in contracurent

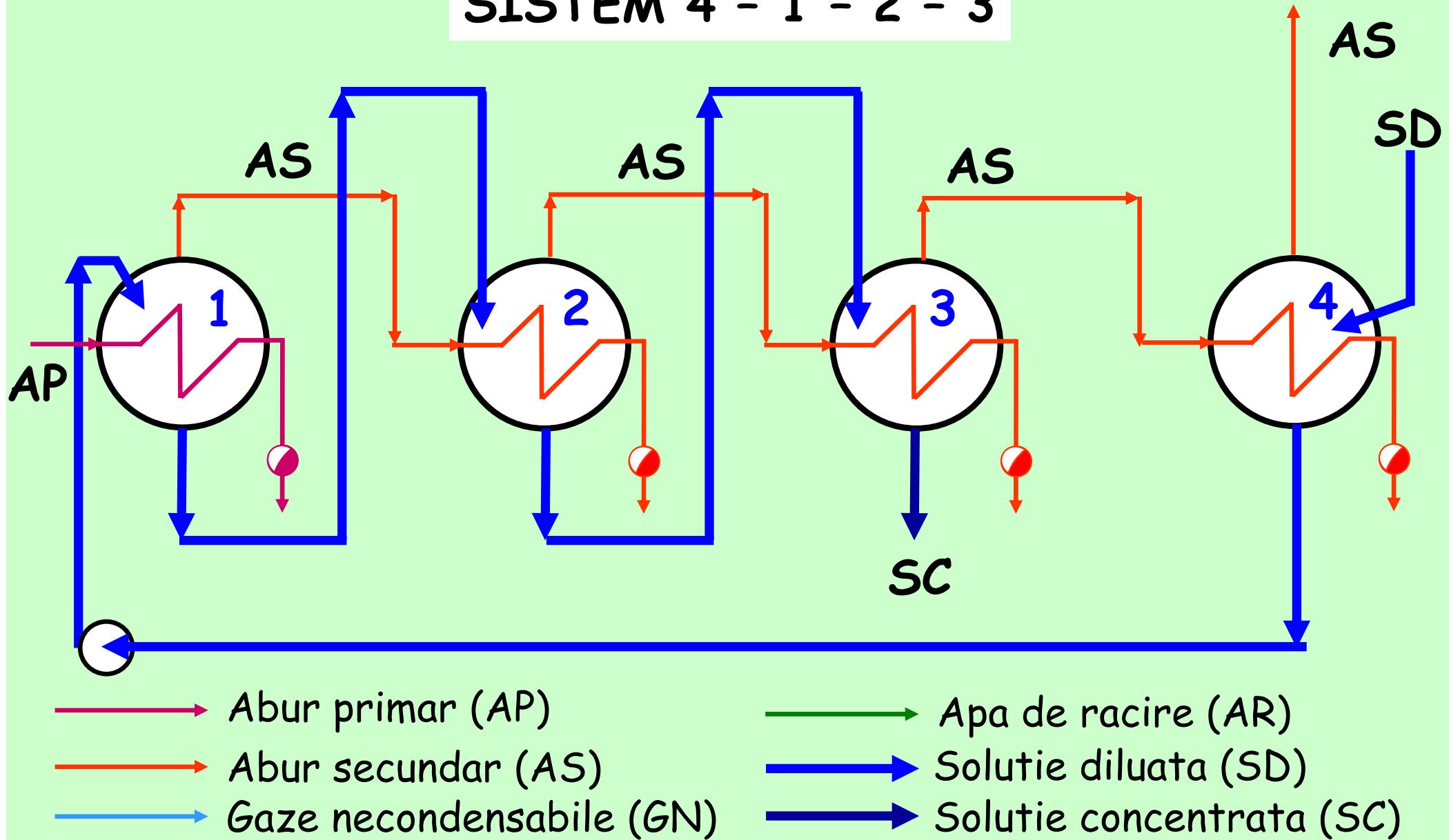


# IEEM cu circulatie in contracurent

- 👉 Solutia de concentratie mai ridicata fierbe in evaporatoarele mai calde;
- 👎 Circulatia solutiei facandu-se de la P mici inspre P mari, este necesara pomparea solutiei dintr-un corp in altul;
- 👉 Se recomanda pentru alimentarea cu SD rece;
- 👉 Este indicata pentru solutiile cu viscozitate mare.

# IEEM cu circulatie in curent mixt

SISTEM 4 - 1 - 2 - 3



# IEEM cu circulatie in curent mixt

- o Incearca sa foloseasca avantajele schemelor precedente;
- o Cea mai rationala schema intr-o IEEM cu 4 evaporatoare este 4 - 1 - 2 - 3;
- o Se pot adopta si scheme de tipul:
  - ❖ 2 - 1 - 4 - 3 sau
  - ❖ 3 - 4 - 1 - 2.

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

- o Ipoteze simplificatoare pentru instalatia ideală:
  1. Singurele caderi de temp. sunt cele necesare transferului termic de la aburul în condensare la lichidul în fierbere;
  2. Temp. de fierbere a lichidului este considerată temp. de fierbere a solventului pur la pres. respectiva. Se negligează creșterea temp. de fierbere ca urmare a efectului de concentrare;

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

- o Ipoteze simplificatoare pentru instalatia ideală:
  3. Pierderile de caldura în exterior sunt nule;
  4. Aburul de incalzire este saturat, iar condensatul nu este racit; în tot spatiul de incalzire temp. este constanta și egală cu temp. de condensare a aburului;
  5. Temp. în spatiul de fierbere și vaporizare este constanta și egală cu temp. vaporilor saturati la pres. din evaporator; influenta pres. hidrostatice a lichidului se negligeaza;

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

o Ipoteze simplificatoare pentru instalatia ideală:

6. Capacitatatile termice masice sunt aditive: capacitatea termica a lichidului dintr-un evaporator "i" este data de diferența dintre capacitatea termica masica a lichidului initial (SD) si suma capacitatilor termice masice ale cantitatilor de solvent vaporizate in evaporatoarele anterioare (1, 2, ..., i-1):

$$M_i \cdot c_{pi} = M_1 \cdot c_{p1} - c_{psolv} \cdot \sum_{i=1}^{i-1} W_i$$

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

o Caderile de temperatura:

$\theta^\circ$  - temp. aburului de incalzire din evap. No. 1;

$T_c = T_n$  - temp. din condensator, egala cu temp. din evap. "n";

$T_1, T_2, \dots, T_{n-1}$  - temp. din spatiul de fierbere al evap. 1, 2, ..., n - 1;

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

o Caderile de temperatura:

$$\Delta T_1 = \theta^0 - T_1$$

$$\Delta T_2 = T_1 - T_2$$

$$\Delta T_3 = T_2 - T_3$$

:

$$\Delta T_n = T_{n-1} - T_n = T_{n-1} - T_c$$

o Caderea totală de temperatură:

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \dots + \Delta T_n = \sum_{i=1}^n \Delta T_i = \theta^0 - T_c$$

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

## o DATE CUNOSCUTE:

- Numarul evaporatoarelor, " $n$ ";
- Schema circulatiei aburului si solutiei;
- Temp. (Pres.) aburului primar,  $\Theta^\circ$  ( $P^\circ$ );
- Temp. (Pres.) in condensator,  $T_c$  ( $P_c$ );
- Conc. initiala a solutiei diluate (SD),  $x_1$ ;
- Conc. finala a solutiei concentrate (SC),  $x_n$ ;
- Temp. de alimentare a SD,  $T^\circ$ ;
- Debitul de alimentare cu SD,  $M_1$ ;
- Coeficientii totali de transfer termic,  $K_1, K_2, \dots, K_n$ ;
- Relatiile intre ariile supraf. de incalzire,  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ;

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

## o CERINTE:

- Debitul de apa evaporata in fiecare evaporator:  $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ ;
- Temp. in evaporatoarele 1, 2, 3,..., n-1:  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_{n-1}$ ;
- Ariile supraf. de transfer termic:  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ ;
- Debitul necesar de abur primar (AP):  $D$ ;

## o TOTAL NECUNOSCUTE:

$$n + (n - 1) + n + 1 = 3n$$

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

- o Se dispune de urmatoarele ecuatii:
  - Ecuatiile bilantului termic ale fiecarui evaporator ( $n$  ecuatii);
  - Relatiile dintre ariile suprafetelor de transfer termic ( $n-1$  ecuatii);
  - Ecuatiile de transfer termic ale fiecarui evaporator ( $n$  ecuatii);
  - Ecuatia de calcul a debitului total al apei in sistem (1 ecuatie)

$$\text{TOTAL ECUATII} = n + (n - 1) + n + 1 = 3n$$

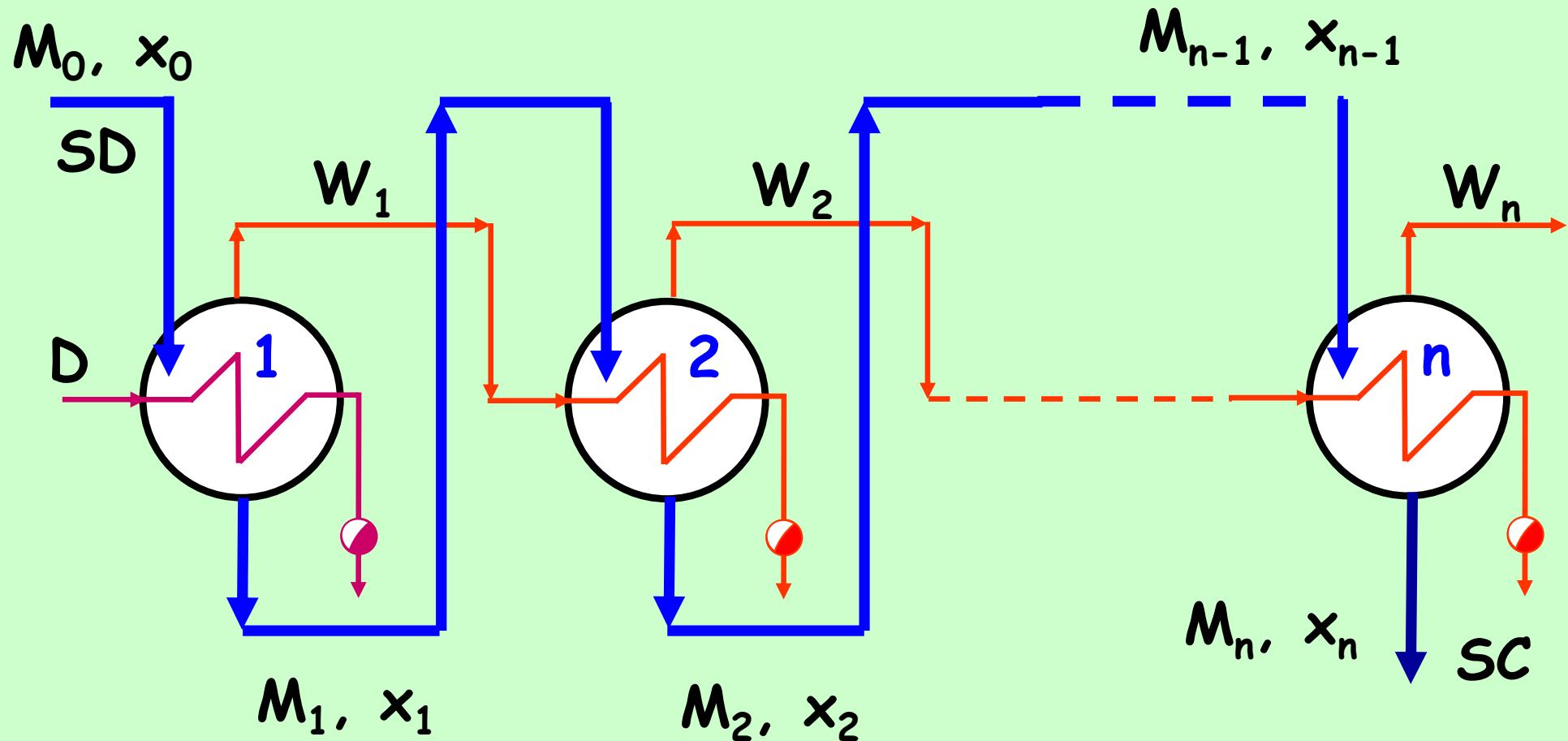
# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

o Rezolvarea sistemului algebric de “ $3n$ ” ecuatii cu “ $3n$ ” necunoscute (sistem determinat) se efectueaza iterativ (prin incercari successive) pe baza urmatorului algoritm:

1. Se impun  $T_1, T_2, \dots, T_{n-1}$ ;
2. Pe baza acestora se efectueaza toate calculele, in final obtinandu-se ariile suprafetelor de transfer  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ;
3. Se verifica daca aceste arii corespund relatiei impuse intre acestea (arii egale sau arie totala minima);
4. Se repeta calculul pana la obtinerea unor rezultate acceptabile.

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

- o BILANTURILE TERMICE ALE EVAPORATOARELOR
- o Se considera o IEEM cu circulatie in echicurent:



# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

- o Ecuatia de bilant termic a evaporatorului 1

$$D \cdot i_D + M_0 \cdot c_{p0} \cdot T_0 = M_1 \cdot c_{p1} \cdot T_1 + W_1 \cdot i''_{w1} + D \cdot i_C$$

$$M_1 = M_0 - W_1$$

$$M_1 \cdot c_{p1} = c_{p0} \cdot M_0 - c_{pa} \cdot W_1$$

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

o Efectuand calculele si grupand termenii:

$$D \cdot \frac{i_b - i_c}{i''_{W_1} - c_{pa} \cdot T_0} + M_0 \cdot c_{p0} \cdot \frac{T_0 - T_1}{i''_{W_1} - c_{pa} \cdot T_0} = W_1$$

$$\alpha_1 \cdot D + \beta_1 \cdot M_0 = W_1$$

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

o Ecuatia de bilant termic a evaporatorului 2

$$W_1 \cdot i''_{w1} + (M_0 \cdot c_{p0} - W_1 \cdot c_{pa}) \cdot T_1 = \\ = [M_0 \cdot c_{p0} - c_{pa} \cdot (W_1 + W_2)] \cdot T_2 + W_2 \cdot i''_{w2} + W_1 \cdot i'_{w1}$$

$$W_1 \frac{i''_{w2} - i'_{w2}}{i''_{w2} - c_{pa} \cdot T_2} + (M_0 \cdot c_{p0} - W_1 \cdot c_{pa}) \frac{T_1 - T_2}{i''_{w2} - c_{pa} \cdot T_2} = W_2$$

$$\alpha_2 \cdot W_1 + \beta_2 \cdot \left( M_0 - \frac{c_{pa}}{c_{p0}} \cdot W_1 \right) = W_2$$

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

o Ecuatia de bilant termic a evaporatorului 3

$$W_2 \cdot i''_{w2} + [M_0 \cdot c_{p0} - c_{pa} \cdot (W_1 + W_2)] \cdot T_2 = \\ = W_3 \cdot i''_{w3} + [M_0 \cdot c_{p0} - c_{pa} \cdot (W_1 + W_2 + W_3)] \cdot T_3 + W_2 \cdot i''_{w2}$$

$$W_2 \frac{i''_{w2} - i''_{w2}}{i''_{w3} - c_{pa} \cdot T_3} + [M_0 \cdot c_{p0} - c_{pa} \cdot (W_1 + W_2)] \frac{T_2 - T_3}{i''_{w3} - c_{pa} \cdot T_3} = W_3$$

$$\alpha_3 \cdot W_2 + \beta_3 \cdot \left[ M_0 - \frac{c_{pa}}{c_{p0}} \cdot (W_1 + W_2) \right] = W_3$$

# CALCULUL INSTALATIEI IDEALE EEM

o Ecuatia de bilant termic a evaporatorului n

$$\alpha_n \cdot W_{n-1} + \beta_n \cdot \left[ M_0 - \frac{c_{pa}}{c_{p0}} \sum_{i=1}^{n-1} W_i \right] = W_n$$

- Coeficientul de evaporare in evaporatorul n

$$\alpha_n = \frac{i''_{Wn} - i'_{Wn}}{i''_{Wn} - c_{pa} \cdot T_n}$$

- Coeficientul de autoevaporare in evaporatorul n

$$\beta_n = c_{p0} \cdot \frac{T_{n-1} - T_n}{i''_{Wn} - c_{pa} \cdot T_n}$$

# TRANSFERUL TERMIC IN IEEM

- Caldura transmisa in fiecare evaporator:

$$Q_1 = K_1 \times A_1 \times \Delta T_1$$

$$Q_2 = K_2 \times A_2 \times \Delta T_2$$

$$Q_3 = K_3 \times A_3 \times \Delta T_3$$

⋮

$$Q_n = K_n \times A_n \times \Delta T_n$$

- Ipoteze simplificatoare:

$$K_1 = K_2 = K_3 = \cdots = K_n = K$$

$$A_1 = A_2 = A_3 = \cdots = A_n = A$$

# TRANSFERUL TERMIC IN IEEM

- Cantitatea totală de căldură transmisa:

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n = \\ &= K \cdot A \cdot (\Delta T_1 + \Delta T_2 + \cdots + \Delta T_n) = K \cdot A \cdot \Delta T \end{aligned}$$

## CONCLUZIE:

Cele "n" evaporatoare transmit aceeași cantitate de căldură pe care ar transmite-o un singur evaporator de arie **A**, în care însă:

$$\Delta T = \sum_{i=1}^n \Delta T_i$$

# Relatii intre ariile suprafetelor de incalzire ale evaporatoarelor

1. Conditia curenta (imposta din considerante constructive) de egalitate a ariilor:

$$A_1 = A_2 = A_3 = \cdots = A_n = A$$

2. Conditia ca suma ariilor sa fie minima:

$$A_1 + A_2 + A_3 + \cdots + A_n = \sum_{i=1}^n A_i \equiv \text{MIN}$$

# CONDITIA DE EGALITATE A ARIILOR

$$A_1 = \frac{Q_1}{K_1 \cdot \Delta T_1}; A_2 = \frac{Q_2}{K_2 \cdot \Delta T_2}; \dots; A_n = \frac{Q_n}{K_n \cdot \Delta T_n}$$

Daca:

$$A_1 = A_2 = A_3 = \dots = A_n = A \quad \longrightarrow$$

$$\frac{Q_1}{K_1 \cdot \Delta T_1} = \frac{Q_2}{K_2 \cdot \Delta T_2} = \dots = \frac{Q_n}{K_n \cdot \Delta T_n}$$

Aplicand regula proporcionalor  
( $\sum \text{număratorilor} / \sum \text{numitorilor}$  este un raport  
egal cu fiecare dintre rapoartele proporcionalor)  
se poate scrie:

# CONDITIA DE EGALITATE A ARIILOR

$$\frac{Q_1}{K_1 \cdot \Delta T_1} = \frac{\frac{Q_1}{K_1} + \frac{Q_2}{K_2} + \cdots + \frac{Q_n}{K_n}}{\Delta T_1 + \Delta T_2 + \cdots + \Delta T_n} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{K_i}}{\Delta T}$$

o De aici:

$$\Delta T_1 = \Delta T \cdot \frac{\frac{Q_1}{K_1}}{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{K_i}}; \quad \Delta T_2 = \Delta T \cdot \frac{\frac{Q_2}{K_2}}{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{K_i}}; \quad \dots; \quad \Delta T_n = \Delta T \cdot \frac{\frac{Q_n}{K_n}}{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{K_i}};$$

# CONDITIA DE EGALITATE A ARIILOR

- Deoarece  $\Delta T = \theta^0 - T_C$ , se pot calcula temperaturile din fiecare evaporator:

$$T_1 = \theta^0 - \Delta T_1$$

$$T_2 = T_1 - \Delta T_2$$

$$T_3 = T_2 - \Delta T_3$$

⋮

$$T_n = T_C = T_{n-1} - \Delta T_n$$

# CONDITIA DE EGALITATE A ARIILOR

- o Intr-o prima aproximatie, pentru simplificarea calculelor, se poate considera in aprecierea temperaturilor din evaporatoare ca fluxurile termice din fiecare evaporator sunt egale:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n = Q$$

- o In aceste conditii:

$$K_1 \cdot \Delta T_1 = K_2 \cdot \Delta T_2 = \dots = K_n \cdot \Delta T_n$$

$$\Delta T_1 = \Delta T \cdot \frac{\frac{1}{K_1}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i}}; \quad \Delta T_2 = \Delta T \cdot \frac{\frac{1}{K_2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i}}; \quad \dots; \quad \Delta T_n = \Delta T \cdot \frac{\frac{1}{K_n}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i}};$$

# CONDITIA ARIEI TOTALE MINIME

- o Se considera doua evaporatoare alaturate "i" si "i + 1":

$$A_i = \frac{Q_i}{K_i \cdot \Delta T_i} ; A_{i+1} = \frac{Q_{i+1}}{K_{i+1} \cdot \Delta T_{i+1}}$$

- o Conditia ca suma ariilor sa fie minima pentru o cadere de temperatura ( $\Delta T_i + \Delta T_{i+1}$ ):

$$\frac{d(A)_i^{i+1}}{d(\Delta T)} = 0$$

# CONDITIA ARIEI TOTALE MINIME

$$(A)_i^{i+1} = A_i + A_{i+1} = \frac{Q_i}{K_i \cdot \Delta T_i} + \frac{Q_{i+1}}{K_{i+1} \cdot \Delta T_{i+1}}$$

$$(\Delta T)_i^{i+1} = \Delta T_i + \Delta T_{i+1}$$

$$(A)_i^{i+1} = \frac{Q_i}{K_i \cdot \Delta T_i} + \frac{Q_{i+1}}{K_{i+1} \cdot [(\Delta T)_i^{i+1} - \Delta T_i]}$$

# CONDITIA ARIEI TOTALE MINIME

- o Derivand in raport cu variabila ( $\Delta T_i$ ):

$$\frac{d(A)_i^{i+1}}{d(\Delta T_i)} = -\frac{Q_i}{K_i \cdot (\Delta T_i)^2} + \frac{Q_{i+1}}{K_{i+1} \cdot [(\Delta T_i)_i^{i+1} - \Delta T_i]^2} =$$

$$= -\frac{Q_i}{K_i \cdot (\Delta T_i)^2} + \frac{Q_{i+1}}{K_{i+1} \cdot (\Delta T_{i+1})^2}$$

# CONDITIA ARIEI TOTALE MINIME

o Anulând derivata:

$$\frac{Q_i}{K_i \cdot (\Delta T_i)^2} = \frac{Q_{i+1}}{K_{i+1} \cdot (\Delta T_{i+1})^2}$$

sau:

$$\frac{\Delta T_i}{\Delta T_{i+1}} = \sqrt{\frac{\frac{Q_i}{K_i}}{\frac{Q_{i+1}}{K_{i+1}}}}$$

# CONDITIA ARIEI TOTALE MINIME

- o Aplicand regula proporcionalor (numaratorul catre suma termenilor):

$$\frac{\Delta T_i}{(\Delta T)_i^{i+1}} = \frac{\sqrt{\frac{Q_i}{K_i}}}{\sqrt{\frac{Q_i}{K_i}} + \sqrt{\frac{Q_{i+1}}{K_{i+1}}}} \quad \leftrightarrow \quad \Delta T_i = (\Delta T)_i^{i+1} \cdot \frac{\sqrt{\frac{Q_i}{K_i}}}{\sqrt{\frac{Q_i}{K_i}} + \sqrt{\frac{Q_{i+1}}{K_{i+1}}}}$$

# CONDITIA ARIEI TOTALE MINIME

- o Aplicand regula proporcionalor (numitorul catre suma termenilor):

$$\Delta T_{i+1} = (\Delta T)_i^{i+1} \cdot \frac{\sqrt{\frac{Q_{i+1}}{K_{i+1}}}}{\sqrt{\frac{Q_i}{K_i}} + \sqrt{\frac{Q_{i+1}}{K_{i+1}}}}$$

- o Extinzand rezultatul, pt. caderile de temp. in instalatia cu "n" evaporatoare:

# CONDITIA ARIEI TOTALE MINIME

$$\Delta T_1 = \Delta T \cdot \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{Q_i}{K_i}}} ; \quad \Delta T_2 = \Delta T \cdot \frac{\sqrt{\frac{Q_2}{K_2}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{Q_i}{K_i}}} ;$$

$$\Delta T_n = \Delta T \cdot \frac{\sqrt{\frac{Q_n}{K_n}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{Q_i}{K_i}}}$$

# CONDITIA ARIEI TOTALE MINIME

- Temperaturile in evaporatoare:

$$T_1 = \theta^0 - \Delta T_1 = \theta^0 - \Delta T \cdot \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{Q_i}{K_i}}};$$

$$T_2 = T_1 - \Delta T_2 = T_1 - \Delta T \cdot \frac{\sqrt{\frac{Q_2}{K_2}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{Q_i}{K_i}}};$$

⋮

$$T_n = T_c = T_{n-1} - \Delta T_n = T_{n-1} - \Delta T \cdot \frac{\sqrt{\frac{Q_n}{K_n}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{Q_i}{K_i}}}$$

# CALCULUL INSTALATIEI REALE EEM

- o Deosebirile si complicatiile fata de instalatia ideală provin din eliminarea ipotezelor simplificatoare care definesc instalatia ideală:
  1. Se tine seama de  $\Delta T$  intre solutie si vaporii  $[T_f]$  a solutiei =  $f(P, T)$  din evaporator] si de  $\Delta T$  in conductele dintre evaporatoare;
  2. Se tine seama de caldura pierduta in exterior, aceasta scazandu-se din caldurile transmise solutiei in fierbere prin suprafetele de incalzire;

# CALCULUL INSTALATIEI REALE EEM

3. Capacitatile termice si caldurile de vaporizare se determina pentru conditiile din fiecare evaporator (din tabele, diagrame);
4. Coeficientii de transfer termic nu se considera constanti, calculandu-se pentru fiecare incercare in parte;
5. Pentru calcule mai exacte se tine seama de variatia caldurii de dizolvare cu concentratia, de supraincalzirea aburului primar, de racirea condensatului;

# CALCULUL INSTALATIEI REALE EEM

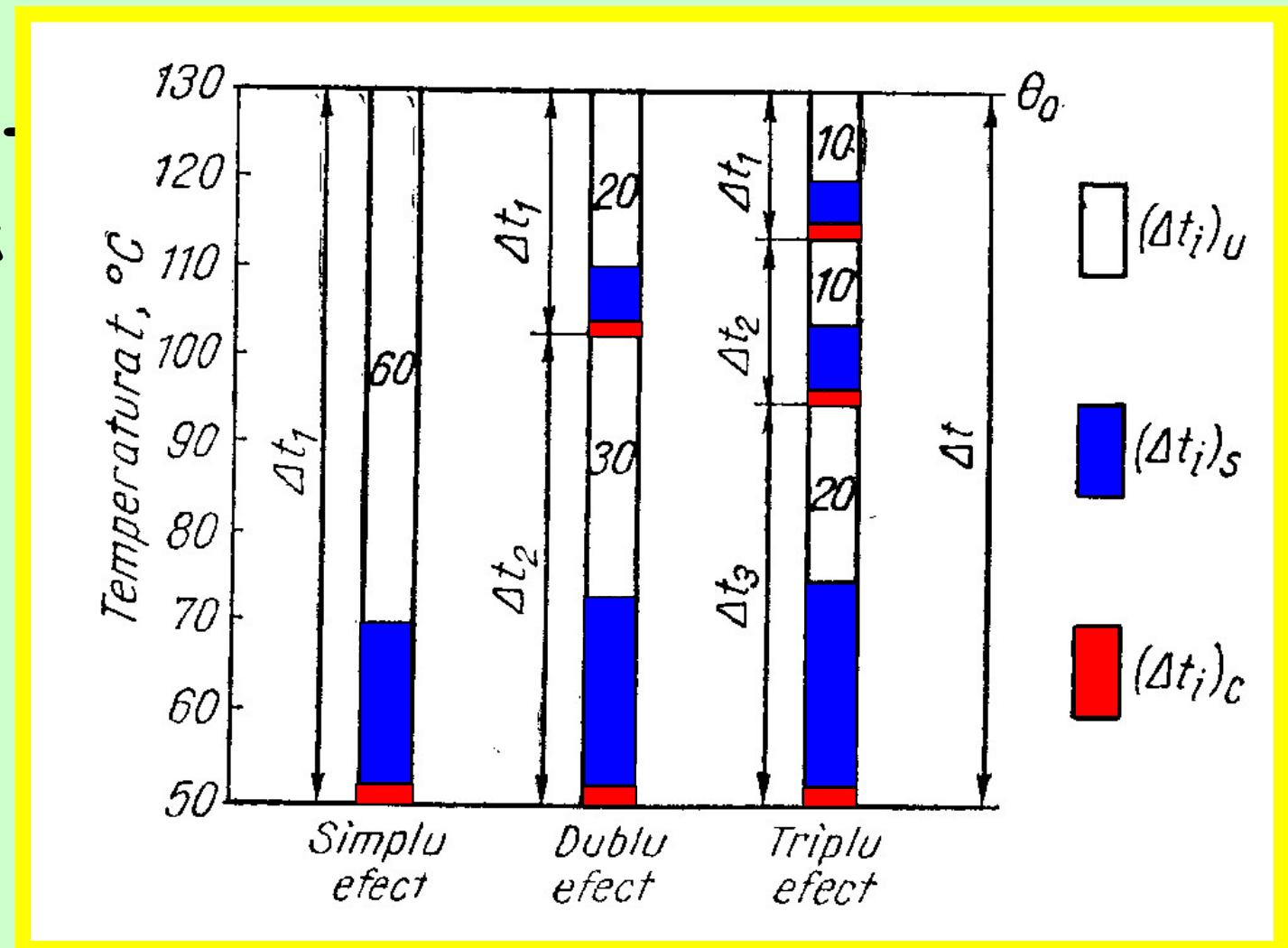
## o CADERILE DE TEMPERATURA

- In instalatia ideală, singura cadere de temp. considerata era diferența dintre temp. aburului de incalzire și temp. lichidului în fierbere din fiecare evaporator.
- Într-o instalatie reală, pentru fiecare evaporator din instalatie există 3 caderi de temp.:
  - Caderea utilă:  $(\Delta T_i)_u = T_{abur\ inc.} - T_f\ solutie$
  - Caderea:  $(\Delta T_i)_s = T_{f.\ solutie} - T_{vap.\ proveniti\ din\ sol.}$
  - Caderea:  $(\Delta T_i)_c = T_{sp.\ vap.\ al\ evap.\ "i"} - T_{sp.\ inc.\ al\ evap.\ "i+1"}$

# CALCULUL INSTALATIEI REALE EEM

## o CADERILE DE TEMPERATURA

La aceeasi  
diferenta tota-  
la  $\Delta T$ , caldura  
utila totala,  
 $\Sigma(\Delta T_i)_u$  scade  
cu cresterea  
numarului de  
evaporatoare:



# CALCULUL INSTALATIEI REALE EEM

## o DATE CUNOSCUTE:

- Debitul solutiei diluate,  $M_0$ ;
- Capacitatea termica masica a SD,  $c_{p0}$ ;
- Temperatura de intrare a SD,  $T_0$ ;
- Concentratia SD,  $x_0$ ;
- Concentratia solutiei concentrate,  $SC$ ,  $x_n$ ;
- Temperatura aburului primar,  $\theta^\circ$ ;
- Temperatura din condensator,  $T_C$ ;
- Pierderile de caldura in exterior pentru fiecare evaporator,  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ .

# CALCULUL INSTALATIEI REALE EEM

1. Se aleg temp. in spatiul de vaporizare ale evaporatoarelor,  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_{n-1}$ , egale cu  $T_f$  ale solventului pur, la P din evap.;
2. Se aleg debitele de apa evaporata in fiecare corp,  $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ ;
3. Cu valorile alese la (1) si (2) se calculeaza sau se extrag din tabele si grafice:
  1.  $T'_1, T'_2, T'_3, \dots, T'_n, T_f$  ale solutiei in evap.;
  2.  $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n, c_p$  ale solutiei in evap.;
  3.  $q_{c1}, q_{c2}, q_{c3}, \dots, q_{cn}$ , caldurile de conc. in evap.;
  4.  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ , caldurile de vap. in evap.;

# CALCULUL INSTALATIEI REALE EEM

4. Se intocmesc bil. termice ale evap. in ordinea parcurgerii lor de catre **solutie**. Pt. o instalatie in echicurent:

$$\left\{ \begin{array}{l} D(i_b - i_c) + M_0 c_{p0} (T_0 - T_1) = W_1 (i''_{w1} - c_{pa} T_1) + q_{c1} + q_{p1} \\ W_1 (i''_{w1} - i'_{w1}) + c_1 (M_0 - W_1) (T'_1 - T'_2) = W_2 (i''_{w2} - c_{pa} T_2) + q_{c2} + q_{p2} \\ \vdots \\ W_{n-1} (i''_{w(n-1)} - i'_{w(n-1)}) + c_{n-1} \left( M_0 - \sum_{i=1}^n W_i \right) (T'_{n-1} - T'_n) = W_n (i''_{wn} - c_{pa} T_n) + q_{cn} + q_{pn} \end{array} \right.$$

5. Se adauga sistemului ec. de bilant a apei evap.:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n$$

# CALCULUL INSTALATIEI REALE EEM

6. Se rezolva sistemul de  $(n + 1)$  ecuatii pentru gasirea celor  $(n + 1)$  necunoscute:

$D, W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$

7. Daca valorile calculate la (6) difera mult de cele alese la (2), se repeta calculele de la pct. (3)  $\div$  (6) cu valori corectate pentru  $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ ; (de regula, o singura repetare a calculului conduce la rezultate acceptabile).

# CALCULUL INSTALATIEI REALE EEM

8. Se calculeaza ariile suprafetelor de incalzire cu ecuatiile derivate din ecuatia transferului de caldura:

$$A_1 = D \frac{i_b - i_c}{K_1 (\theta^0 - T'_1)}$$

$$A_2 = W_1 \frac{i''_{W1} - i'_{W1}}{K_2 (T_1 - T'_2)}$$

⋮

$$Q_{\text{transmis}} = K \times A \times \Delta T$$

$$A_n = W_{n-1} \frac{i''_{W(n-1)} - i'_{W(n-1)}}{K_n (T_{n-1} - T'_n)}$$

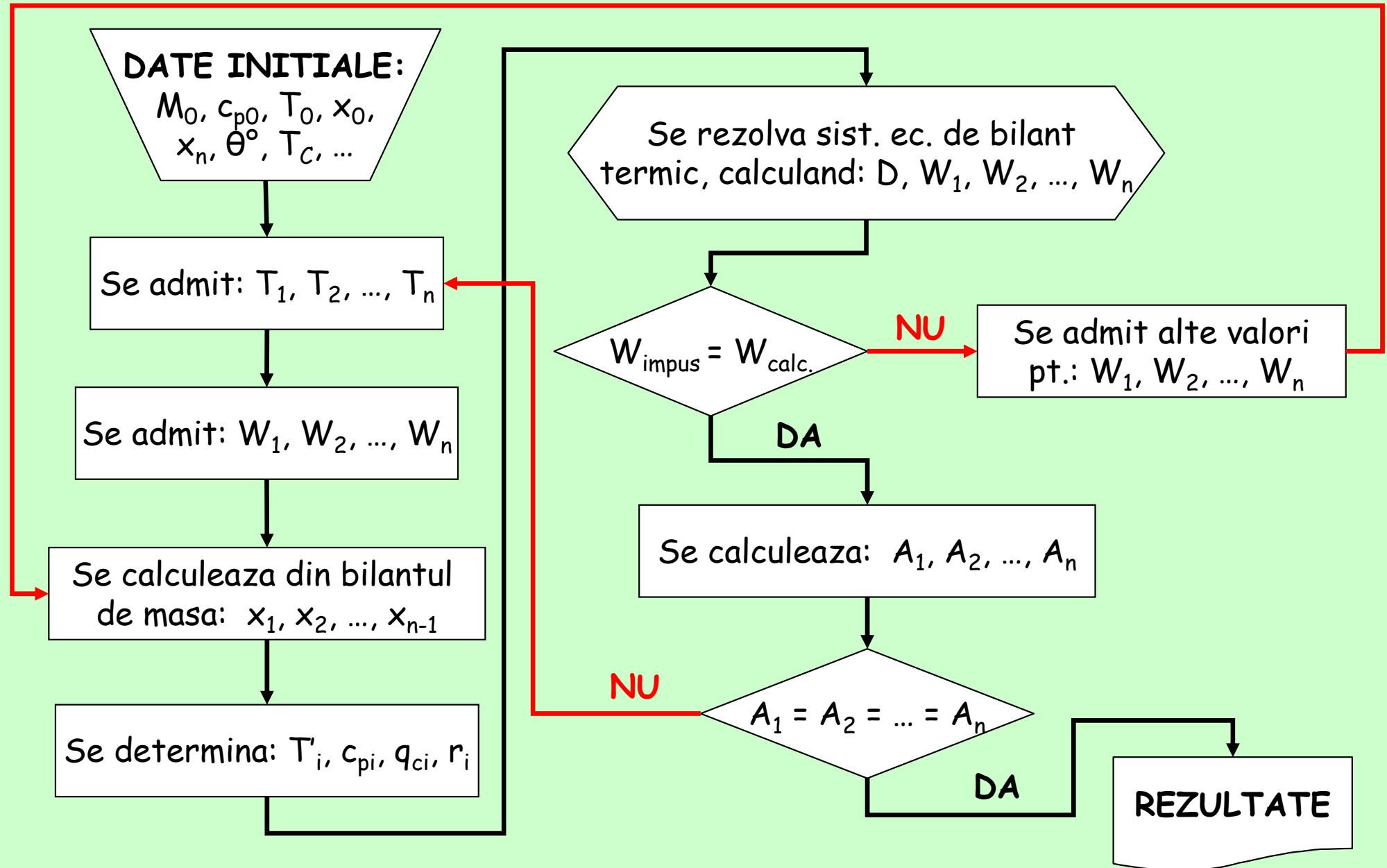
# CALCULUL INSTALATIEI REALE EEM

9. Daca  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  satisfac relatiile dorite intre arii (arii egale sau arie totala minima) se opreste iteratia.

Daca relatiile intre arii nu sunt satisfacute, se ajusteaza temperaturile de fierbere  $T'_1, T'_2, T'_3, \dots, T'_n$ , aceasta schimbare neinfluentand prea mult cantitatile de apa evaporate,  $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ :

10. Se repeta calculele de la pct. (3)  $\div$  (8) pana cand se obtine o coordonare acceptabila intre toti parametrii.

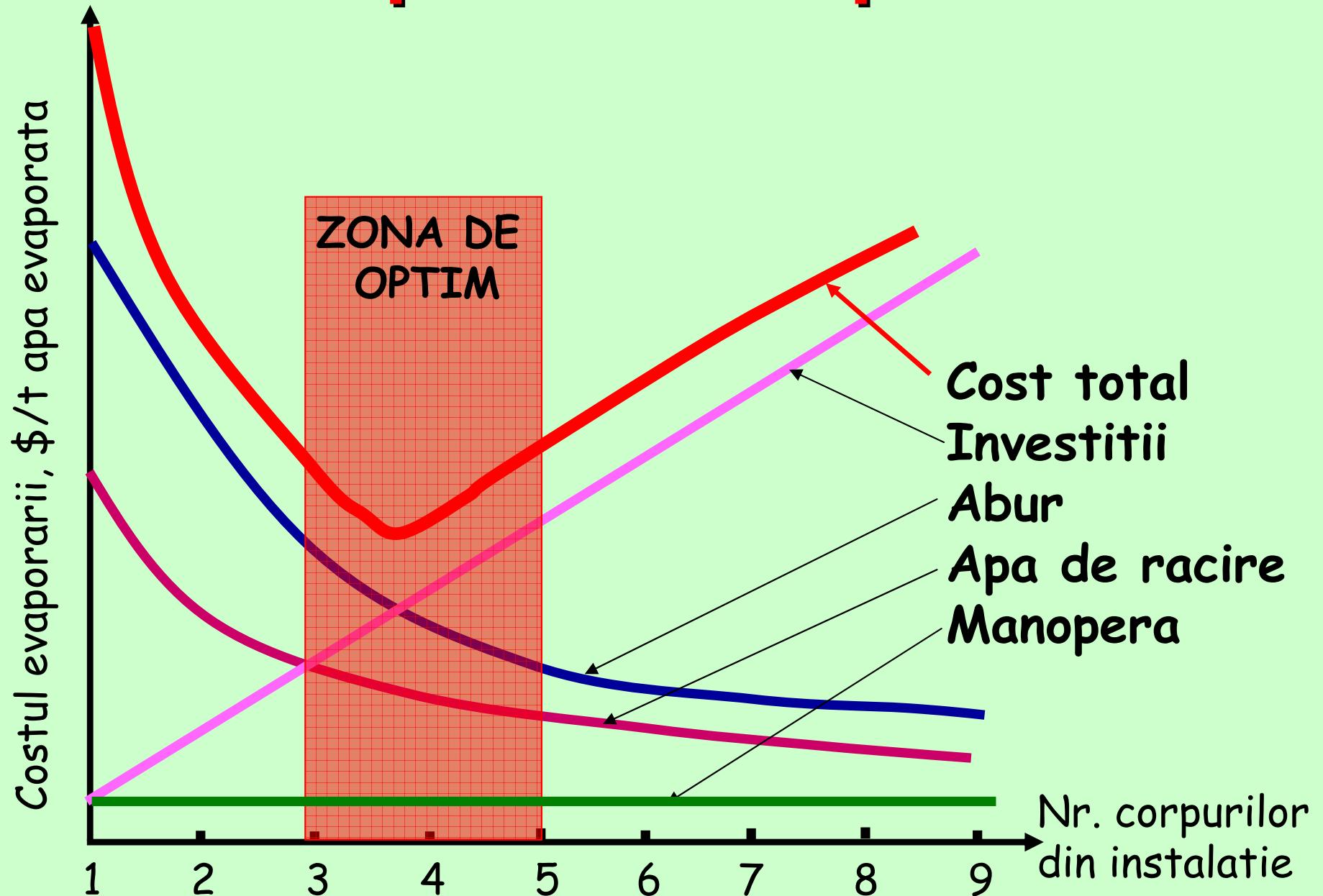
# CALCULUL INSTALATIEI REALE EEM



# Numarul optim de evaporatoare

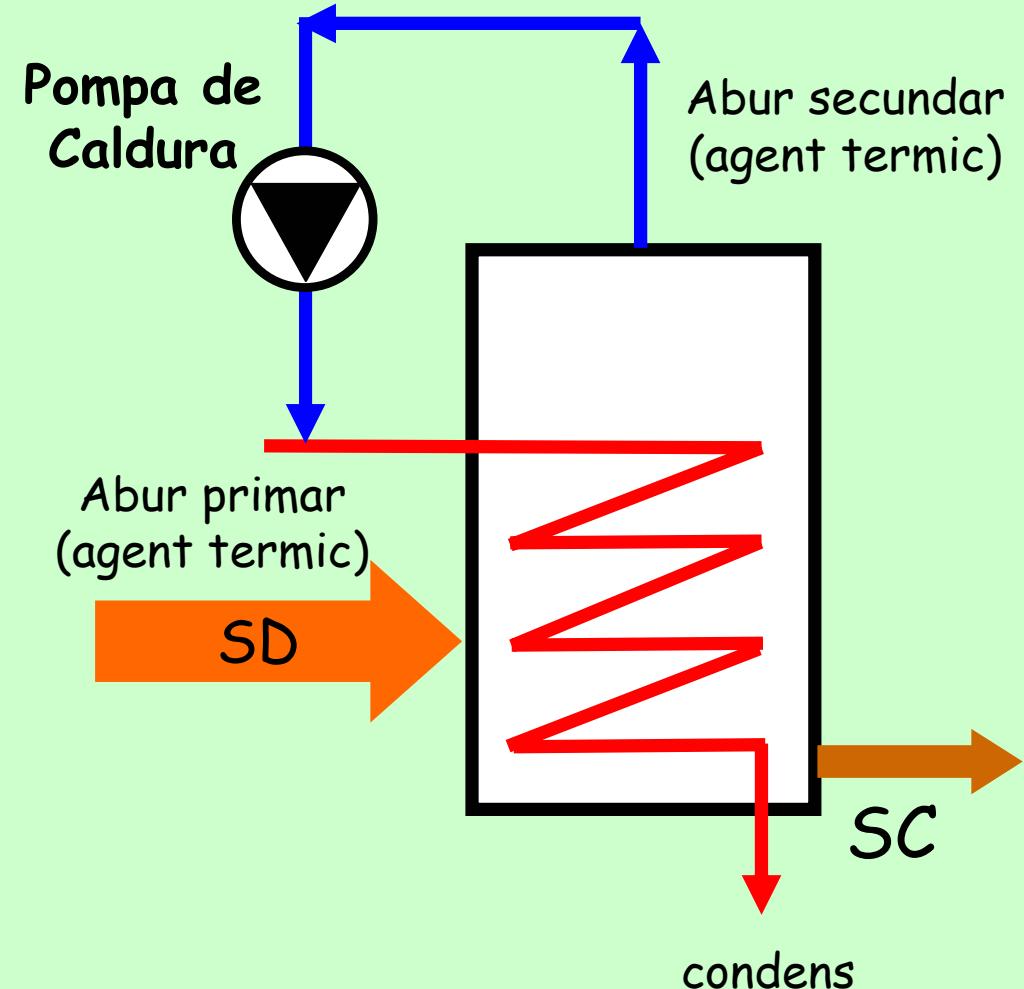
- o Problema: Care este nr. de evaporatoare pt. care costul evaporarii sa fie minim ?
  - Cu cresterea nr. de evap. scade consumul de abur pe kg apa evaporata;
  - Cu cresterea nr. de evap. scade consumul de apa de racire la condensator;
  - Costurile de investitii, intretinere, reparatii cresc proportional cu nr. evaporatoarelor;
  - Numarul evap. este limitat de valoarea caderii utile de temp. care scade cu cresterea nr. evap.;
  - Valoarea  $\Delta T_u$  este limitata de termosensibilitatea unor produse alimentare.

# Numarul optim de evaporatoare



# EVAPORAREA CU POMPA DE CALDURA

o Aburul secundar este introdus ca agent termic în spațiul de incalzire al aceluiasi evaporator din care provine:



# EVAPORAREA CU POMPA DE CALDURA



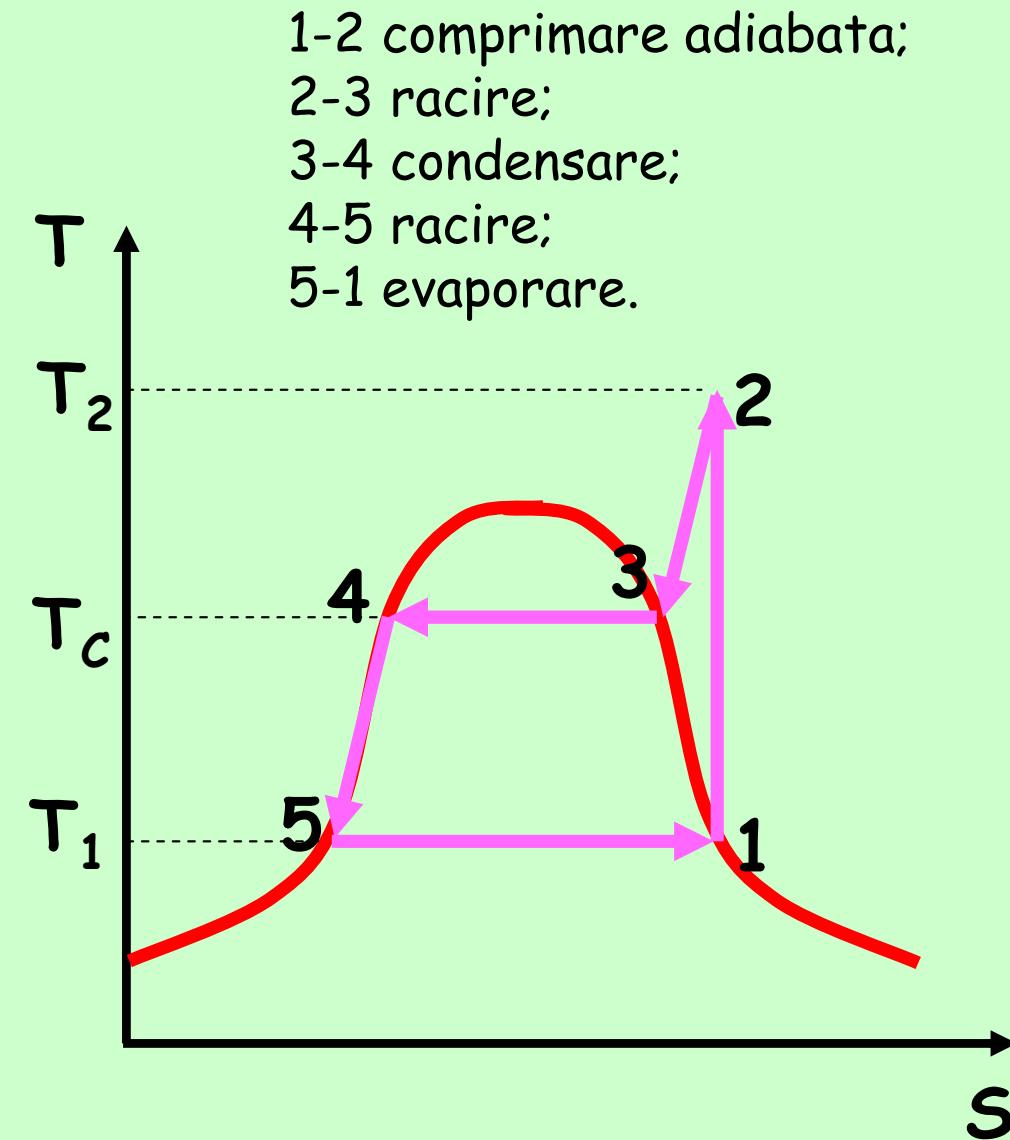
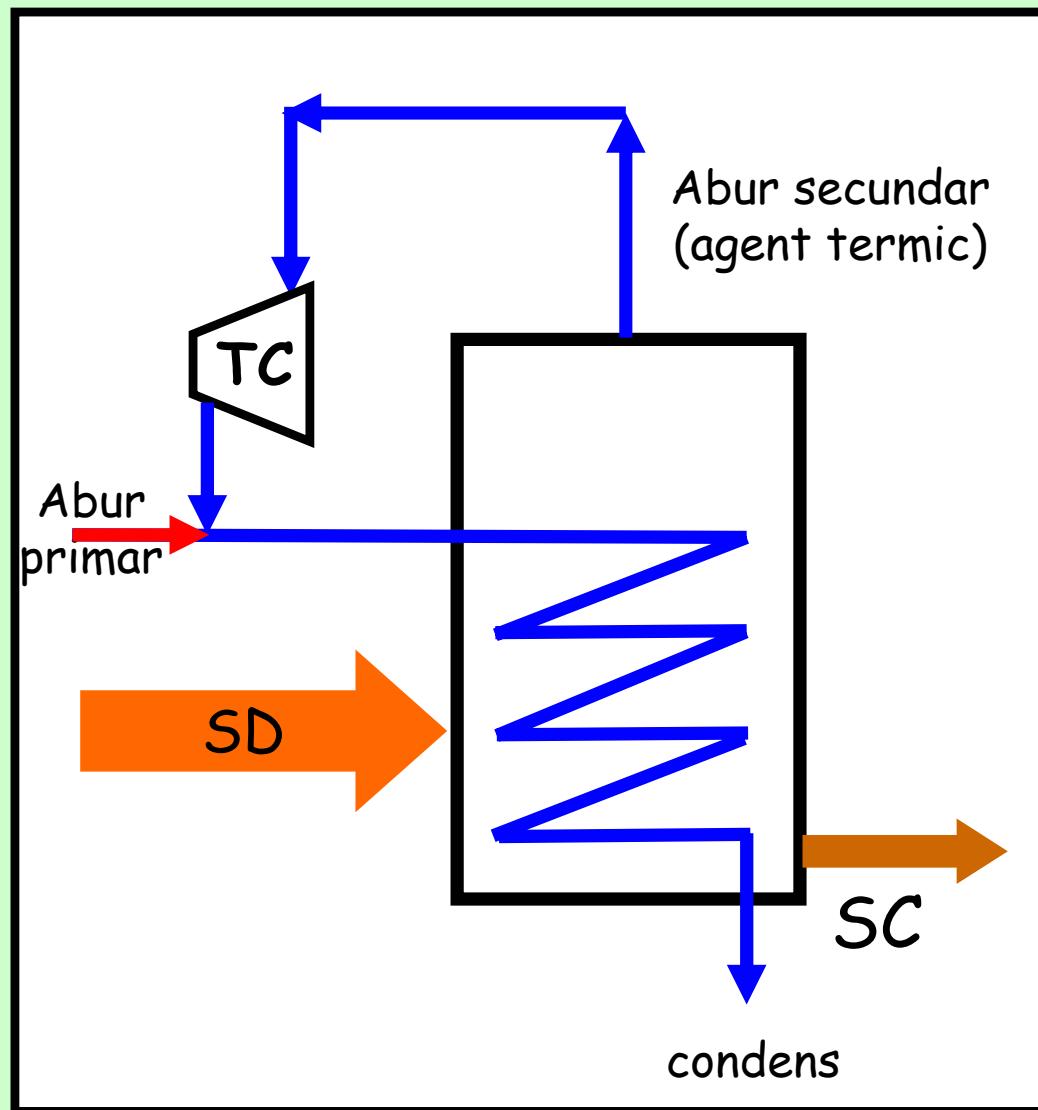
- o Prezinta avantaje economice numai cand ridicarea necesara de temp. prin comprimarea vaporilor este mica (6-8 K);
- o Diferenta mica de temp. intre aburul de incalzire (dupa comprimare) si aburul secundar (care intra la comprimare) implica o arie mare de transfer termic si o foarte mica ridicare a temp. de fierbere a lichidului;

# EVAPORAREA CU POMPA DE CALDURA

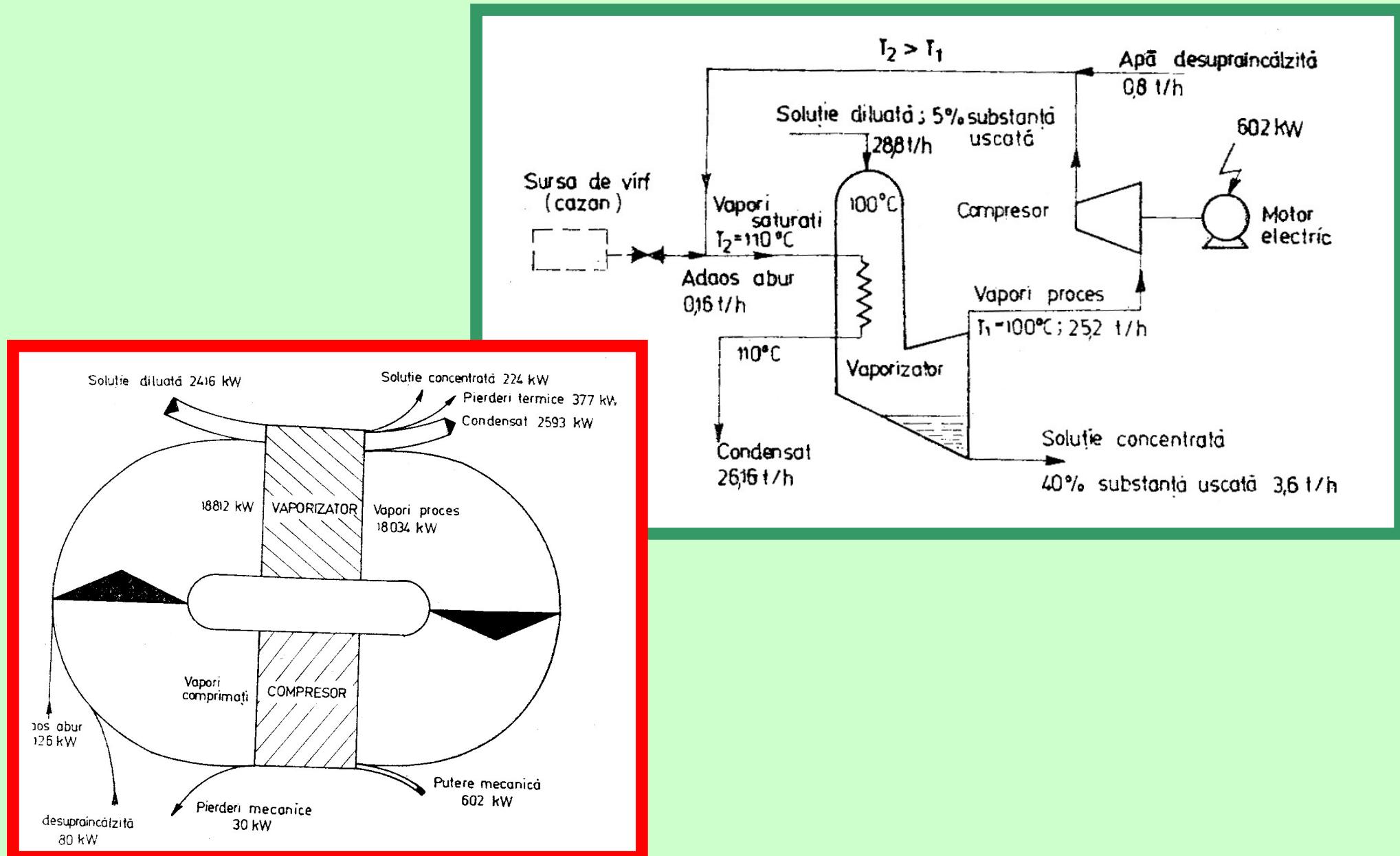
- o EPC sunt avantajoase d.p.d.v. economic:
  - a) Cand exista disponibil abur de inalta presiune (daca ar fi folosit ca AP ar trebui in prealabil laminat pt. reducerea presiunii); este preferabila utilizarea AIP intr-un injector pt. comprimarea AS;
  - b) Cand se vaporizeaza lichide care nu suporta temp. ridicate si care, din acest motiv, nu pot fi evaporate intr-o inst. EEM (lapte, sucuri de fructe, preparate farmaceutice etc.).

# EPC – COMPRIMAREA AS

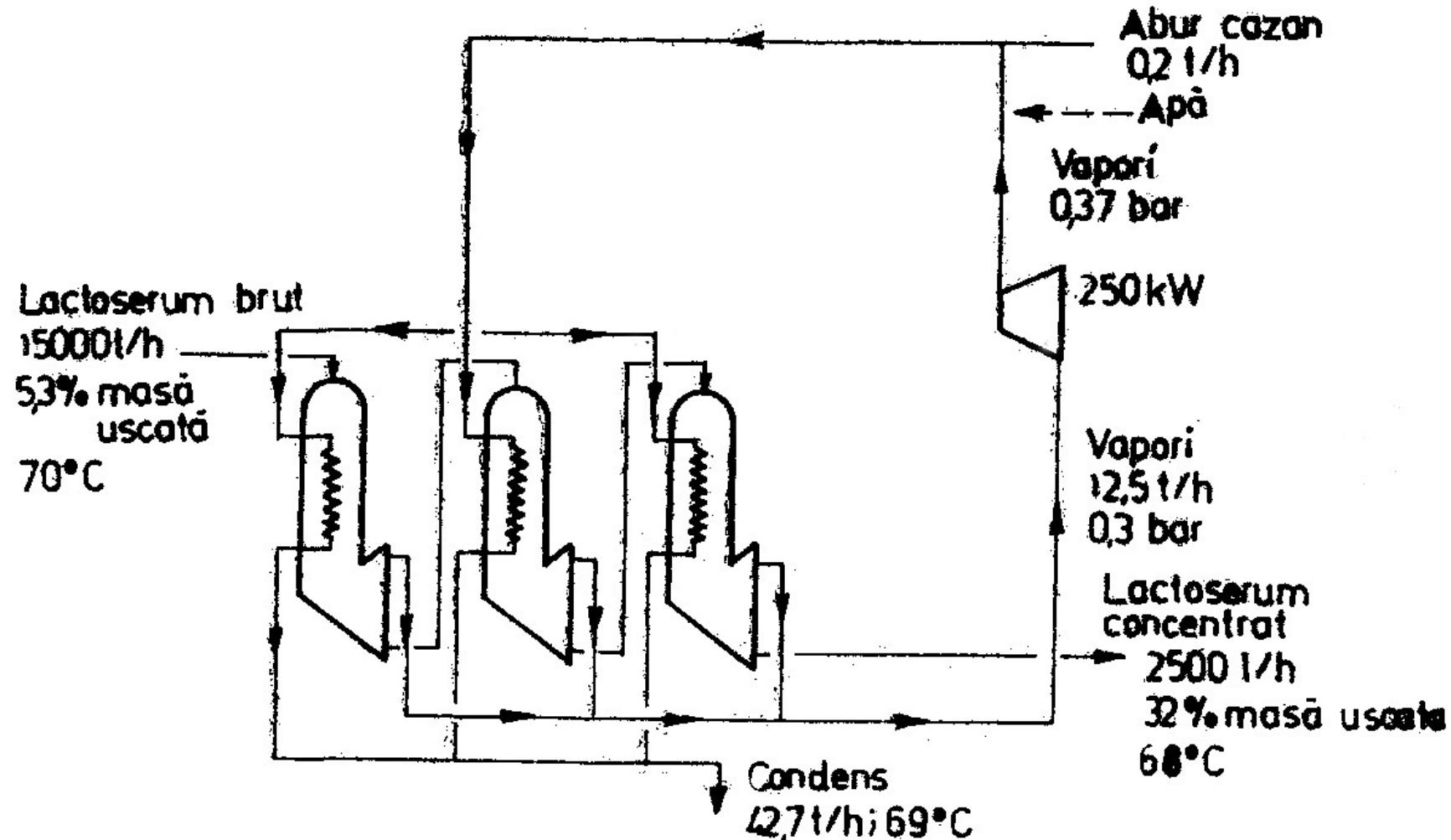
## o Comprimarea mecanica a vaporilor



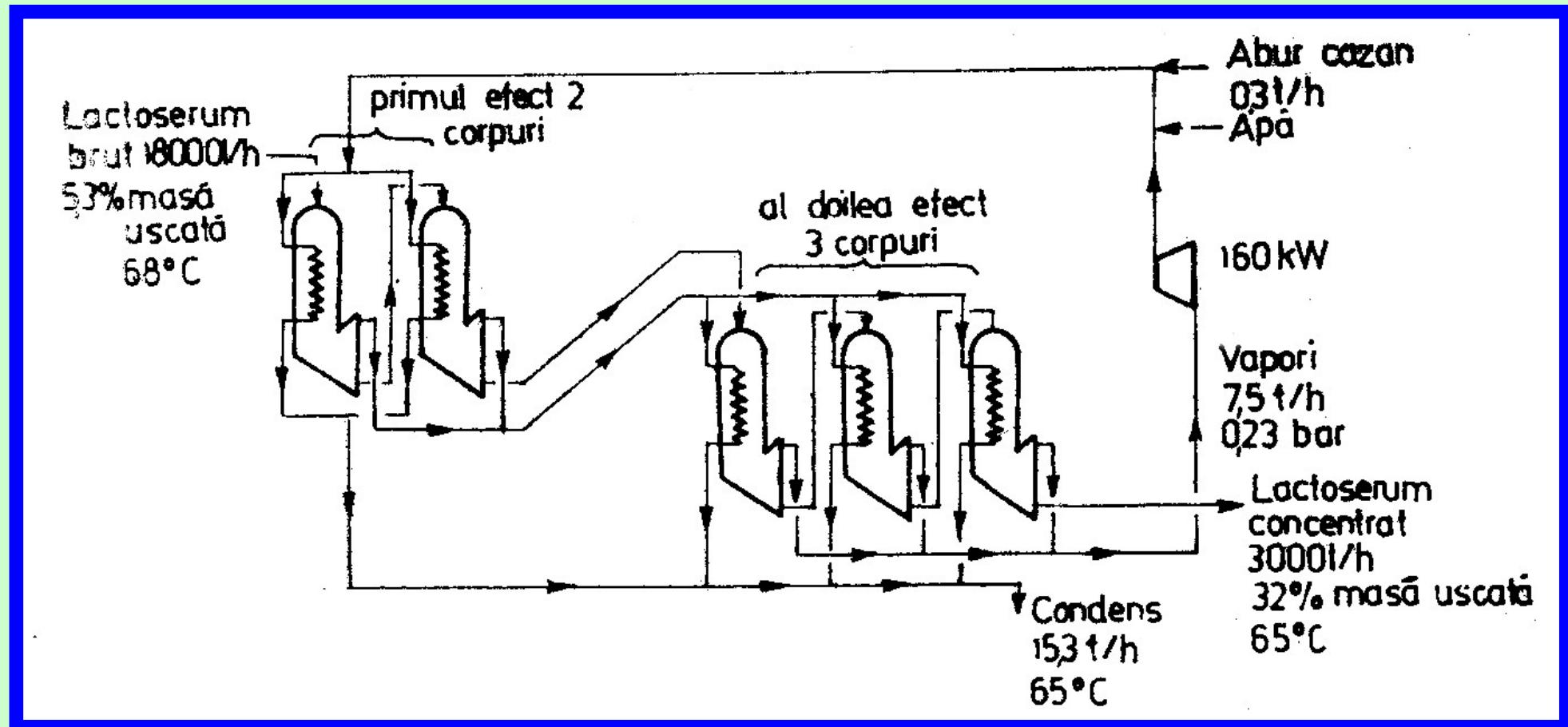
# TURBOCOMPRESIE – bilant energetic



# TURBOCOMPRESIE - aplicatii



# TURBOCOMPRESIE - aplicatii

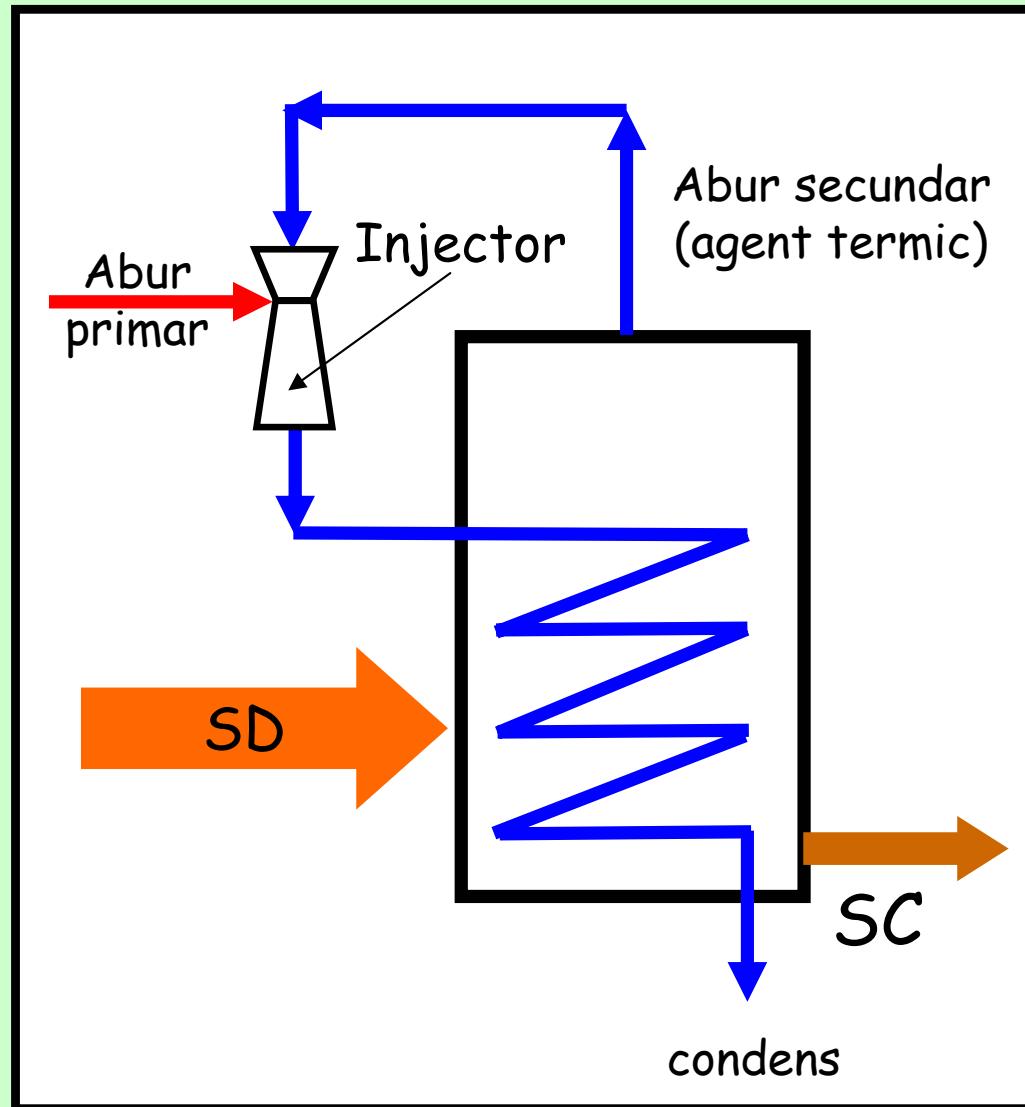


# TURBOCOMPRESIE - EEM

Bilant comparativ	Vaporizare clasica	Compresie mecanica de vapori
Debit lapte smantanit, t/h	27	27
Consum abur, t/h	5,265	0,256
Consum energie el., kWh	75	390
Economie combustibil, tep/an	-	1814
Durata recuperarii investitiilor suplimentare, ani	-	2,6

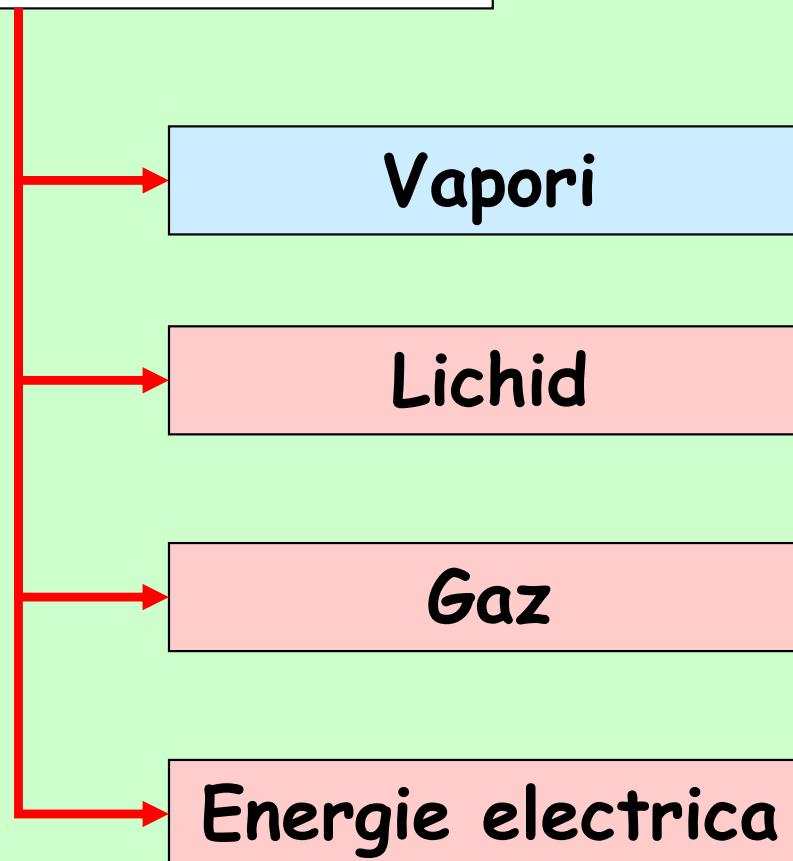
# EPC – COMPRIMAREA AS

## o Termocompresia - schema de principiu

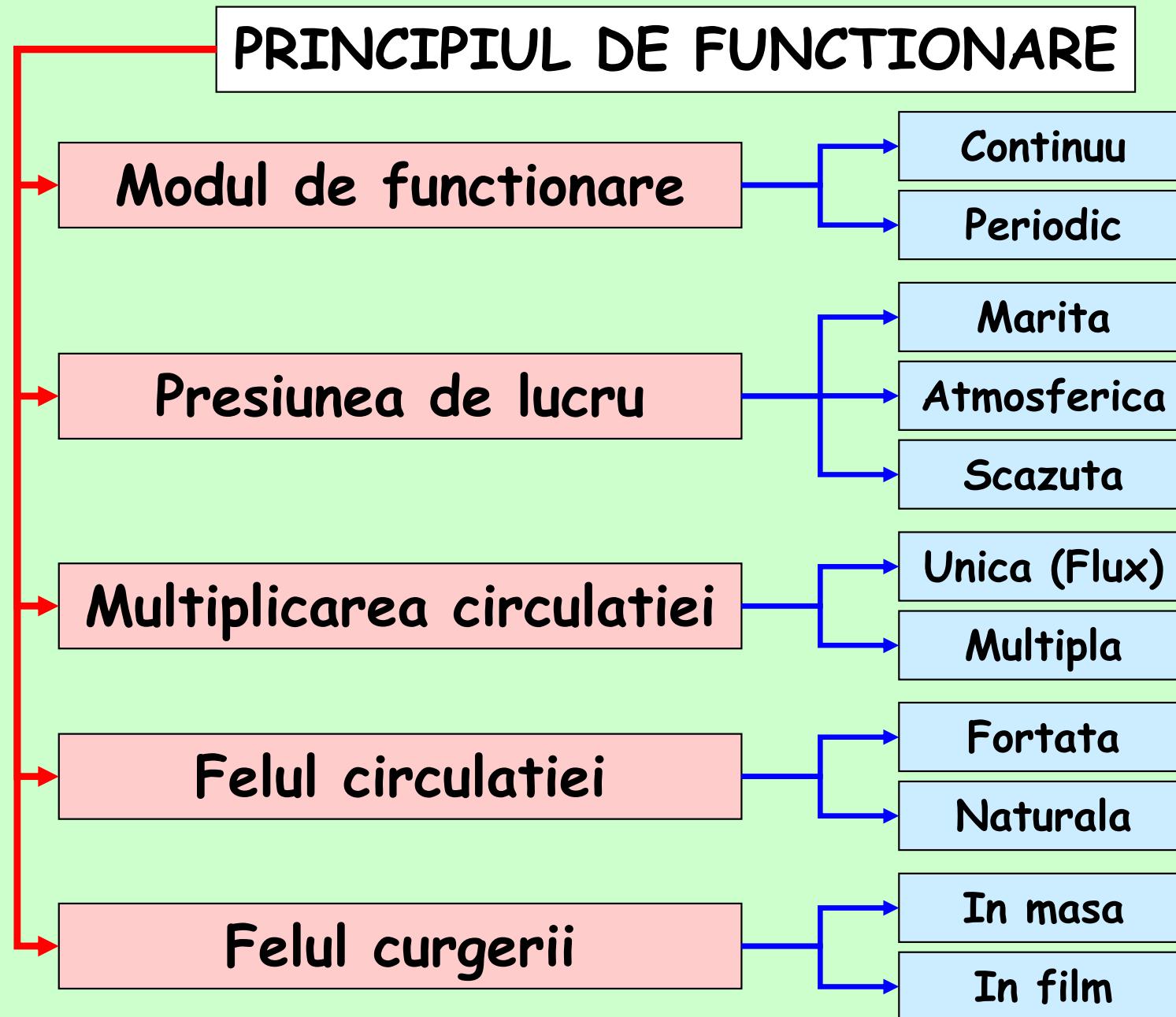


# CLASIFICAREA EVAPORATOARELOR

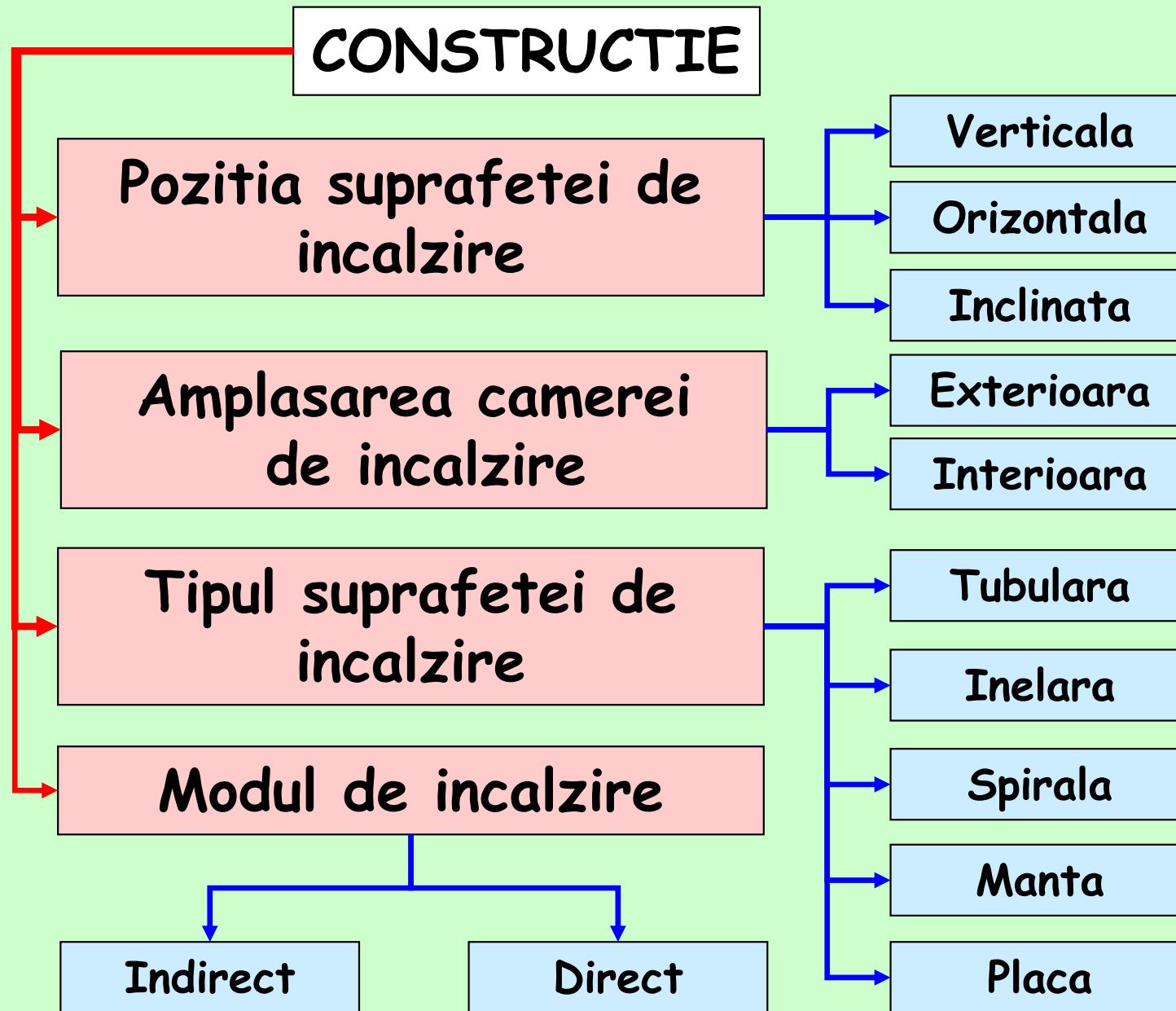
## AGENTUL DE INCALZIRE



# CLASIFICAREA EVAPORATOARELOR

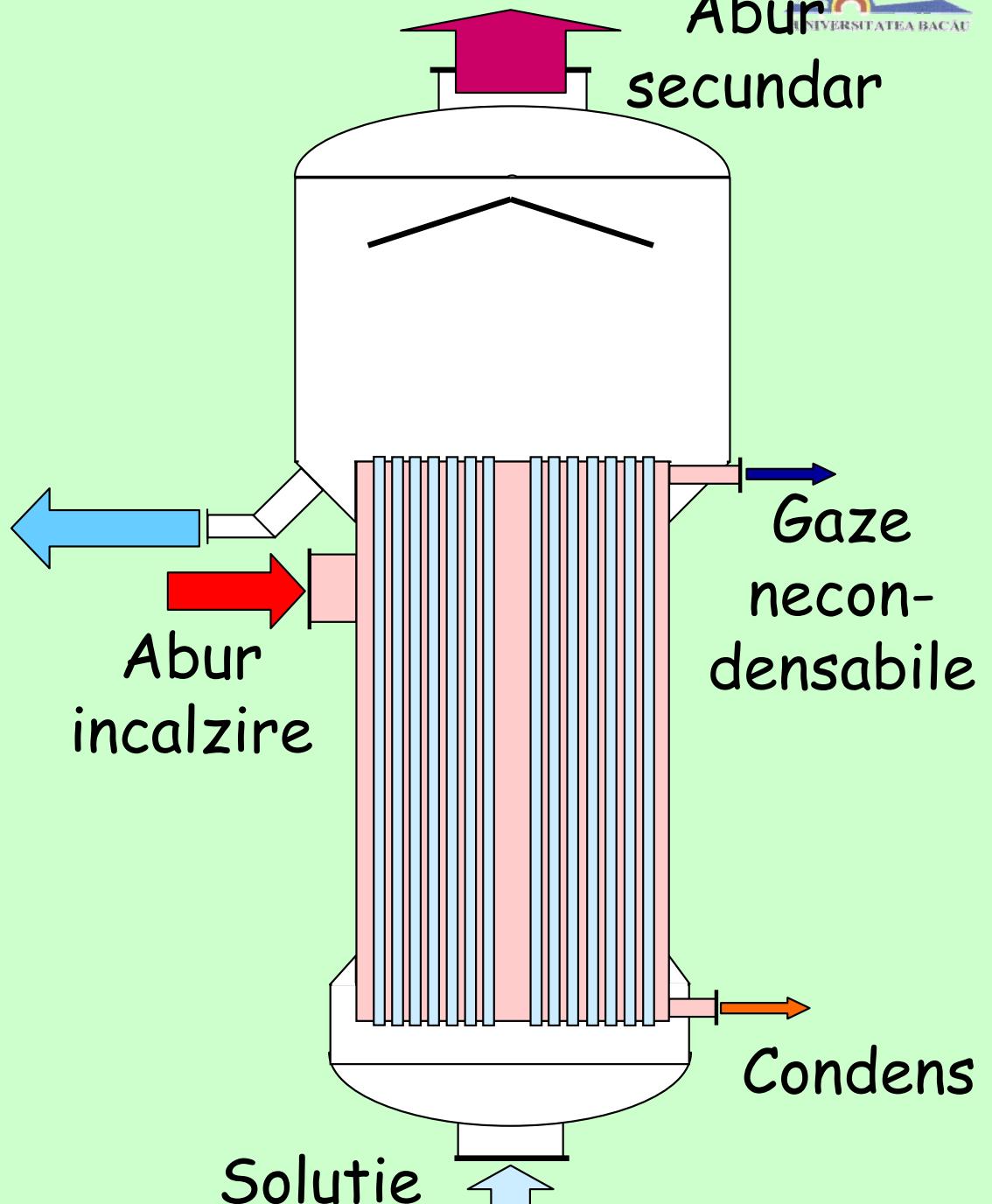


# CLASIFICAREA EVAPORATOARELOR



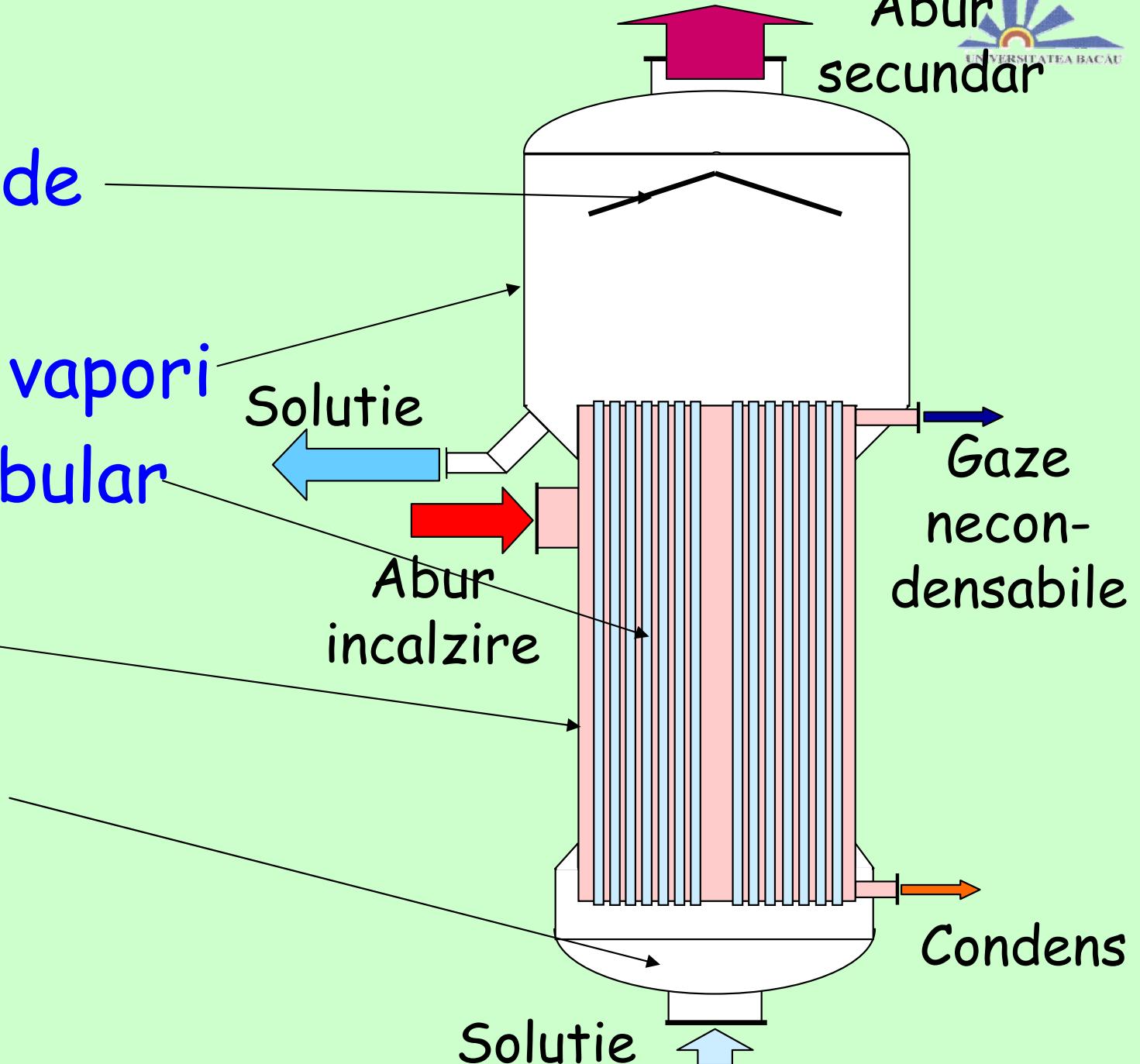
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR

- o Suprafata de incalzire: interiorul tevilor unui fascicul tubular;
- o Camera de incalzire: spatiul dintre tevi si mantaua tubulara;



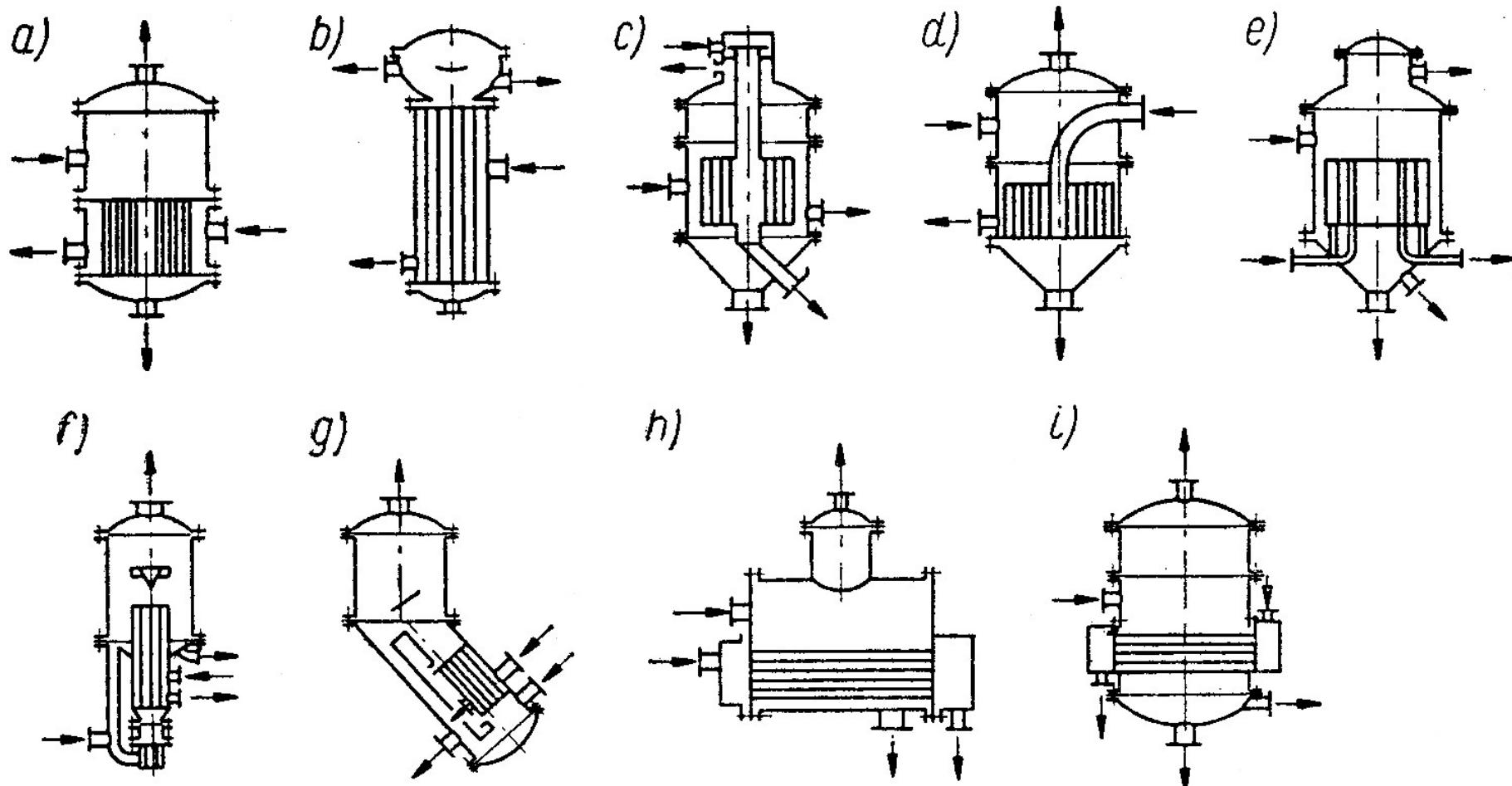
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR

- o Separatoare de picaturi
- o Camera de vaporii
- o Fascicul tubular
- o Camera de incalzire
- o Camera de distributie



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR

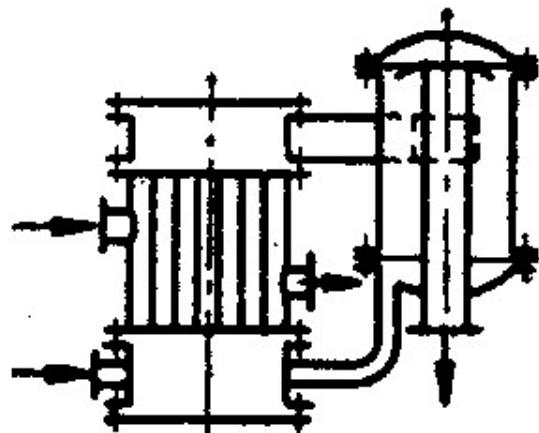
UNIVERSITATEA BACĂU



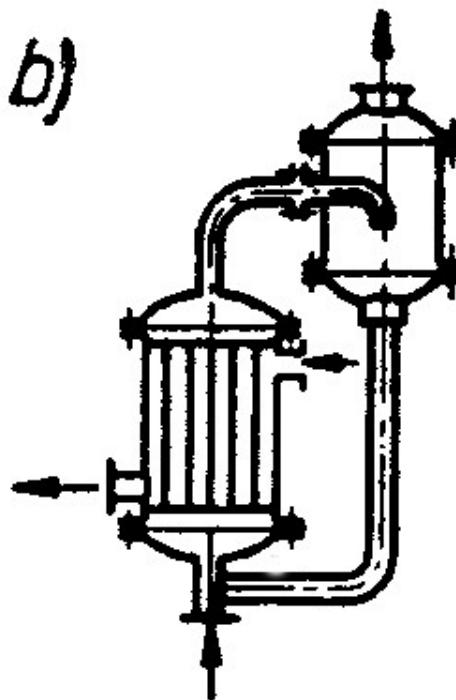
Exemple de situire a camerei de încălzire în evaporator : a) camera de încălzire cu două plăci tubulare independente și conductă de recirculație ; b) camera de încălzire separată, fără conductă de recirculație ; c, d, e) camera de încălzire suspendată în interiorul evaporatorului ; f, g) camera de încălzire separată cu conductă interioară de recirculație ; h, i) camera de încălzire cu conducte orizontale.

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR

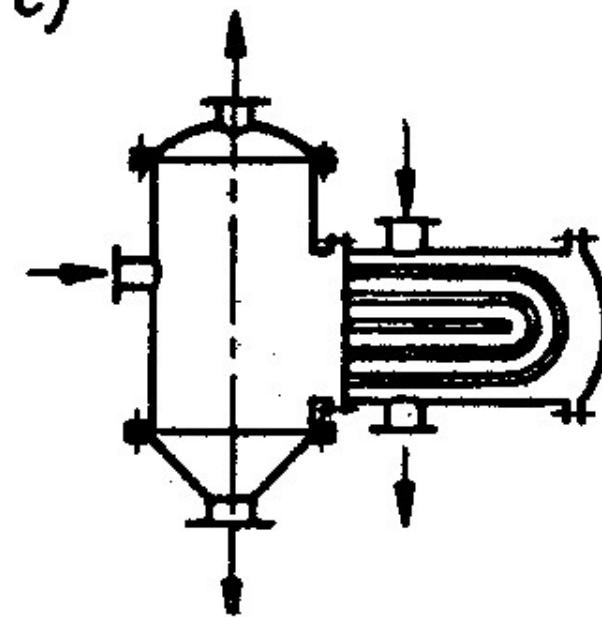
a)



b)



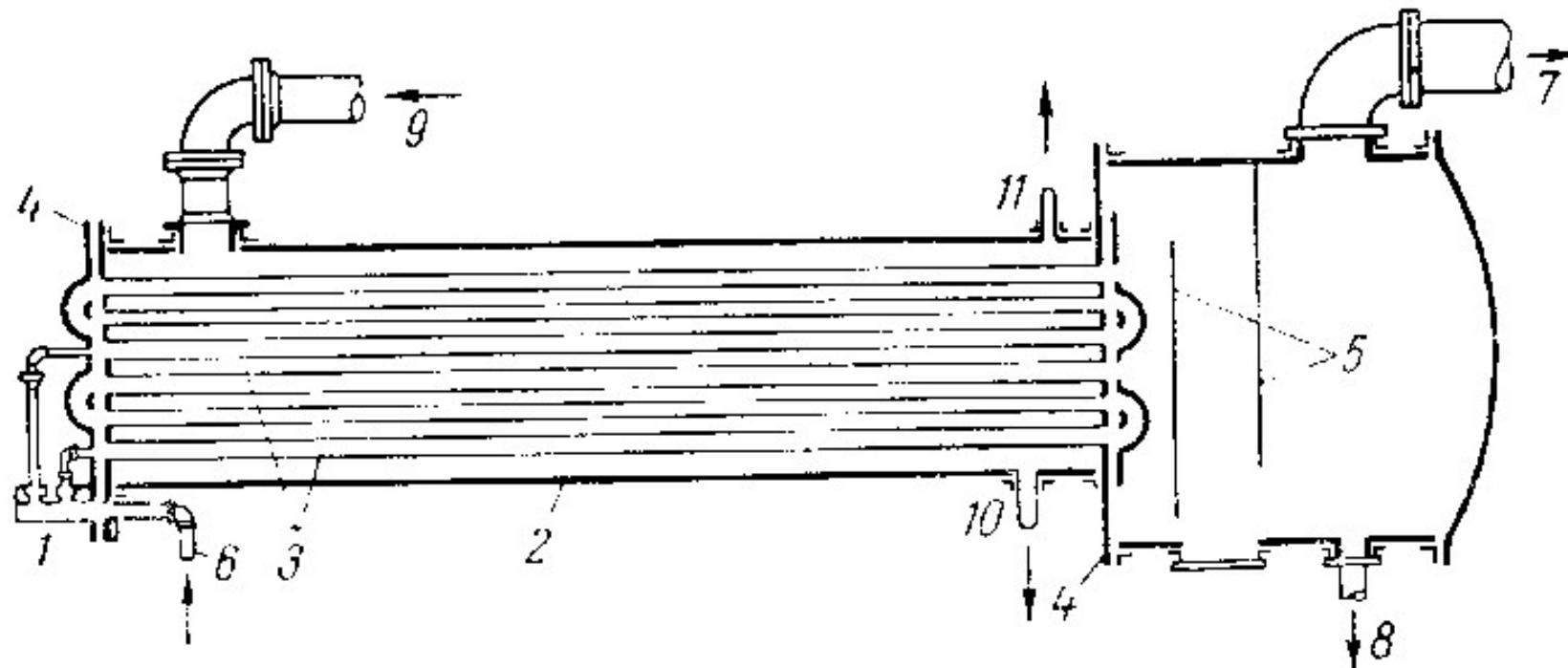
c)



Exemple de cameră de încălzire : a) cu schimbător vertical tubular și primirea vaporilor în partea de jos ; b) cu schimbător vertical, tubular, și primirea vaporilor în partea de sus ; c) cu schimbător tubular orizontal,

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR

## o Evaporatoare cu fascicul tubular orizontal

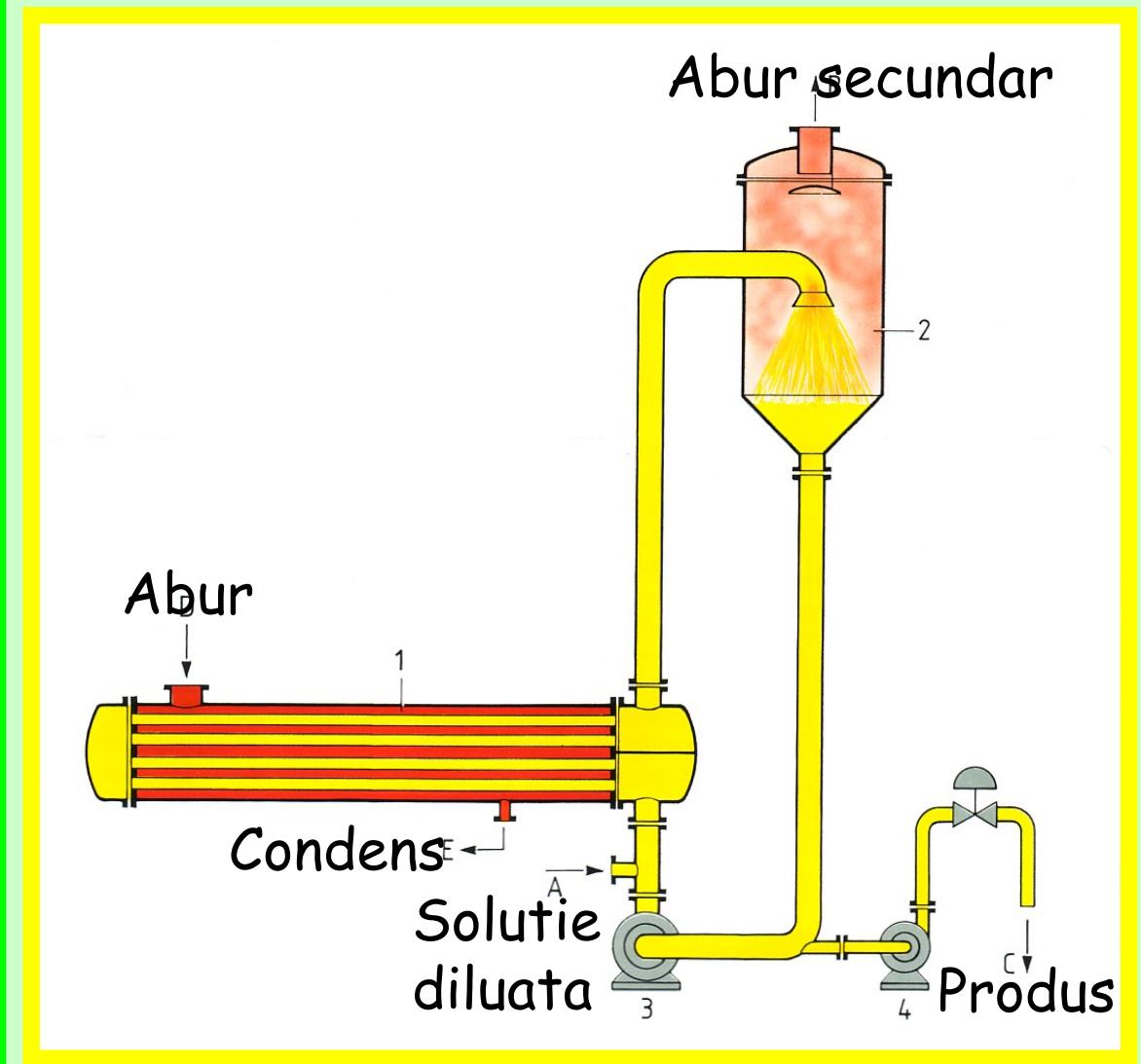
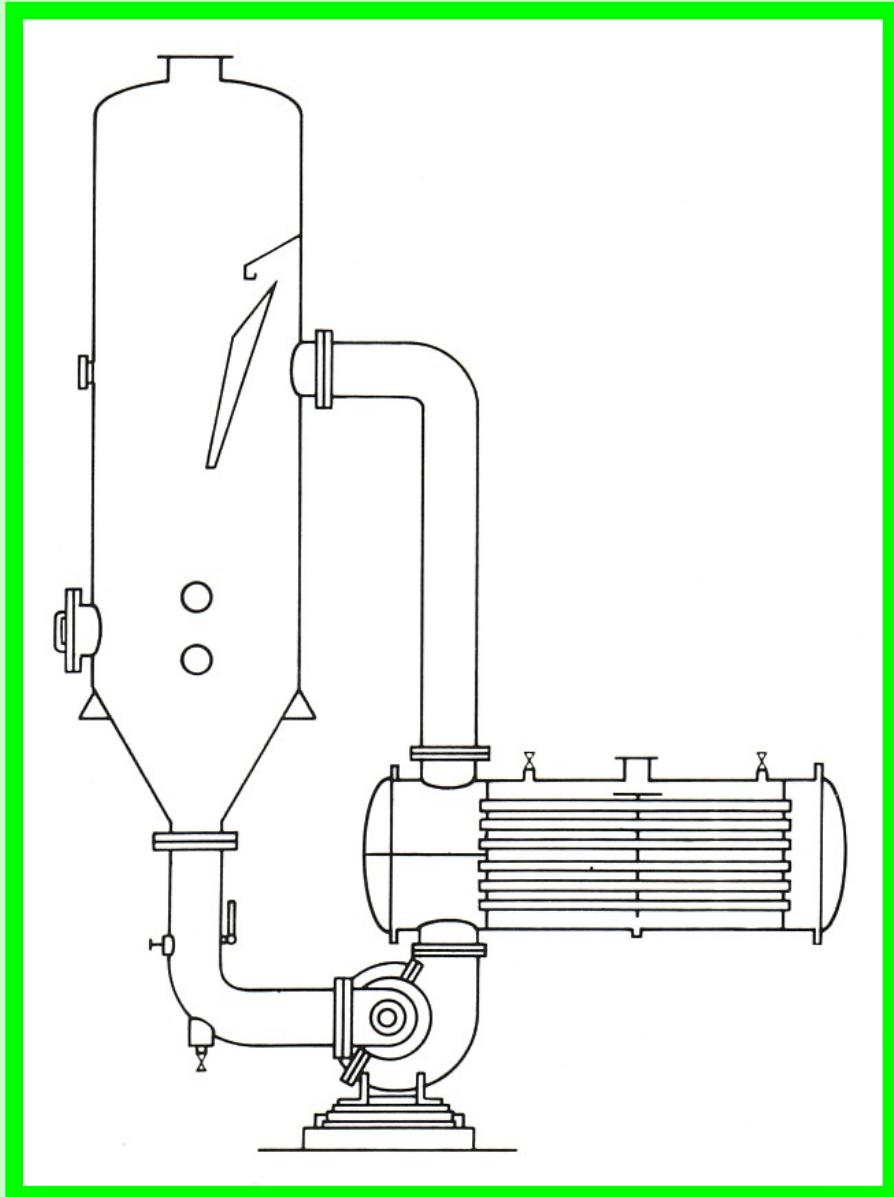


Vaporizator cu țevi fierbătoare orizontale:

1 — recipient de distribuție; 2 — mantaua schimbătorului de căldură; 3 — două dintre țevile fasciculului de țevi fierbătoare; 4 — plăci tubulare; 5 — șicane pentru separarea soluției concentrate de vaporii secundari; 6 — alimentarea cu soluție diluată; 7 — ieșirea vaporilor secundari; 8 — icsirea soluției concentrate; 9 — intrarea aburului (primar) de încălzire; 10 — ieșirea condensatului; 11 — aerisire.

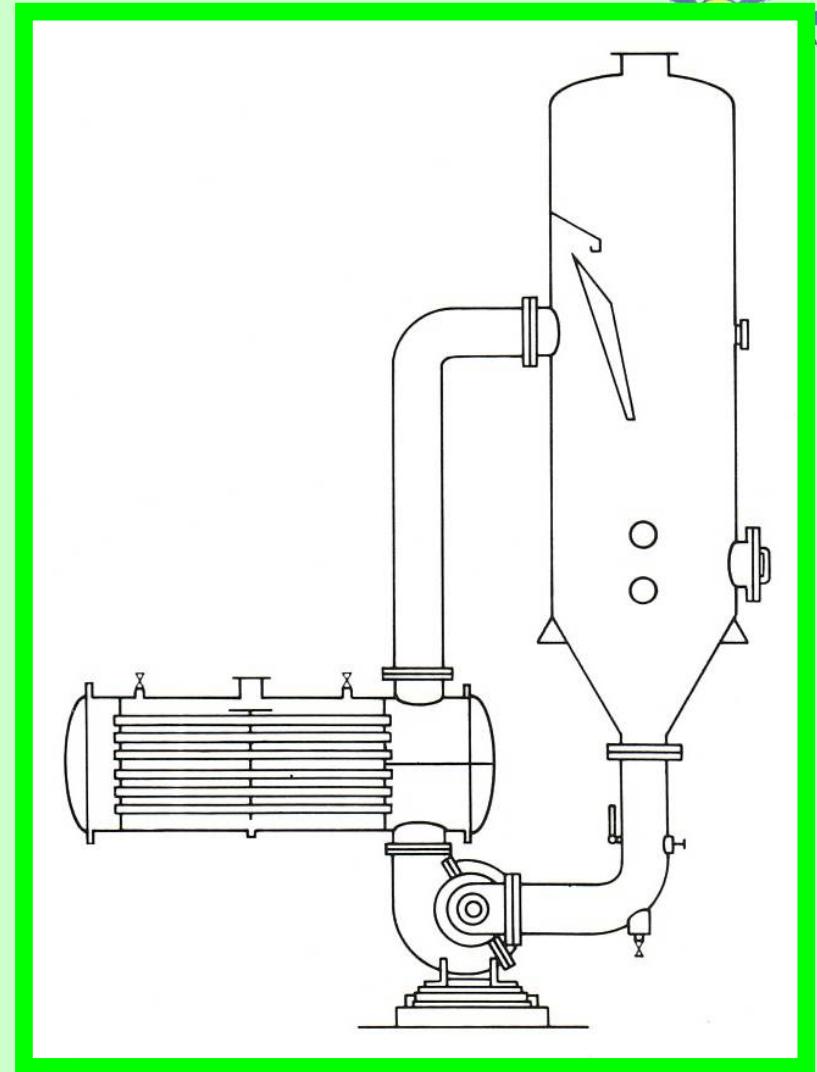
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR

## o Evaporatoare cu fascicul tubular orizontal



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR

- o Evaporatoare cu fascicul tubular orizontal:
  - pentru lichide care produc spuma;
  - Pentru lichide care se degradeaza la incalzire;

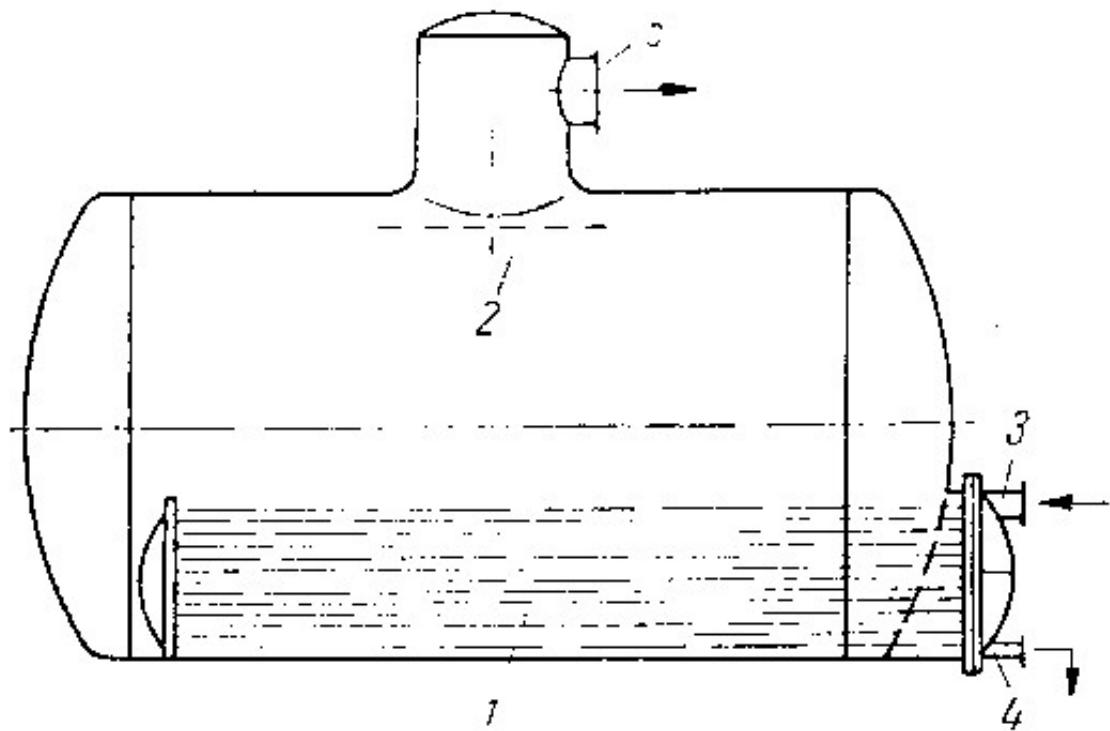


# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR

- Evaporatoare cu fascicul tubular incalzitor orizontal

Vaporizator cu țevi încălzitoare orizontale:

1 — fascicul de țevi încălzitoare;  
2 — tablă de impact pentru separarea picăturilor din vapori; 3 — intrarea aburului de încălzire; 4 — ieșirea condensatului; 5 — ieșirea vaporilor secundari.



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR

- Evaporatoare cu fascicul tubular incalzitor orizontal:
  - Au avantajul ca fasciculul poate fi scos din aparat pentru indepartarea crustelor

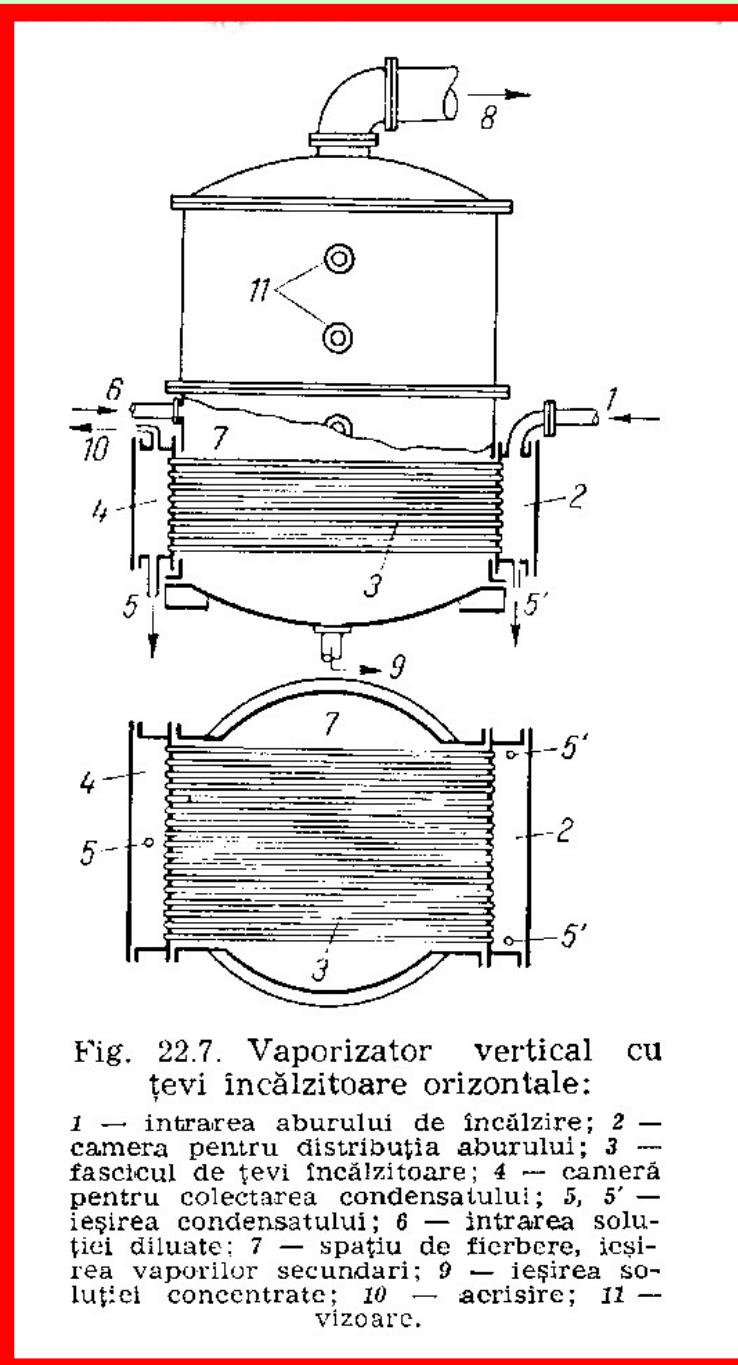


Fig. 22.7. Vaporizator vertical cu țevi încălzitoare orizontale:

1 — intrarea aburului de încălzire; 2 — camera pentru distribuția aburului; 3 — fascicul de țevi încălzitoare; 4 — cameră pentru colectarea condensatului; 5, 5' — ieșirea condensatului; 6 — intrarea soluției diluate; 7 — spațiu de fierbere, ieșirea vaporilor secundari; 9 — ieșirea soluției concentrate; 10 — acrisire; 11 — vizoare.

# EVAPORATOARE CU TEVI VERTICALE

GRACAU

## Evaporator cu circulatie naturala cu tub central

- o Tubul de circulatie ( $\varnothing$  min. = 200 mm);
- o Permite circulatia descendenta a solutiei;
- o Viteza in tub: 0,4 - 0,5 m/s;
- o Viteza in tevi: 1,2 - 3 m/s;
- o Tevi de  $\varnothing = 30 - 80$  mm;  
 $L = 800 - 3000$  mm;

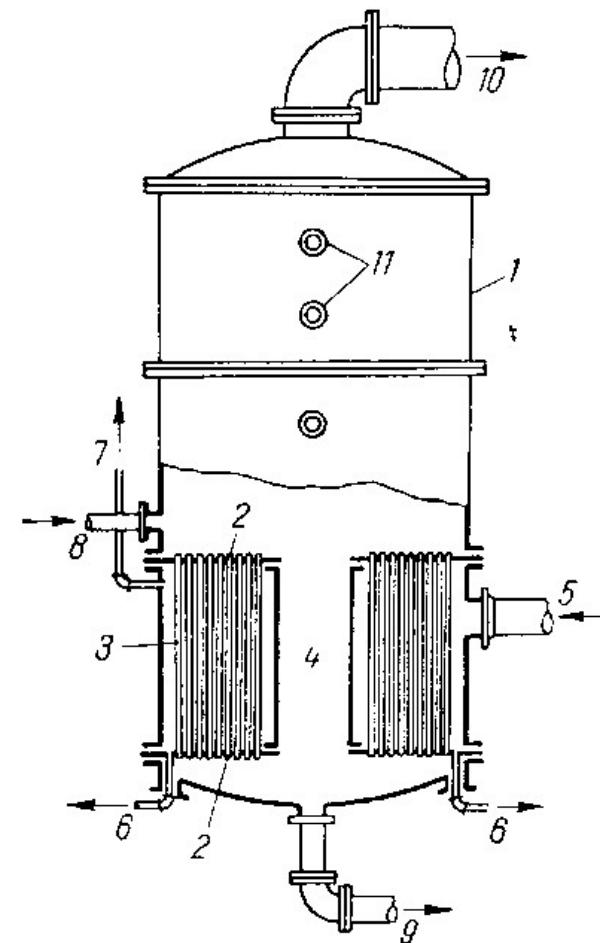


Fig. 22.8. Vaporizator vertical cu tub interior de circulație:

1 — mantaua vaporizatorului; 2 — plăci tubulare; 3 — țevi fierbătoare; 4 — tub central de circulație; 5 — intrarea aburului de încălzire; 6 — ieșirea condensatului; 7 — aerisire, pentru evacuarea gazelor necondensabile; 8 — intrarea soluției diluate; 9 — ieșirea soluției concentrate; 10 — ieșirea vaporilor secundari; 11 — vizoare.

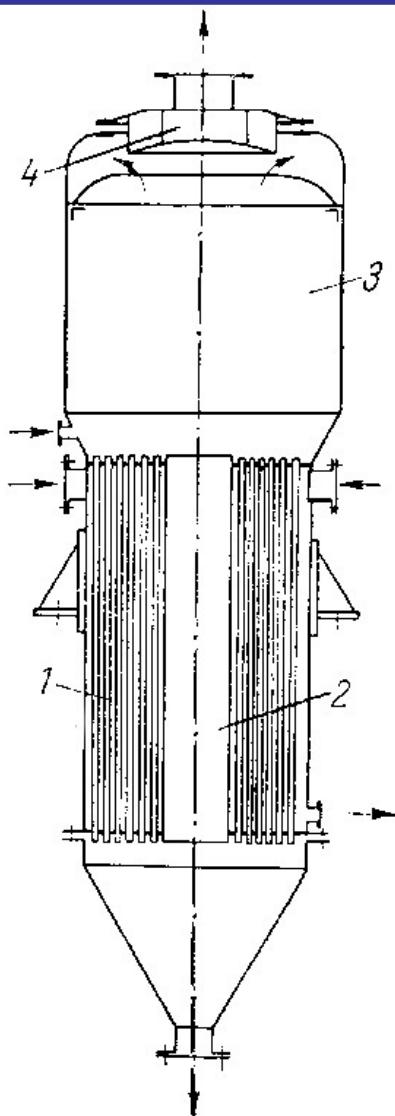
# Evaporator cu circulatie naturala cu tub central

## o AVANTAJE:

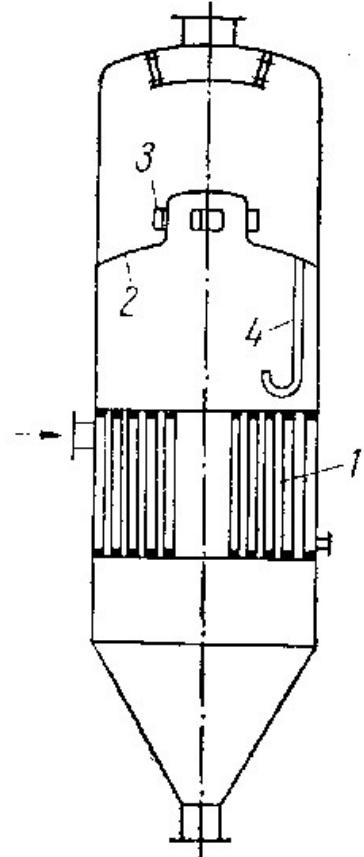
- Buna circulatie a solutiei in spatiul de fierbere;
- Permit concentrarea cu formare de cristale;

## o DEZAVANTAJE:

- Greutatea curatirii crustelor din tevi;
- Durata mare de stationare a solutiei;
- Consum mare de metal;
- Coeficient mic de transfer termic.



Vaporizator vertical tip VV:  
1 — tevi fierbătoare;  
2 — tub central de circulație; 3 — spațiu de vaporii; 4 — separator de picături.



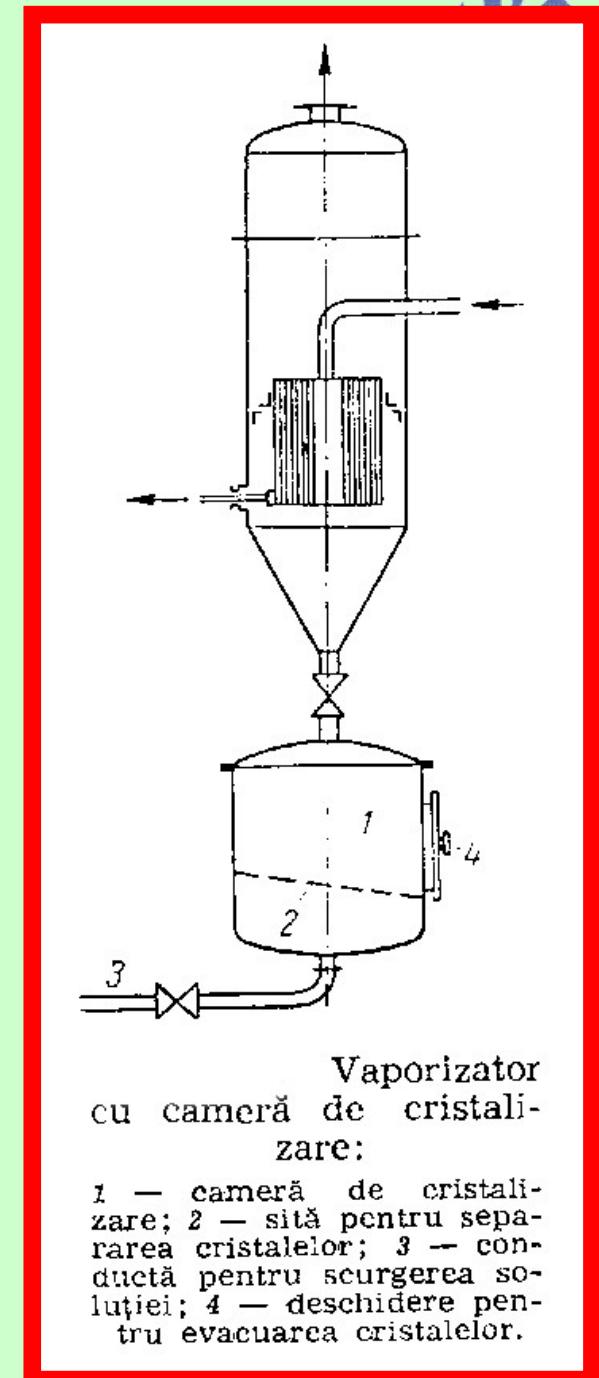
Vaporizator vertical cu separator de spumă;

1 — încălzitor tubular; 2 — perete despărțitor; 3 — ferestre cu aripi pentru dirijarea tangențială a vaporilor; 4 — sifon pentru readucerea lichidului în spațiul de fierbere.

# Evaporator cu circulatie naturala cu tub central

## o APLICATII:

- Concentrarea sol. de zahar;
- Obtinerea sarii de bucatarie;
- Cristalizarea unor saruri:  $MgSO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $BaCl_2$ ,  $KCl$ .



# Evaporator cu circulație naturală cu tub central

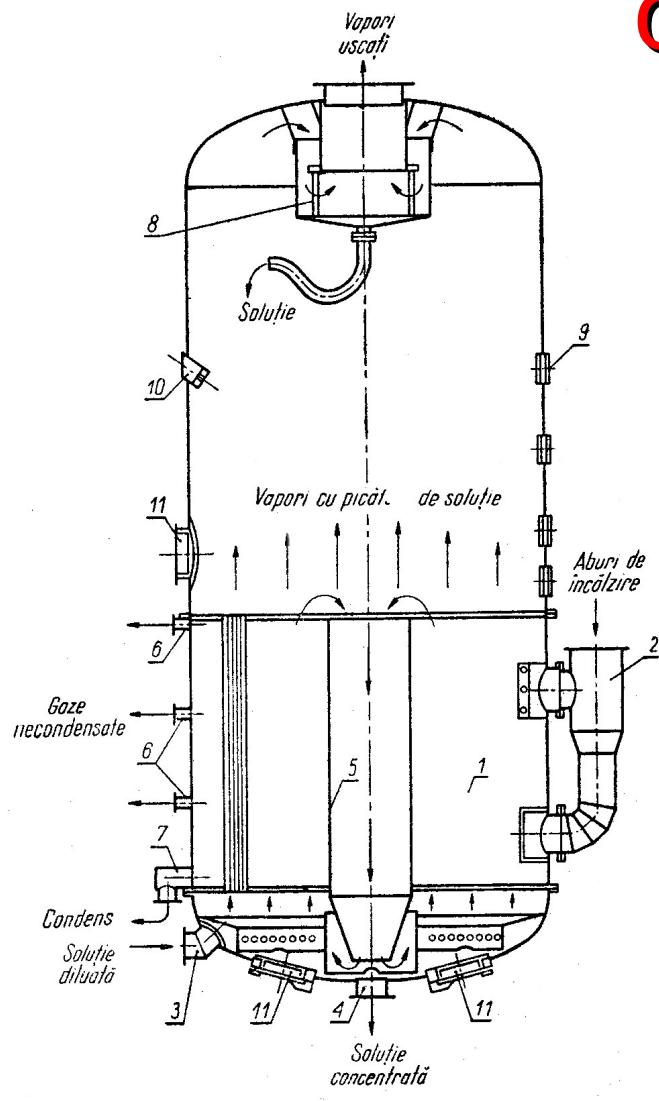
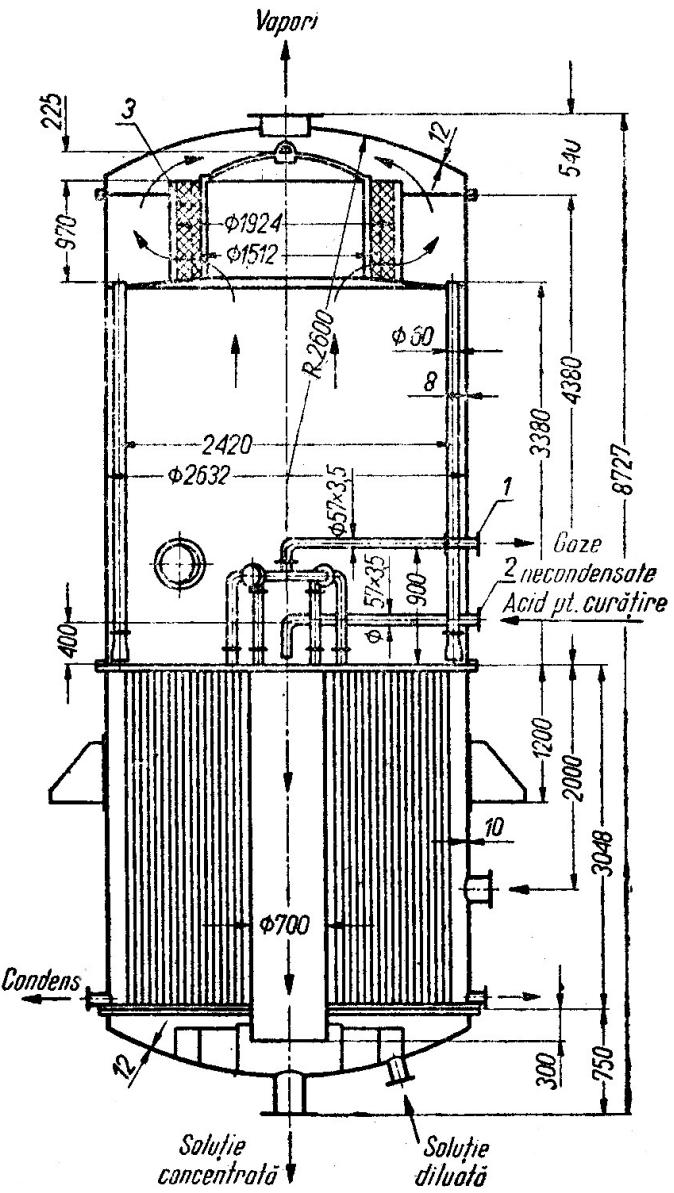
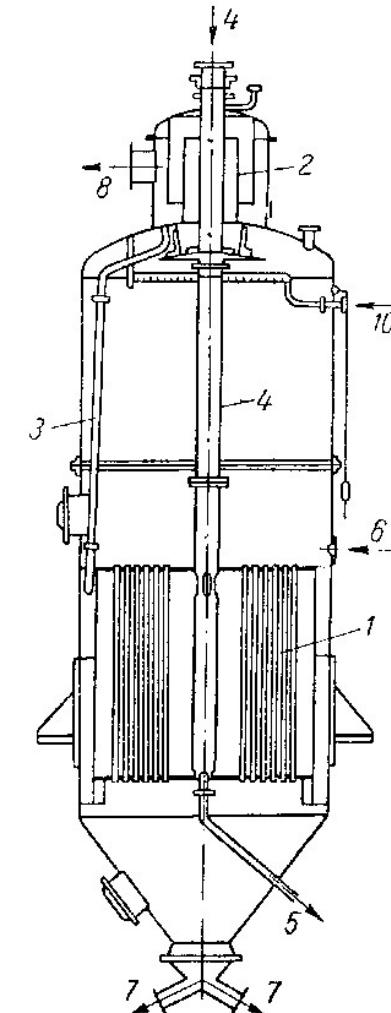
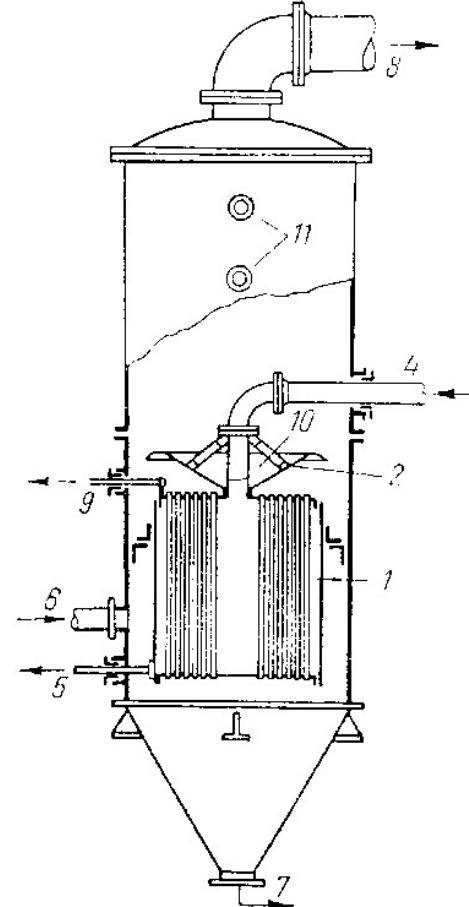


Fig. 4-1. Aparatul de evaporare tip Robert : 1 — camera de încălzire ; 2 — racord de aducție a vaporilor ; 3 — intrarea soluției diluate ; 4 — evacuare soluție concentrată ; 5 — conductă de recirculație ; 6 — aerisiri ; 7 — evacuare condens ; 8 — separator de picături ; 9 — vizoare ; 10 — iluminat ; 11 — guri de vizitare.



# Evaporatoare cu circulatie naturala cu camera de incalzire suspendata

- Au aceleasi avantaje si dezavantaje ca si evaporatoarele cu tub central;
- Repartizare mai buna a aburului printre tevile fierbatoare

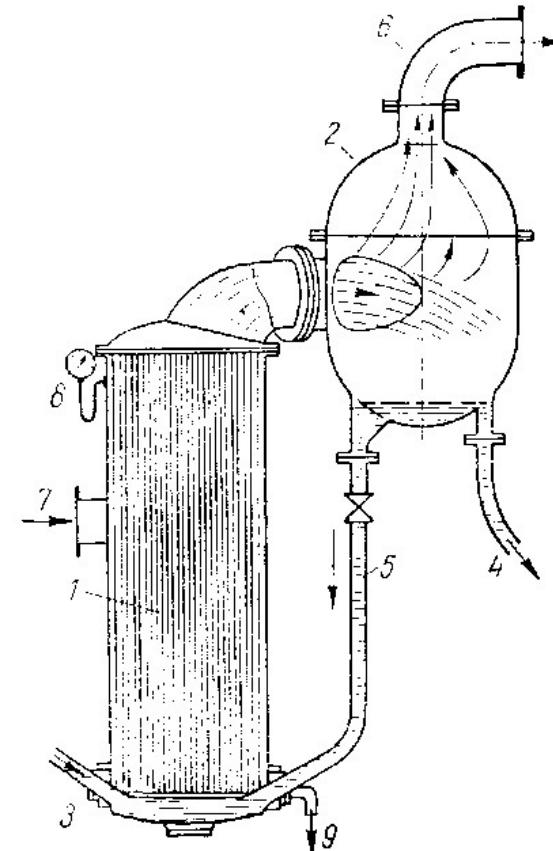


Vaporizatoare cu incălzitor suspendat:

1 — incălzitor suspendat; 2 — separator de picături; 3 — conductă pentru conducedea lichidului provenit din picături, în spațiul de fierbere; 4 — intrarea aburului de incălzire; 5 — ieșirea condensatului; 6 — intrarea soluției diluate; 7 — ieșirea soluției concentrate; 8 — ieșirea vaporilor secundari; 9 — aerisire; 10 — intrarea apei pentru spălarea aparatului; 11 — vizoare.

# Evaporatoare cu circulatie naturala cu camera de incalzire separata

- o Pentru solutii intens impurificate sau cu tendinta de spumare;
- thumb up Se poate regla debitul recirculat;
- thumb up Se pot conecta mai multe suprafete de incalzire;
- thumb up Separare mai buna vaporii - picaturi antrenate;
- thumb down Pierderi ceva mai mari de caldura;
- thumb down Consum mai mare de material;
- thumb down Suprafata ocupata mai mare.

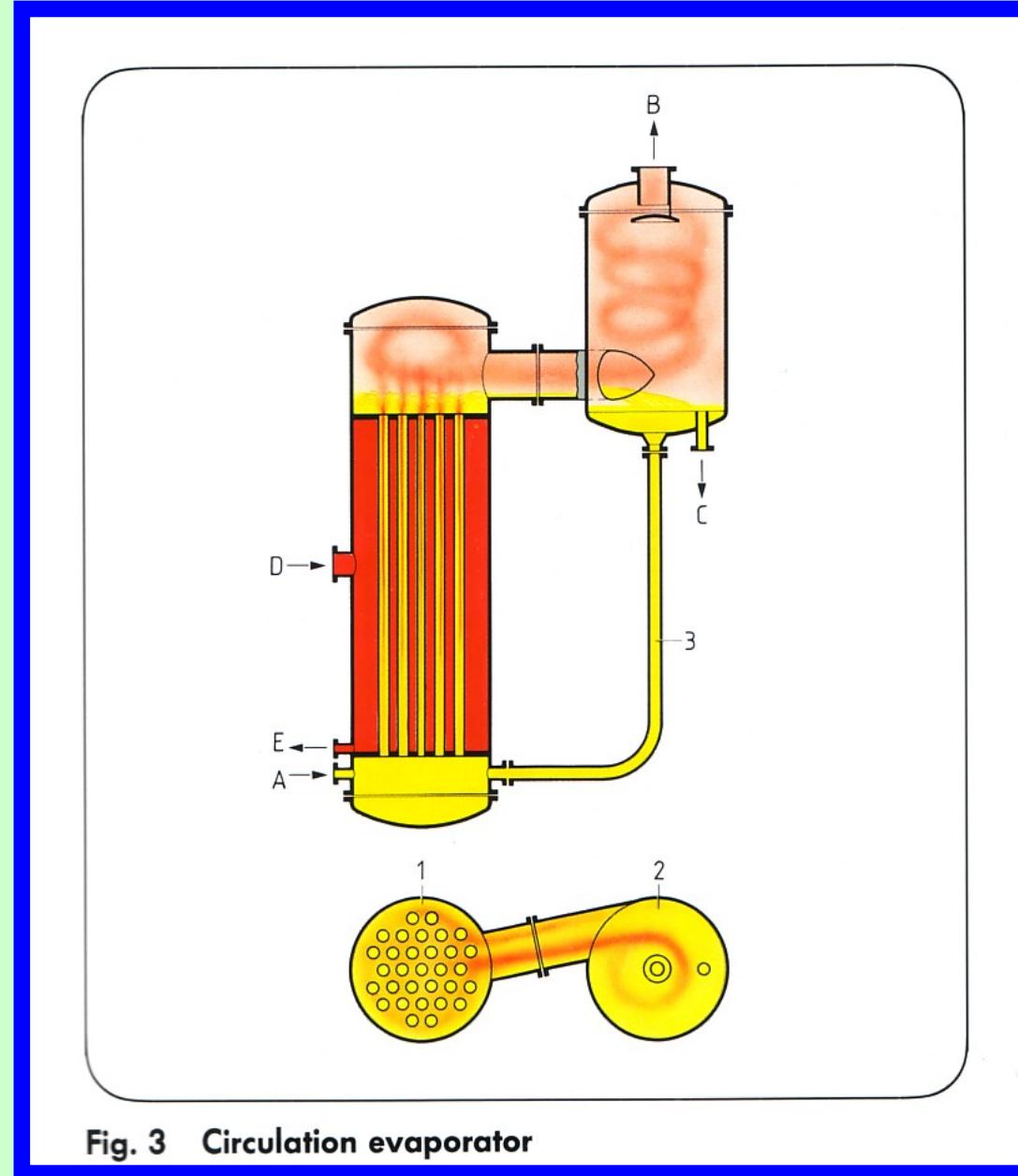


Vaporizator cu încălzitor exterior:

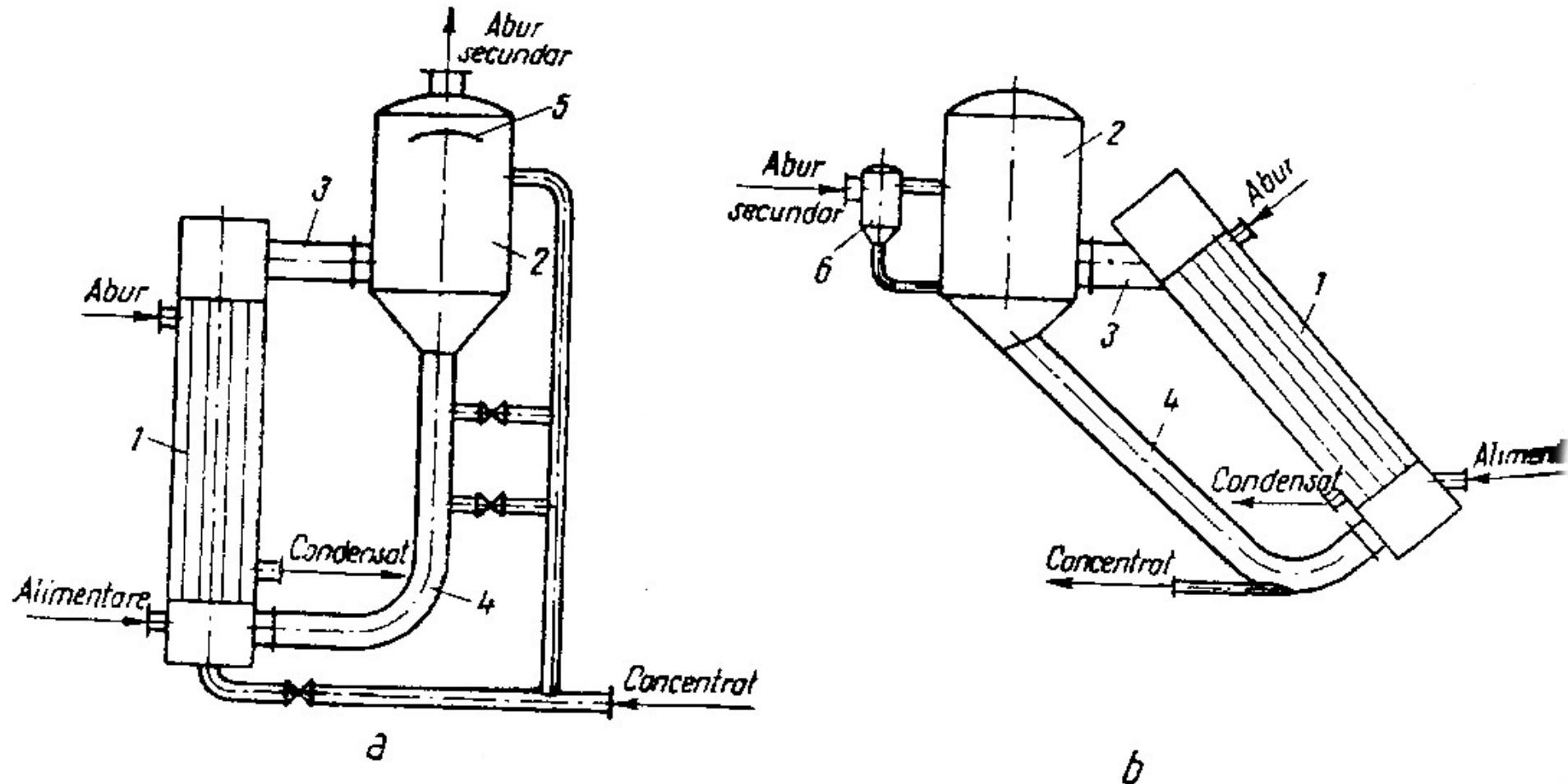
1 — schimbător de căldură (fierbător); 2 — separator de lichid; 3 — intrarea soluției diluate; 4 — ieșirea soluției concentrate; 5 — conductă pentru recircularea soluției; 6 — ieșirea vaporilor secundari; 7 — intrarea aburului de încălzire; 8 — manometru.

# Evaporatoare cu circulatie naturala cu camera de incalzire separata

- A. Sol. diluata
  - B. Abur secundar
  - C. Sol. concentrata
  - D. Abur primar
  - E. Condens
- 
- 1. Camera de incalzire
  - 2. Separator
  - 3. Tub de circulatie

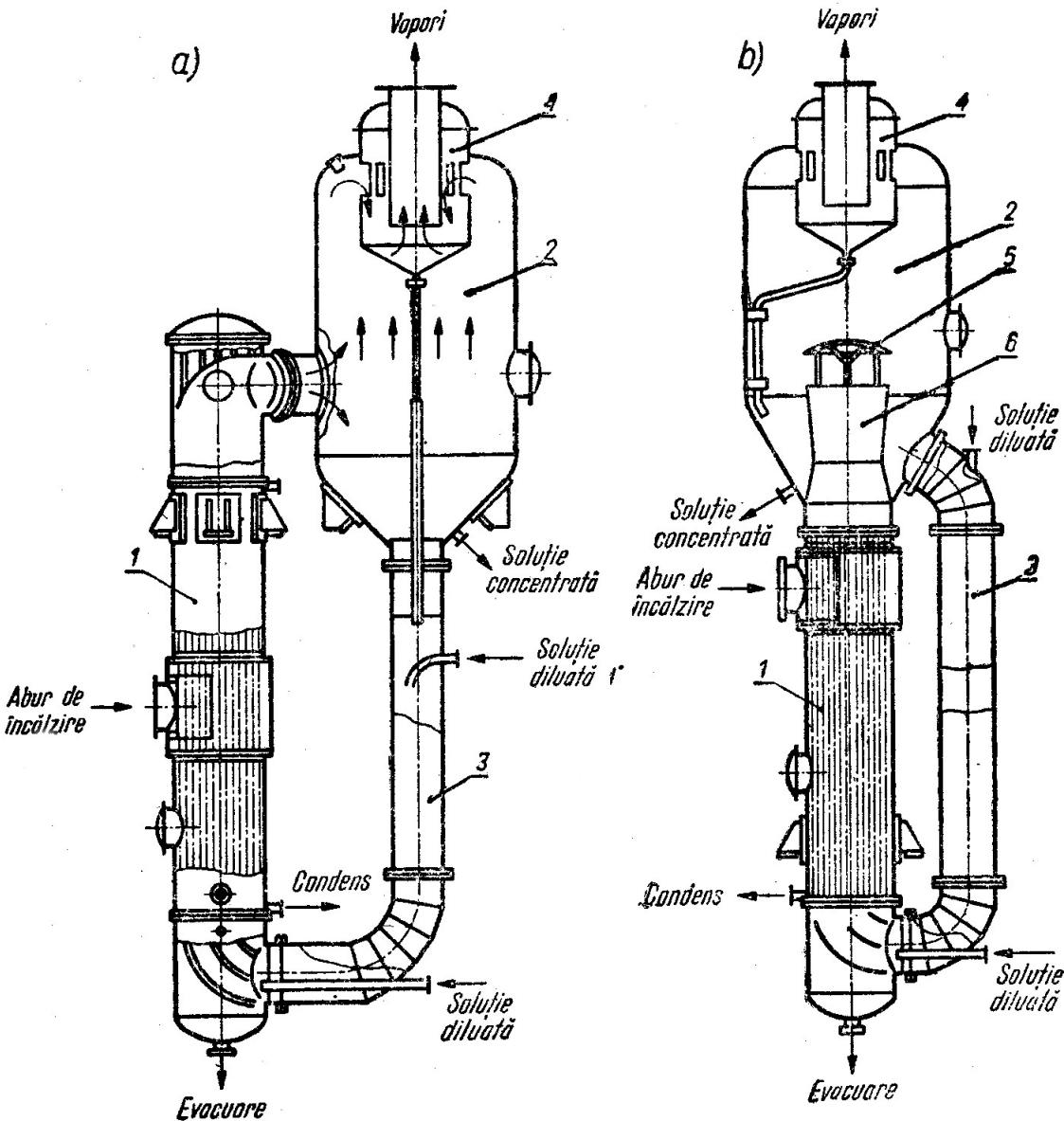


# Evaporatoare cu circulație naturală cu camera de incalzire separată



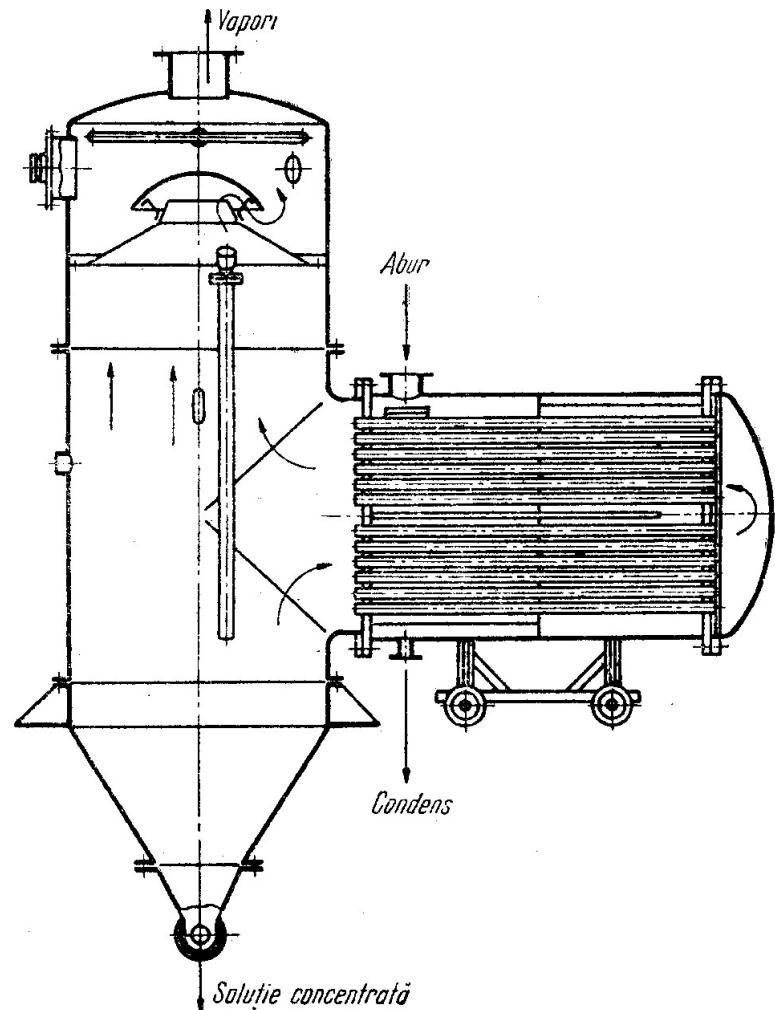
Evaporatoare cu suprafață de transfer termic sub formă de schimbător de căldură multitubular și circulație naturală  
a – schimbător de căldură vertical; b – schimbător de căldură încluat.

# Evaporatoare cu circulatie naturala cu camera de incalzire separata

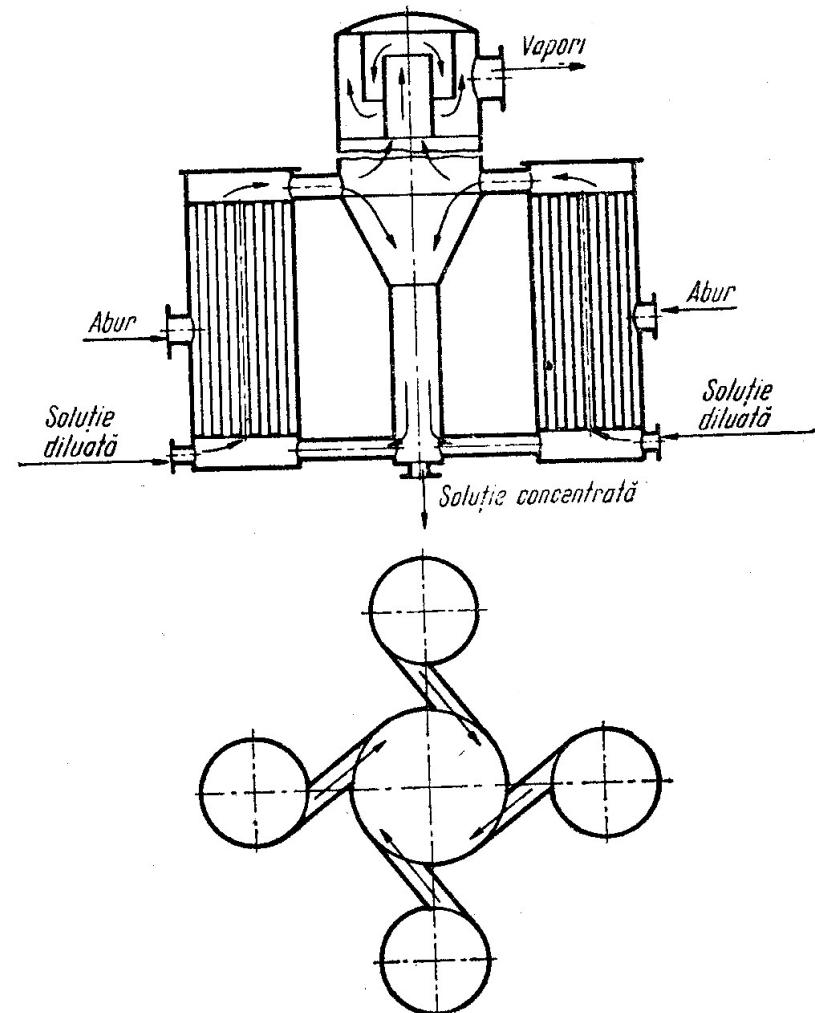


Evaporator cu camera de încălzire exterioară: a) cu camera de încălzire situată în paralel față de camera de aburi; b) cu camera de încălzire situată sub camera de aburi; 1 — camera de încălzire, 2 — cameră de vapori, 3 — conductă de recirculație, 4 — separator de pierderi, 5 — ecranul de deflexie a picăturilor, 6 — captator de picături.

# Evaporatoare cu circulatie naturala cu camera de incalzire separata



Evaporator cu camera de încălzire exterioară  
orizontală.

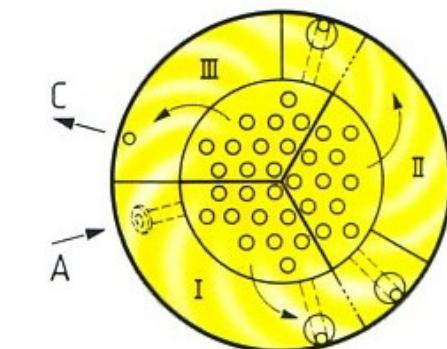
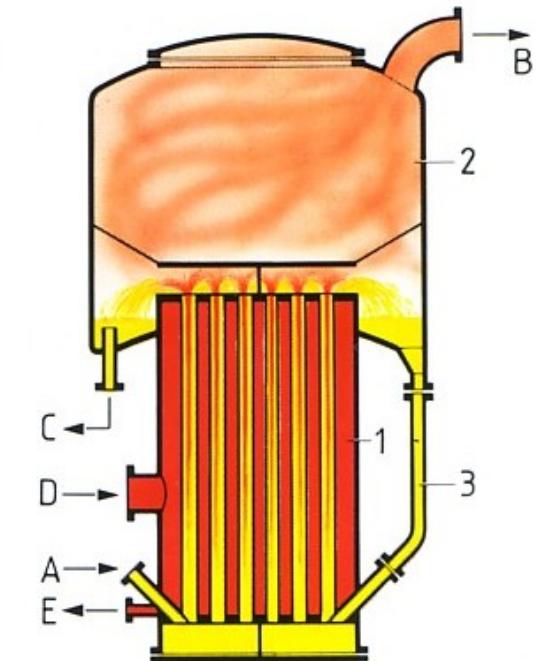


Evaporator cu camera de încălzire exterioară  
cu mai multe schimbătoare de căldură.

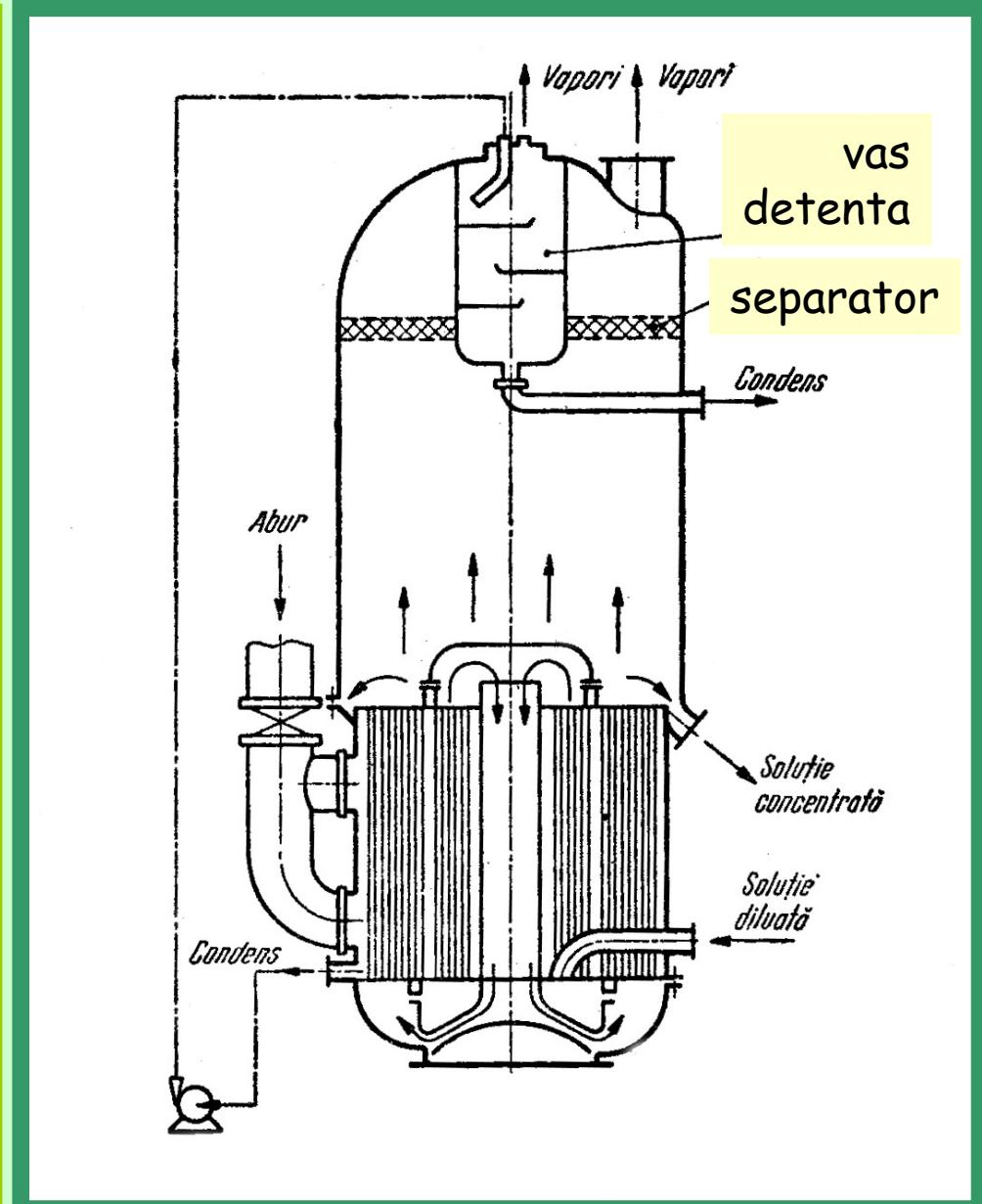
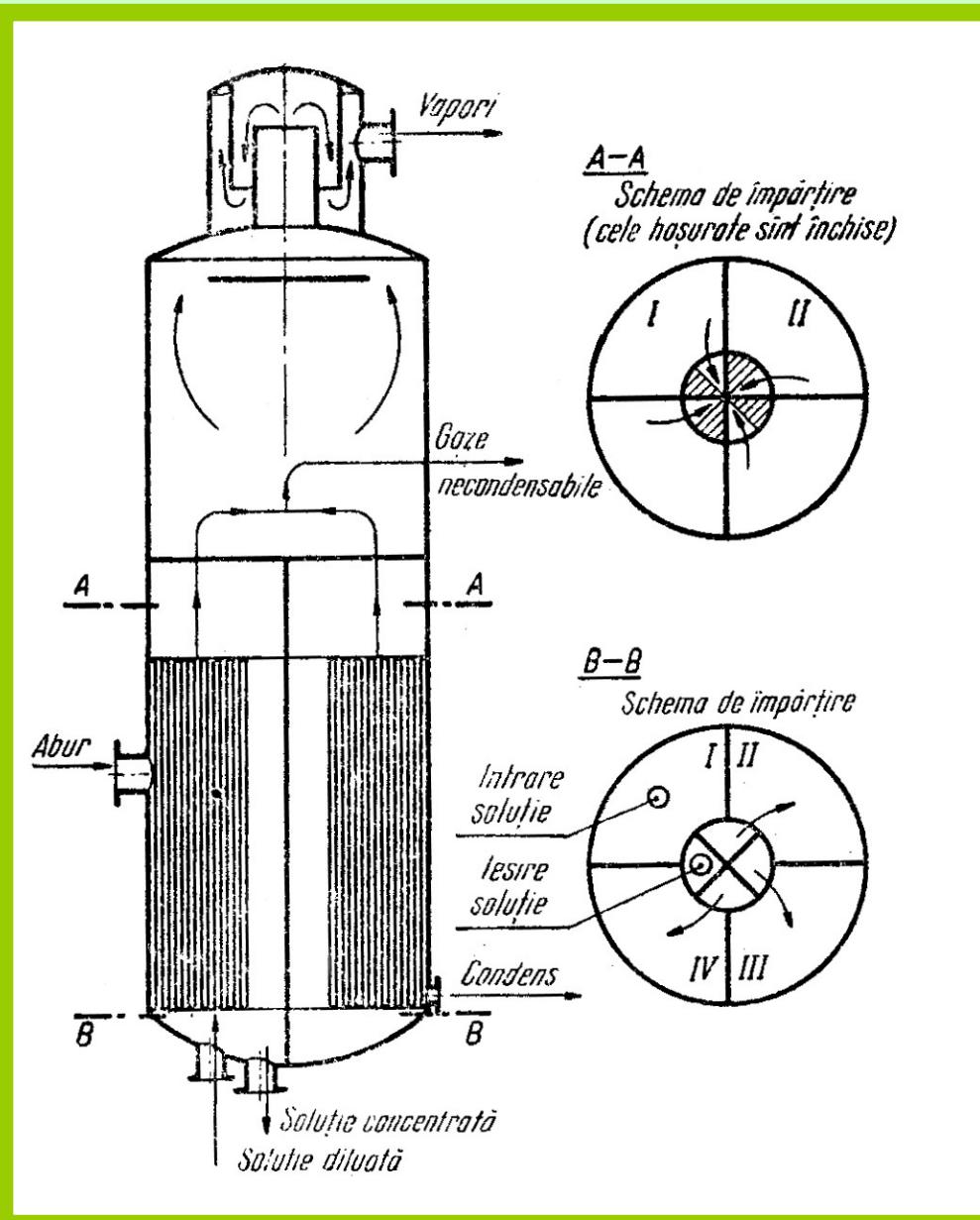
# Evaporatoare cu circulatie naturala cu camera de incalzire divizata in sectiuni

- Fasciculul tubular (1) este impartit in mai multe compartimente (I, II, III) pe care lichidul le parurge succesiv, o singura data;
- Fiecare compartiment este prevazut cu cate un tub de circulatie (3)

A - solutie diluata;  
B - abur secundar;  
C - solutie concentrata;  
D - abur primar;  
E - condens;  
1 - calandria;  
2 - separator;  
3 - tub de circulatie;  
I, II, III - compartimente in secventa.



# Evaporatoare cu circulatie naturala cu camera de incalzire divizata in sectiuni



# EVAPORATOARE CU CIRCULATIE NATURALA

UNIVERSITATEA BACAU

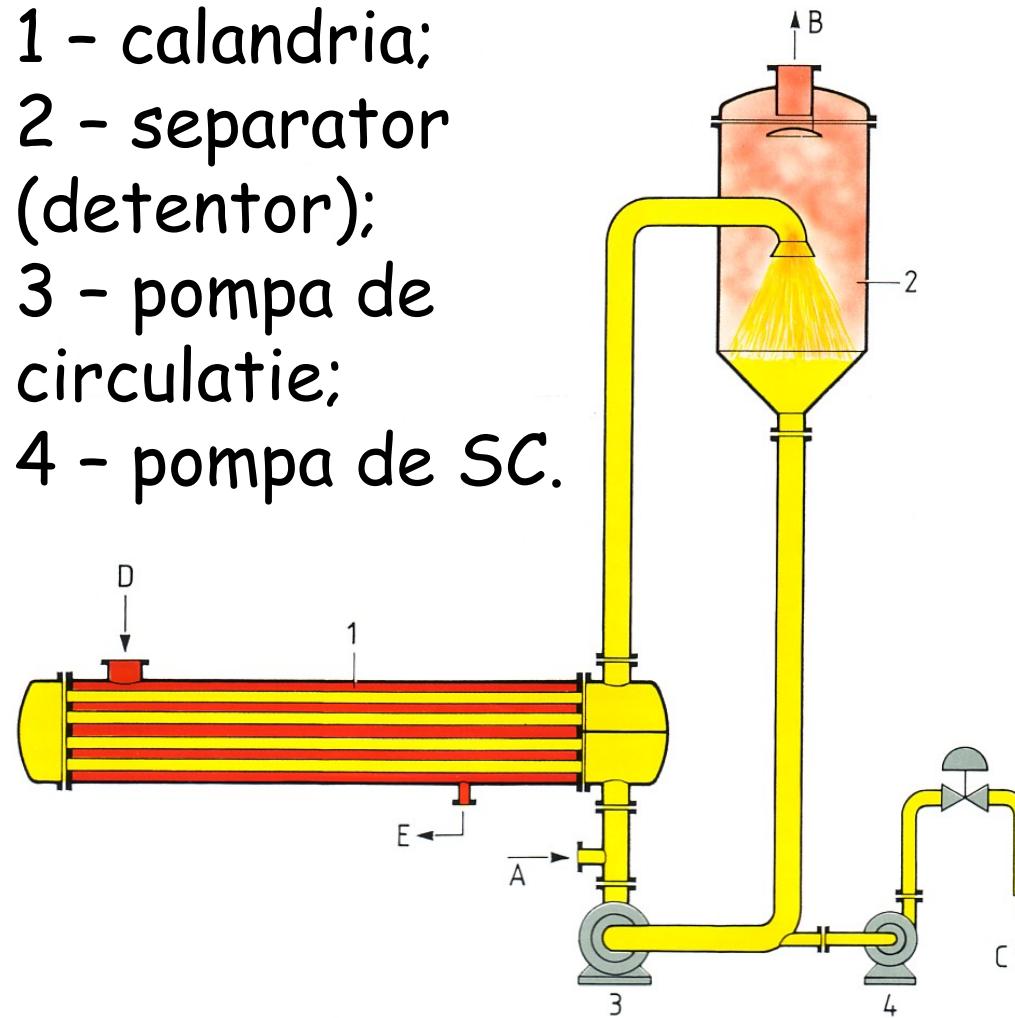
- o Instalatie GEA - WIEGAND cu circulatie naturala, 3 efecte, pentru concentrarea efluentilor de la prelucrarea cafelei
- o 16250 kg/h



# EVAPORATOARE CU CIRCULATIE FORTATA

- o Se recomanda cand fierberea produsului pe suprafetele de incalzire trebuie evitata (murdarire, incrustare, cristalizare, degradare etc);
- o Este indicata in cazul solutiilor dense si viscoase;
- o Solutia este incalzita cand parurge schimbatorul de caldura (calandria);
- o Evaporarea are loc in separator unde presiunea este ceva mai coborata;
- o Datorita pompei de circulatie evaporarea se conduce la valori mici ale  $\Delta T$  (3 - 5 K);

- 1 - calandria;
- 2 - separator (detentor);
- 3 - pompa de circulatie;
- 4 - pompa de SC.



A - SD; B - abur secundar; C - SC;  
D - abur primar; E - condens;

# EVAPORATOARE CU CIRCULATIE FORTATA

Instalatie de evaporare cu circulatie fortata, cu simplu efect utilizata in concentrarea efluentilor de la developarea fotografiilor:

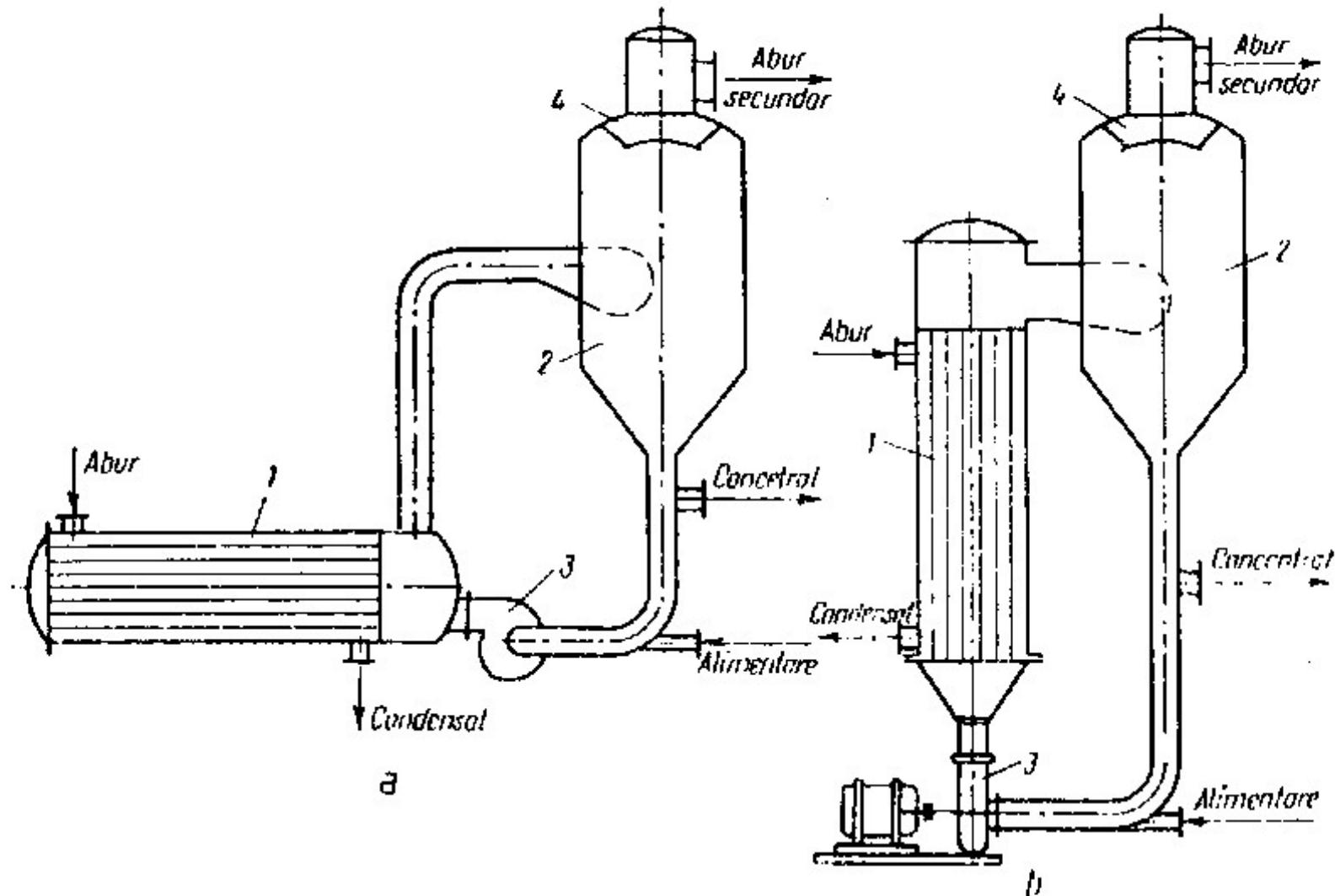
- Debit 1,2 t/h;
- SD: 15 % SU;
- SC: 50 % SU.

(GEA Wiegand GmbH)



# EVAPORATOARE CU CIRCULATIE FORTATA

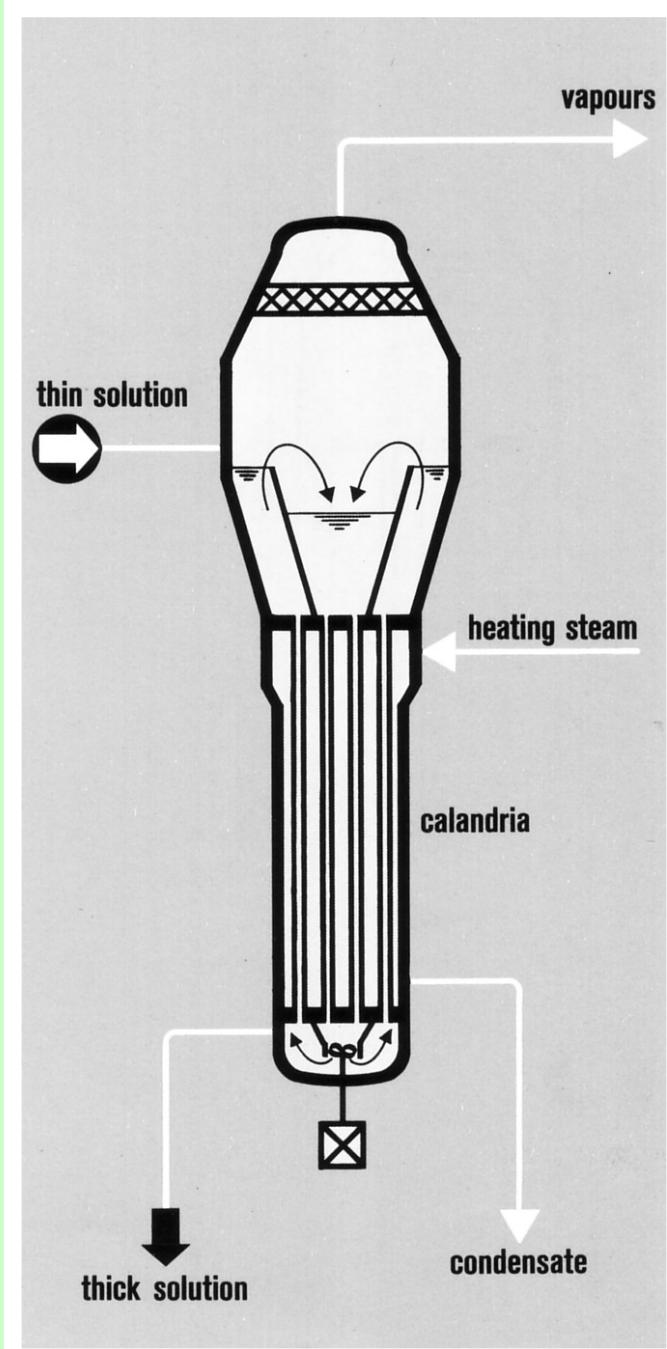
ATEA BACAU



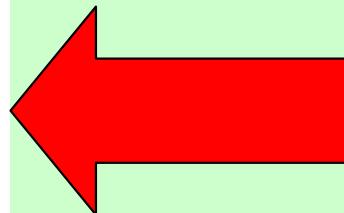
Evaporatoare cu suprafață de transfer termic sub formă de schimbător de căldură multitubular și circulație forțată:

a – schimbător de căldură orizontal; b – schimbător de căldură vertical; 1 – schimbător de căldură;  
2 – separator de lichid-vapori; 3 – pompă de circulație; 4 – șicană.

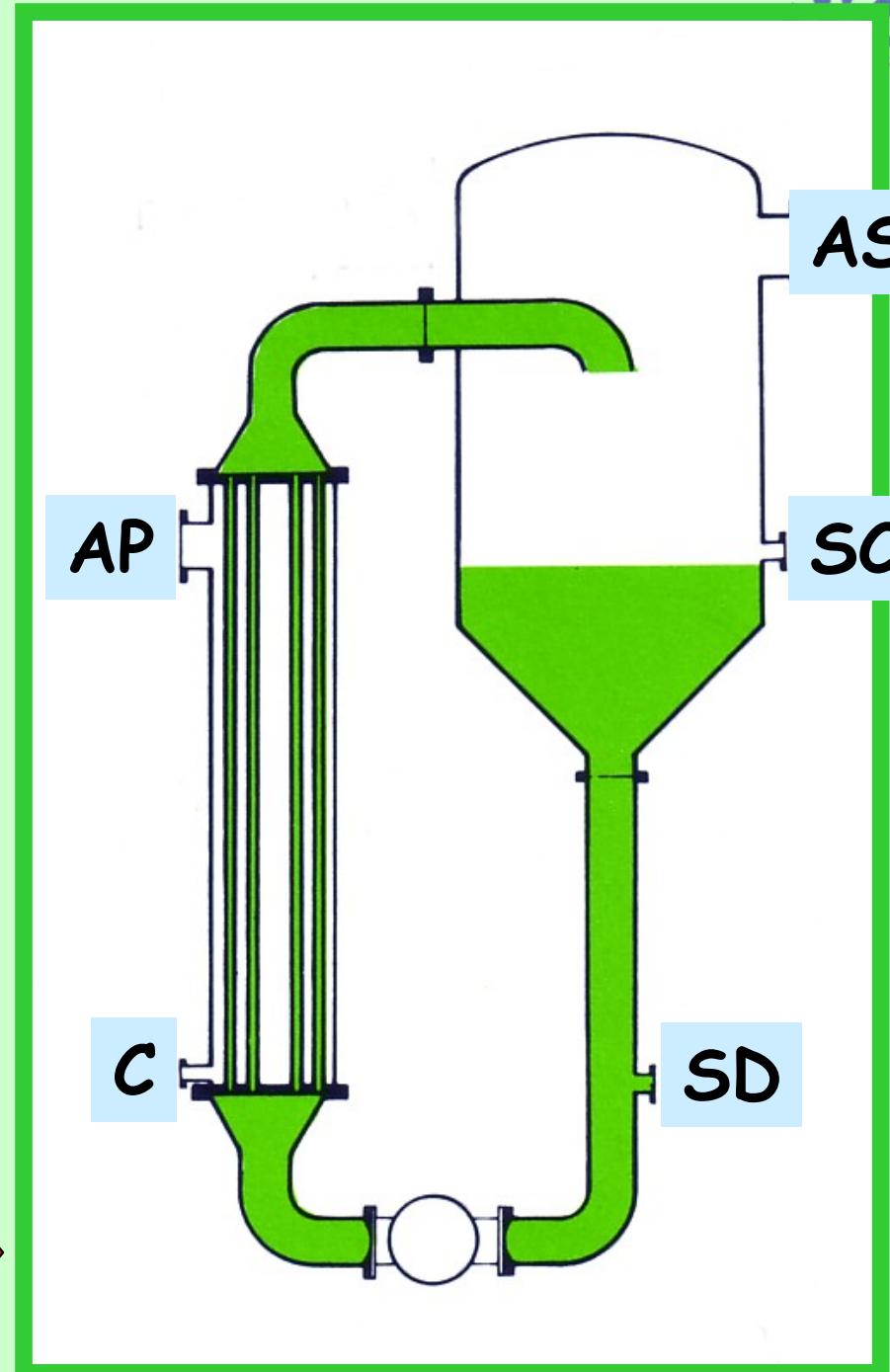
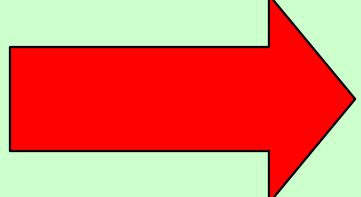
# EVAPORATOARE CU CIRCULATIE FORTATA



LURGI

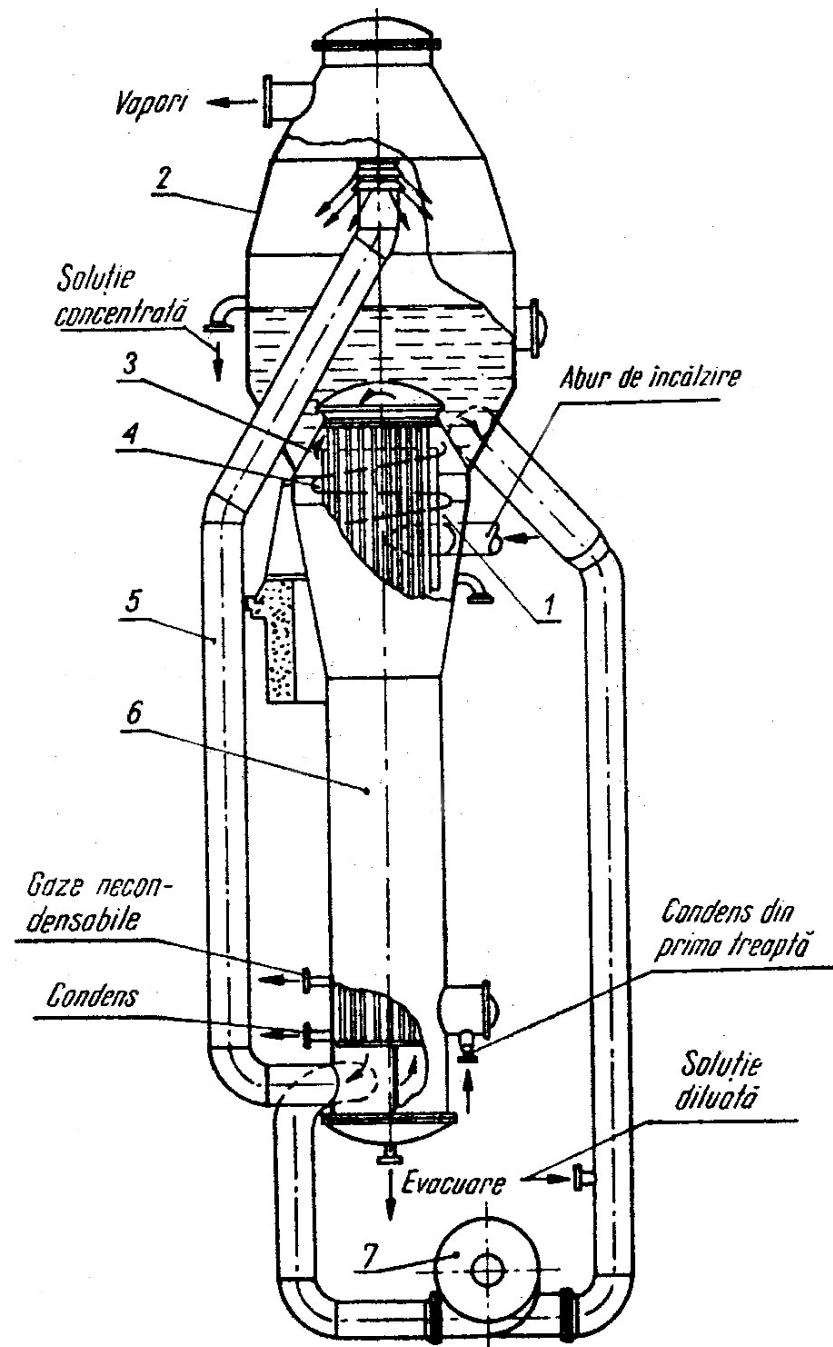


KESTNER



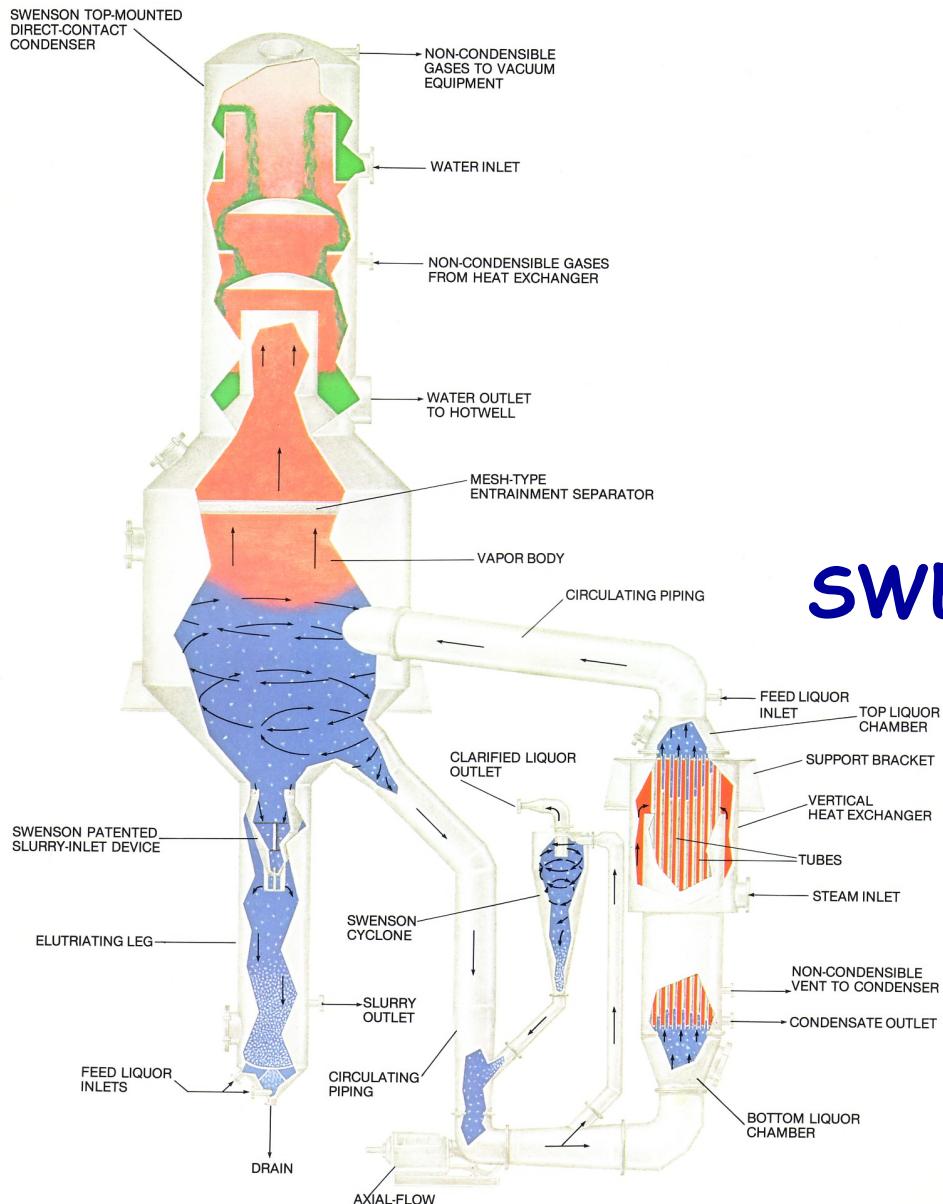
# EVAPORATOARE CU CIRCULATIE FORTATA

## SWENSON



Evaporator cu circulație forțată, firma Swenson: 1 — intrare abur, distribuitor și dispozitiv de fixare a camerei de încălzire; 2 — separator; 3 — ecran; 4 — țevi de încălzire; 5 — conductă de circulație; 6 — camera de încălzire; 7 — pompa pentru recirculație.

# EVAPORATOARE CU CIRCULATIE FORTATA



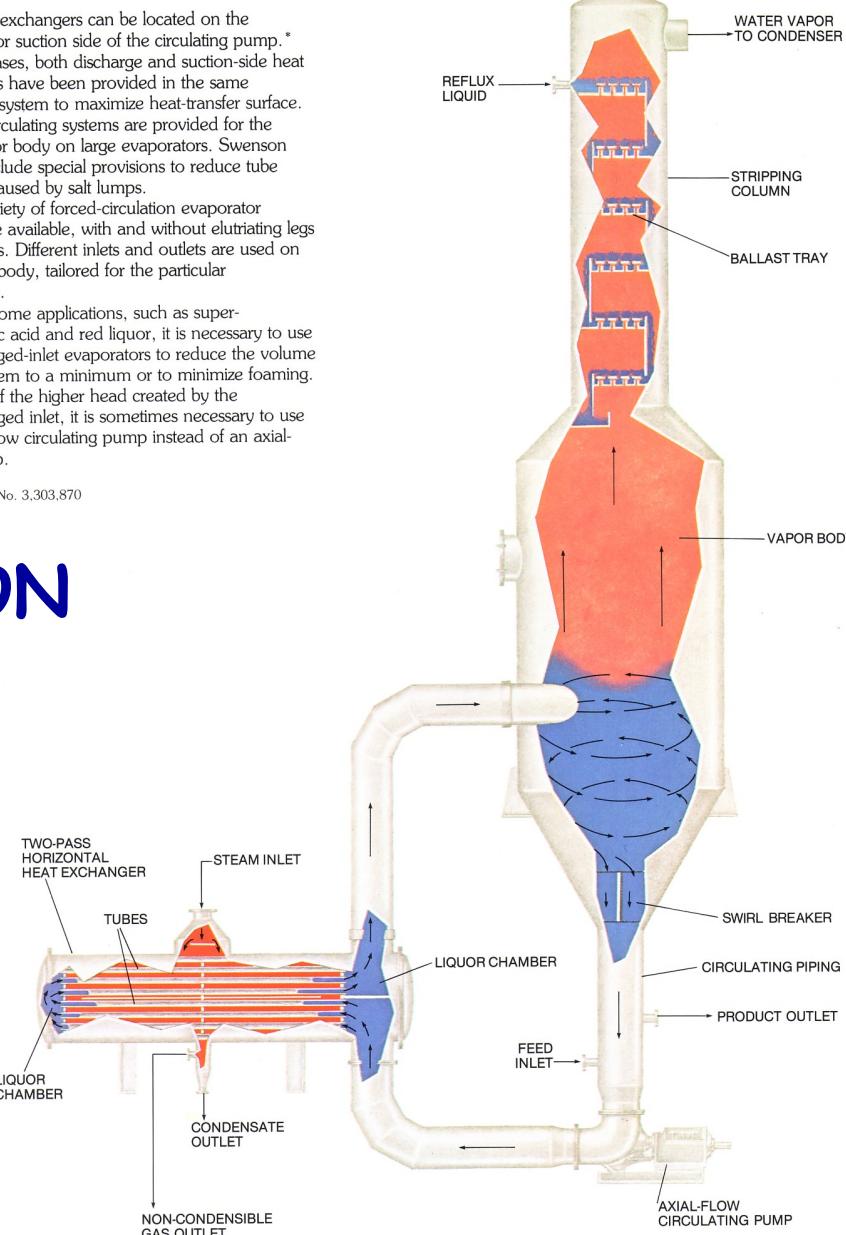
Heat exchangers can be located on the discharge or suction side of the circulating pump.\* In some cases, both discharge and suction-side heat exchangers have been provided in the same circulating system to maximize heat-transfer surface. Multiple circulating systems are provided for the same vapor body on large evaporators. Swenson designs include special provisions to reduce tube plugging caused by salt lumps.

A variety of forced-circulation evaporator designs are available, with and without elutriating legs or cyclones. Different inlets and outlets are used on the vapor body, tailored for the particular application.

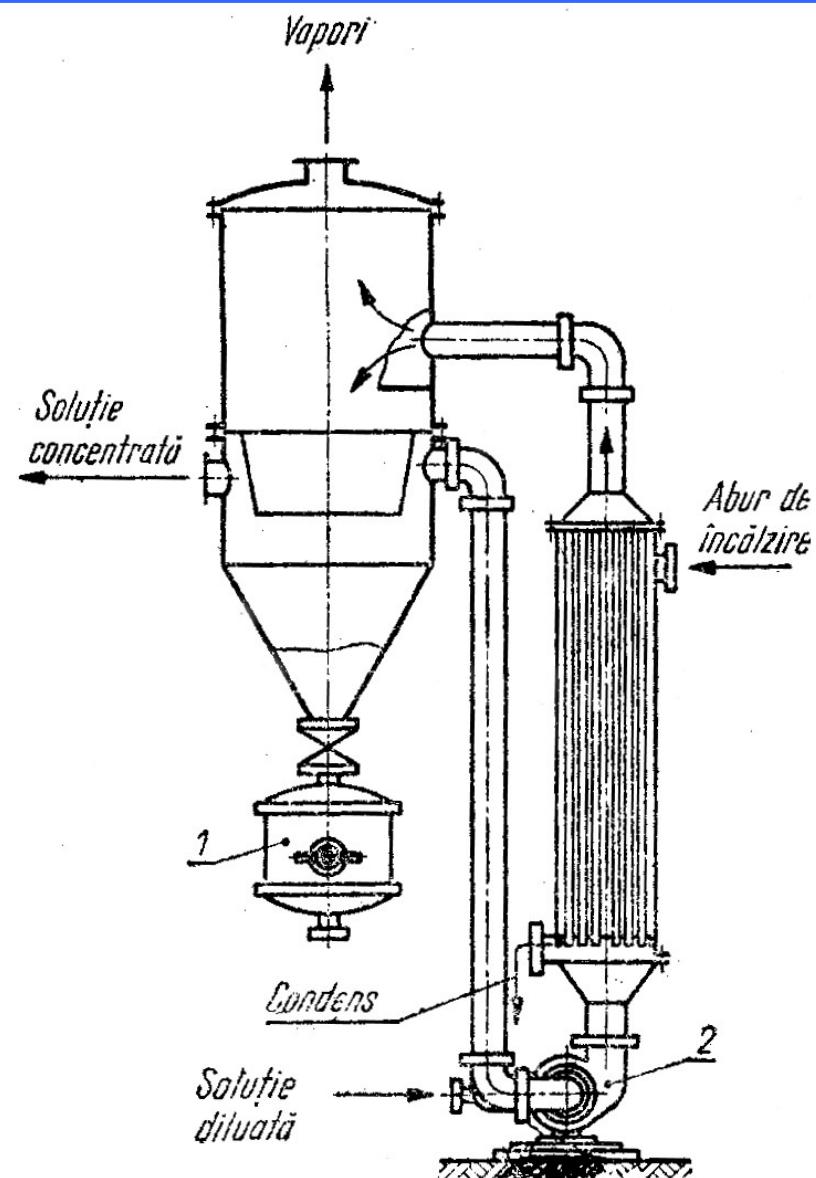
For some applications, such as super-phosphoric acid and red liquor, it is necessary to use unsubmerged-inlet evaporators to reduce the volume in the system to a minimum or to minimize foaming. Because of the higher head created by the unsubmerged inlet, it is sometimes necessary to use a mixed-flow circulating pump instead of an axial-flow pump.

\*U.S. Patent No. 3,303,870

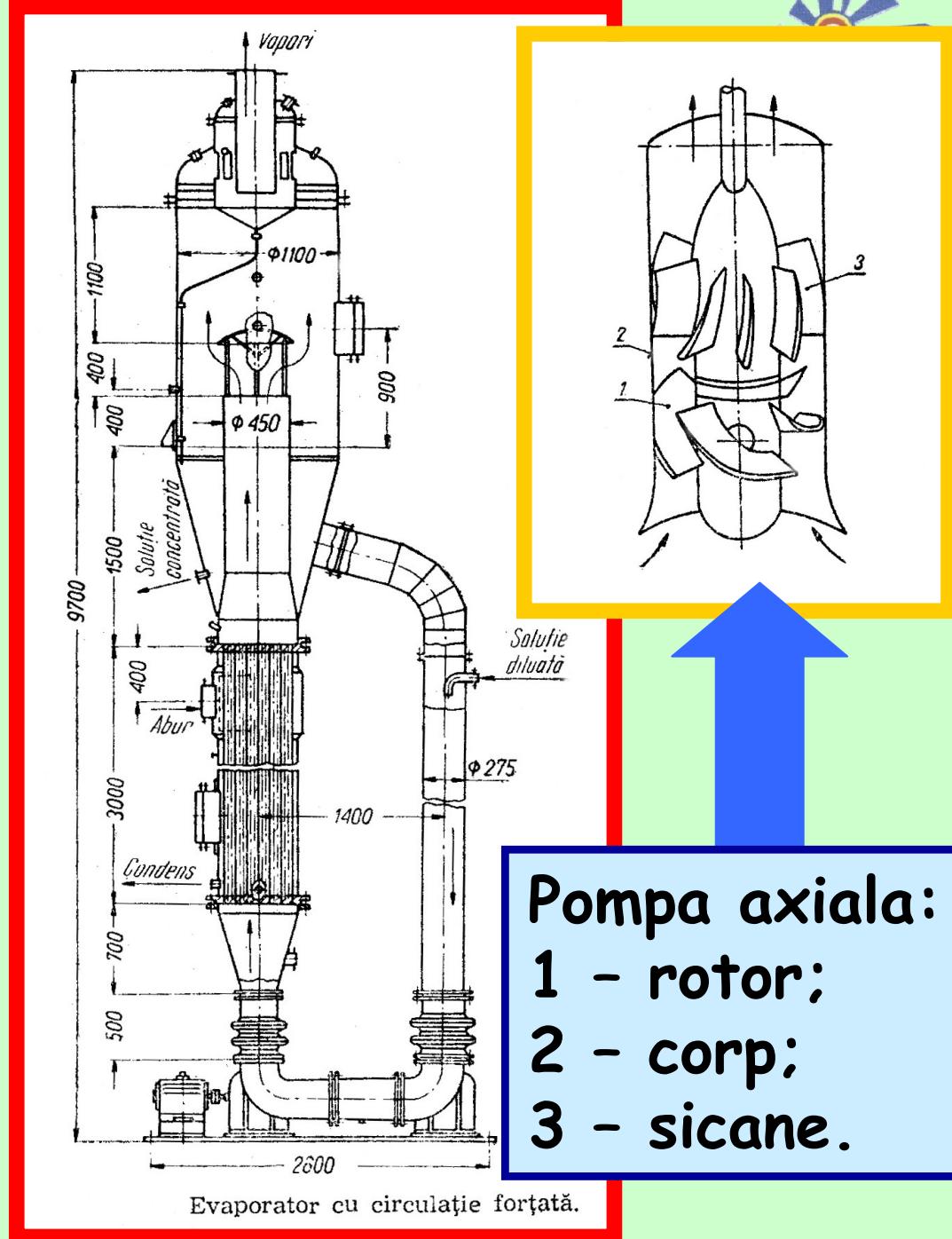
## SWENSON



# EVAPORATOARE CU CIRCULATIE FORTATA



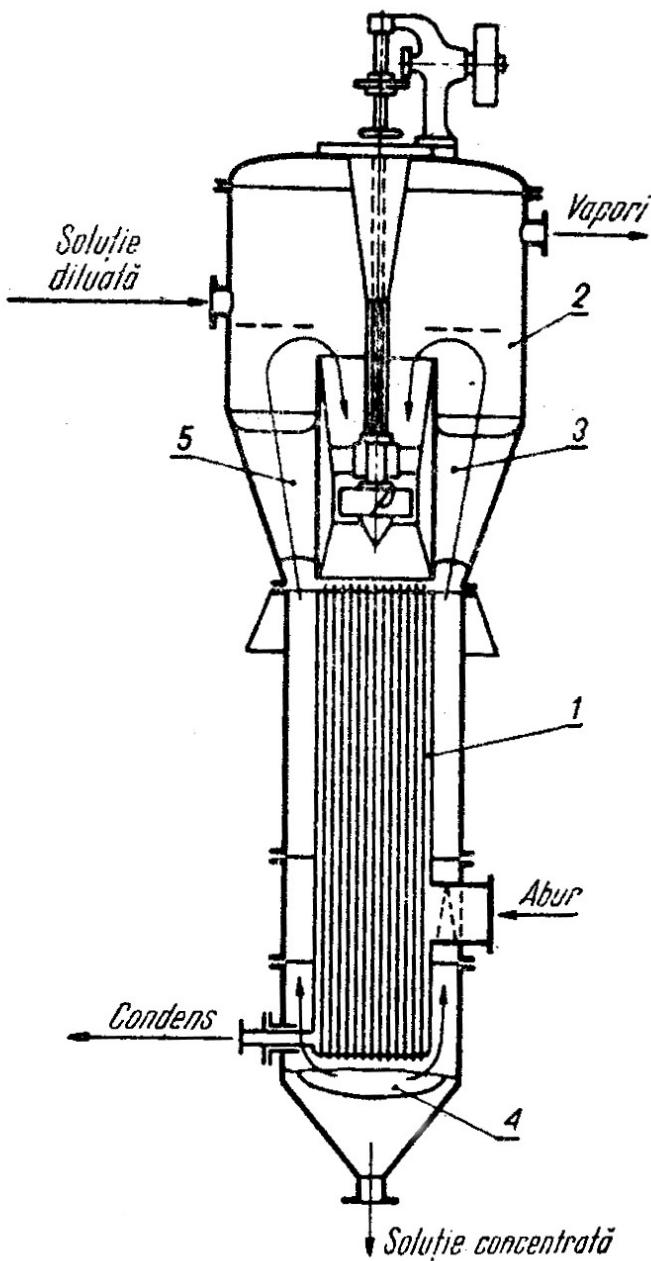
Evaporator cu camera de încălzire exterioară și recirculație forțată :  
 1 — rezervor pentru precipitate; 2 — pompă de recirculare.



Evaporator cu circulație forțată.

**Pompa axială:**  
 1 - rotor;  
 2 - corp;  
 3 - sicane.

# EVAPORATOARE CU CIRCULATIE FORTATA



1. Camera de incalzire
2. Spatiu de vaporii
3. Pompa de recirculare
4. Sicane
5. Sicane

# EVAPORATOARE CU CIRCULATIE FORTATA



## APLICATII:

- o Acid citric
- o Caprolactama
- o Glutamat monosodic
- o Acid fosforic
- o Hidroxid de potasiu
- o Hidroxid de sodiu
- o Saruri anorganice
- o Uree
- o Lesii reziduale

**NSSC**



Two-stage, forced-circulation evaporator used to concentrate wet process phosphoric acid

# EVAPORATOARE CU CIRCULATIE FORTATA

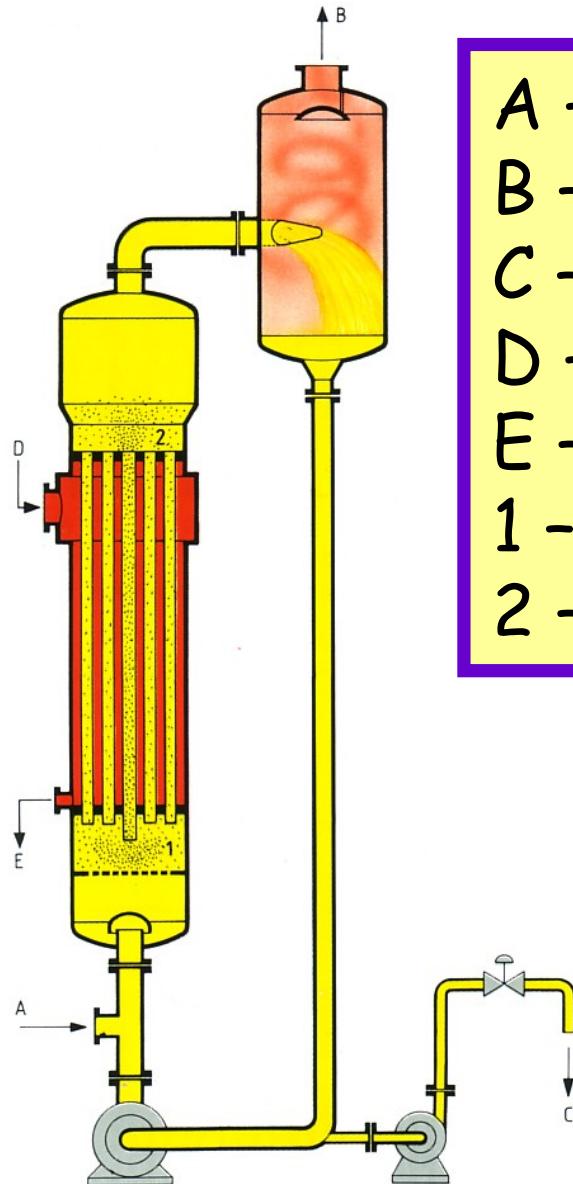
## ○ AVANTAJE

- Incarcare termica mare;
- Valoare mare a lui K;
- Functionare stabilizata, dat. independentei circuitului de sarcina termica;
- Prevenirea depunerii de cruste;
- Posibilitatea de prelucrare a sol. cristalizante;

## ○ DEZAVANTAJE

- ☒ Consum mare de putere;
- ☒ Stationare prelungita a sol. in evaporator;
- ☒ Costuri ridicate de investitii si exploatare.

# EVAPORATORUL CU STRAT FLUIDIZAT



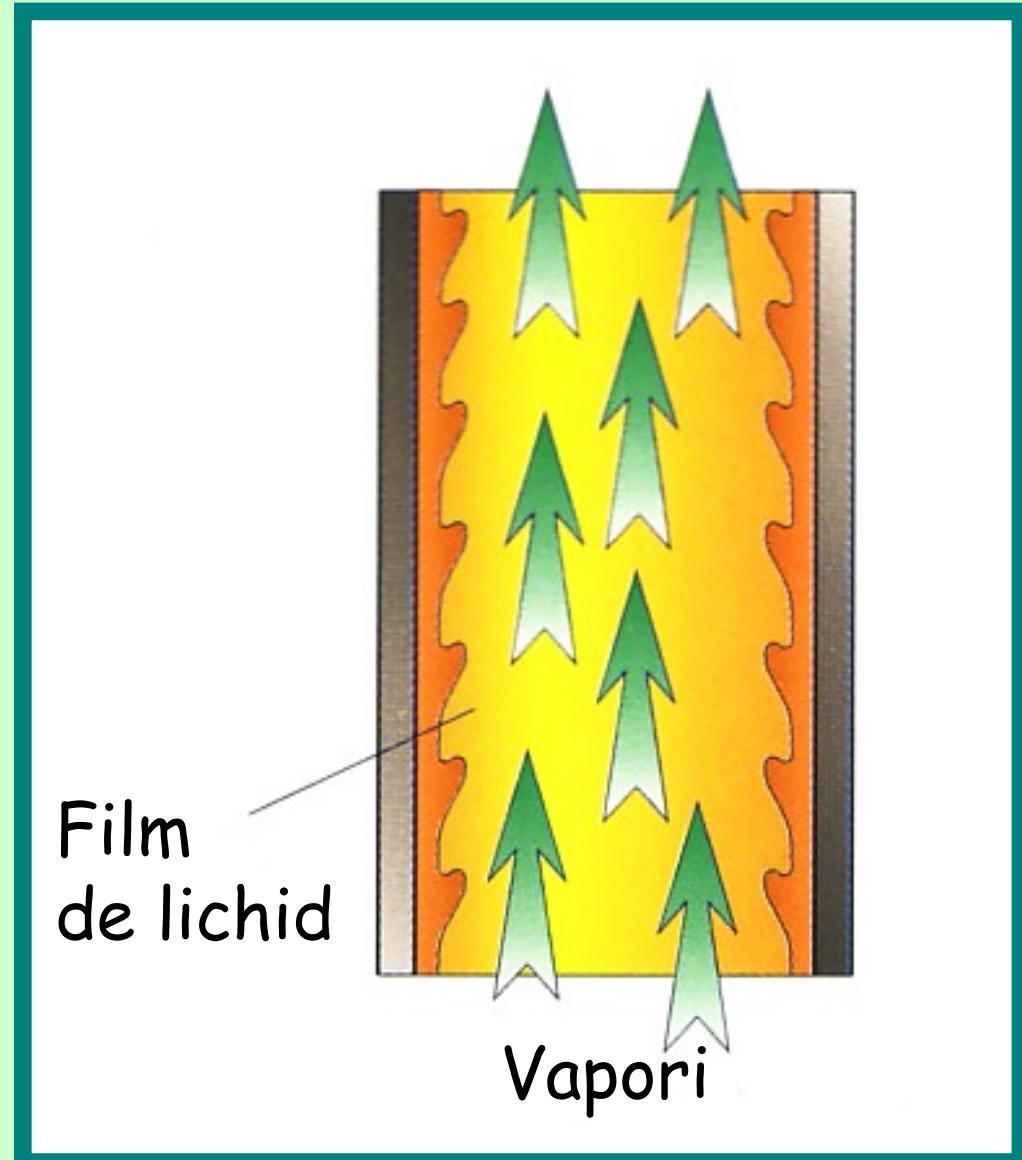
- A - sol. diluata;
- B - abur secundar;
- C - sol. concentrata;
- D - abur primar;
- E - condens;
- 1 - camera de intrare;
- 2 - camera de iesire.



- o Serveste la conc. lichidelor care produc fouling sever;
- o Au fasciculul tubular vertical, camera de vaporii separata, pompa de circulatie;
- o In tevi are particule solide (granule din sticla, ceramica sau cilindri din otel) cu rol de curatire a suprafetei de transfer termic

# EVAPORATOARE PELICULARE (CU FILM)

- o Procesul de evaporare are loc IN STRAT SUBTIRE (FILM) si nu in masa solutiei;
- o Intensitatea evaporarii este de cateva ori mai mare decat in evaporatoarele clasice.



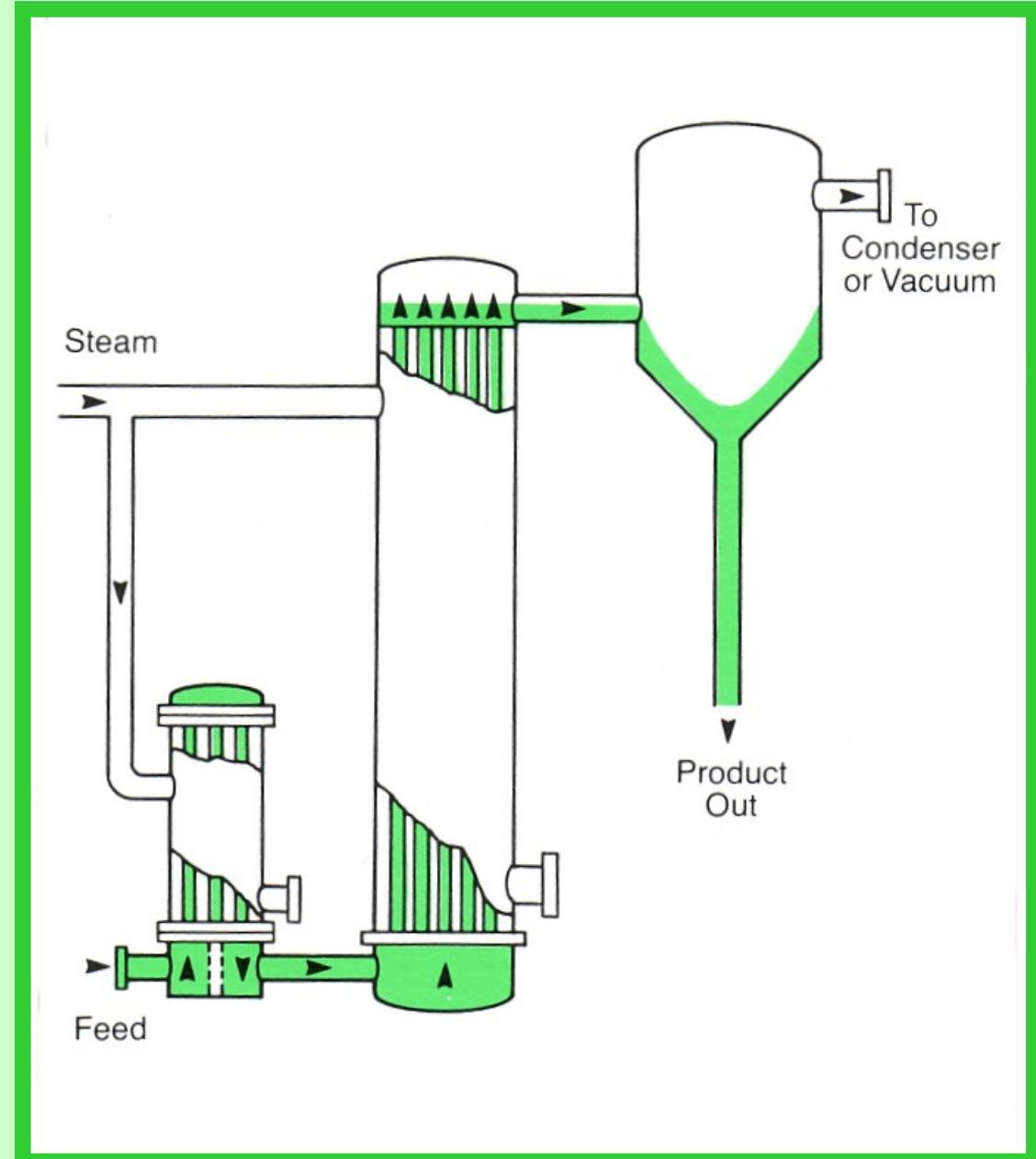
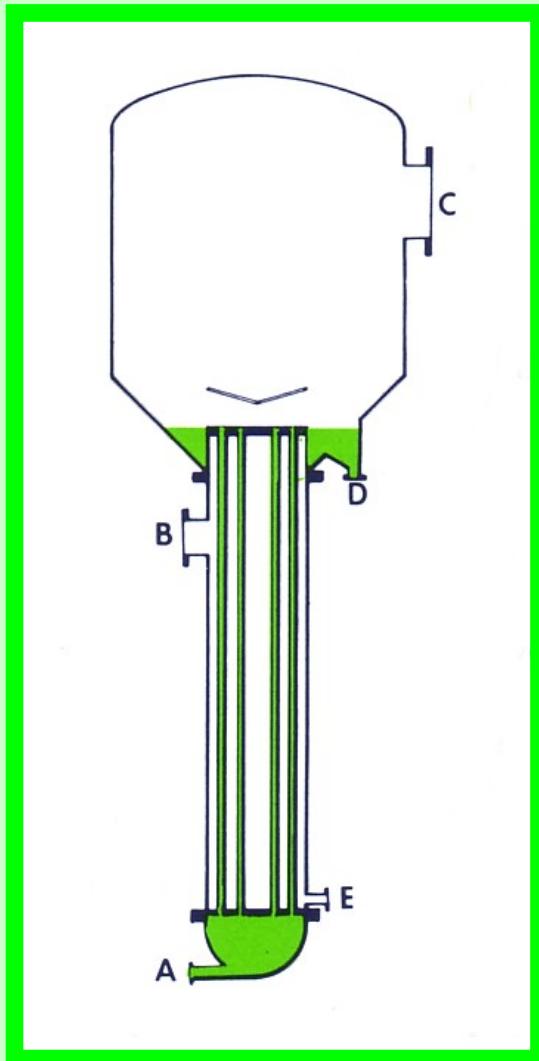
# **EVAPORATOARE PELICULARE (CU FILM)**

## **o FORMAREA FILMULUI:**

- Prin curgere gravitationala (evaporatoare cu film descendant):
  - Pe perete plan (APV, Rosco, Rosenblad, Ahlstrom)
  - Pe peretele interior al tevilor unui fascicul
- Prin folosirea forTELOR de frecare superficiale (evaporatoare cu film ascendent):
  - Pe peretele interior al tevilor din fascicul (Kestner, Wiegand, Svenson)
- Prin formarea mecanica si mentinerea constanta a grosimii filmului (evaporatoare cu film agitat - evaporatoare cu suprafata raclata):
  - In interiorul unui cilindru prevazut cu dispozitiv mecanic de racle (Luwa, Sambay, Rotovak, LCI)
- Prin actiunea forTELOR centrifuge:
  - Evaporatoare MFG, Centritherm
- Prin formarea corespunzatoare a canalului de flux:
  - Evaporatoare cu camere - placi

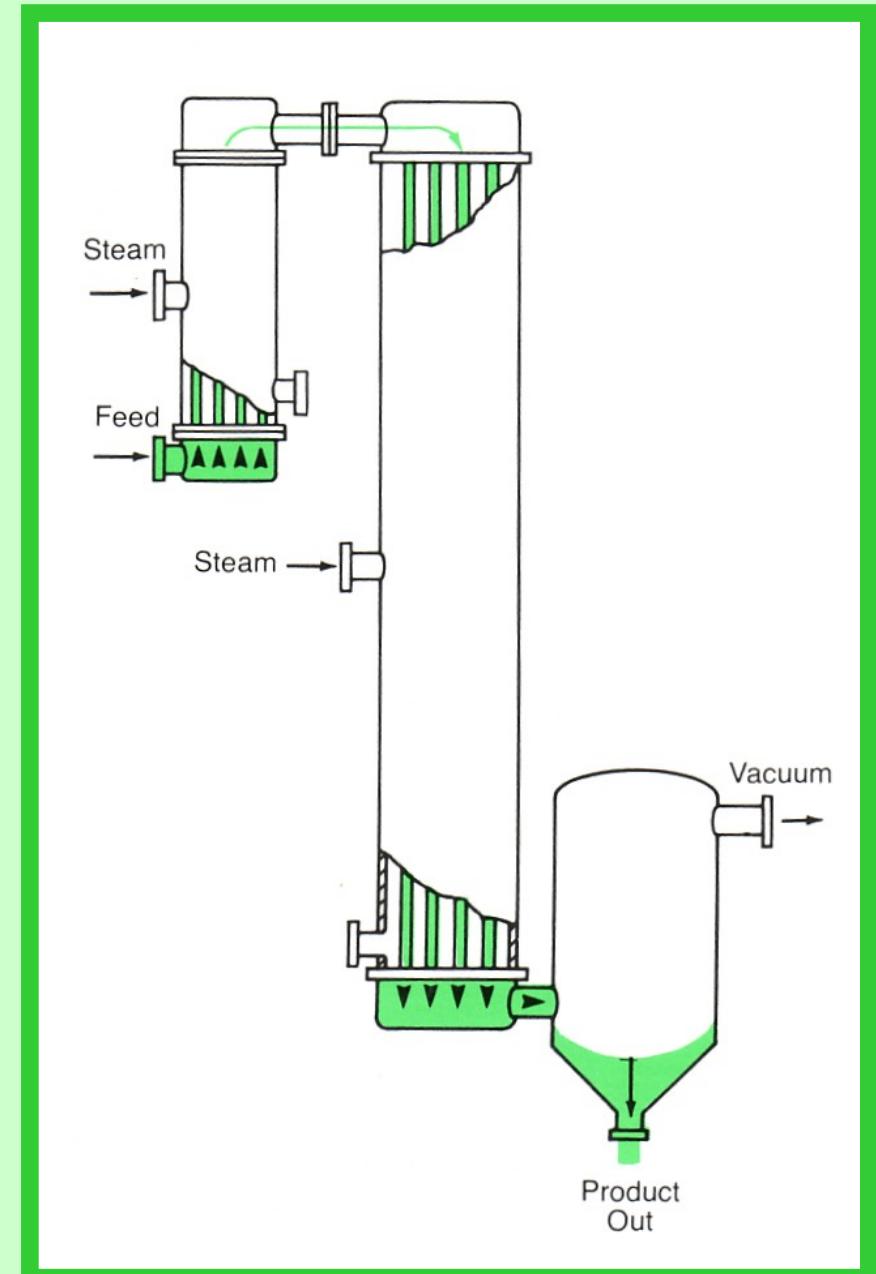
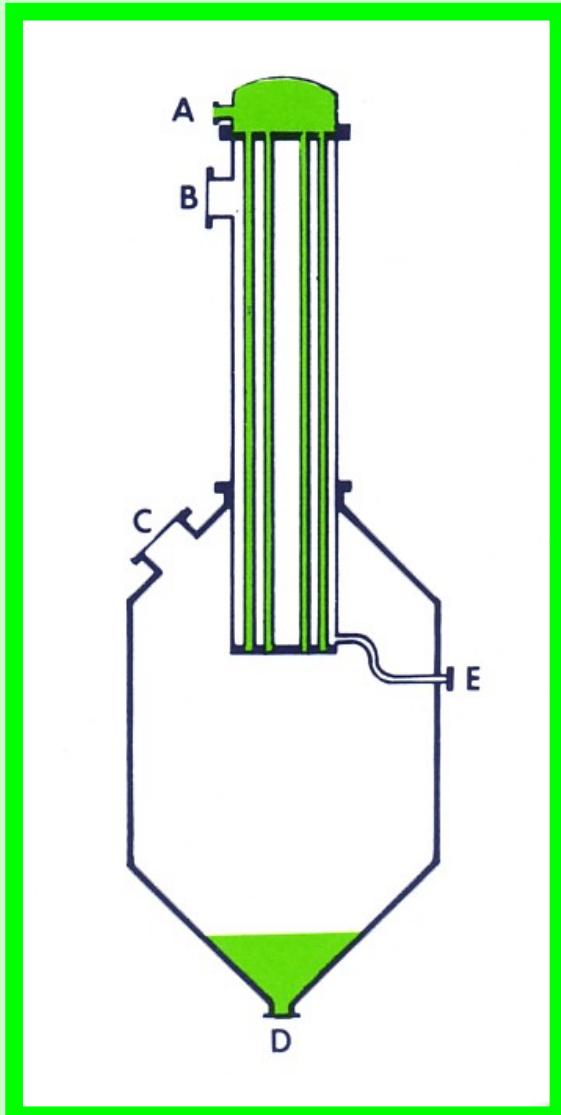
# EVAPORATOARE PELICULARE CU FASCICUL TUBULAR

## o FILM ASCENDENT



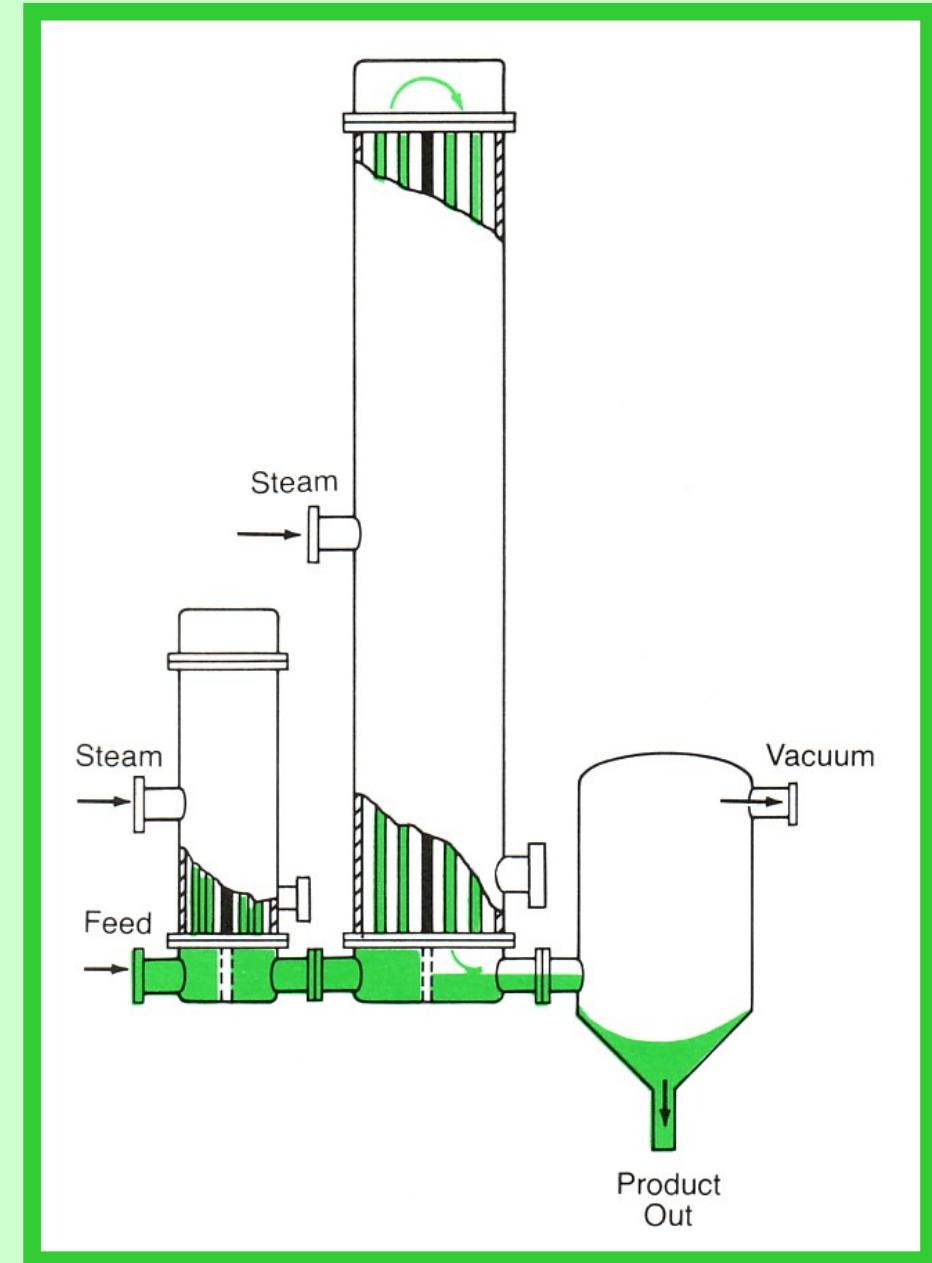
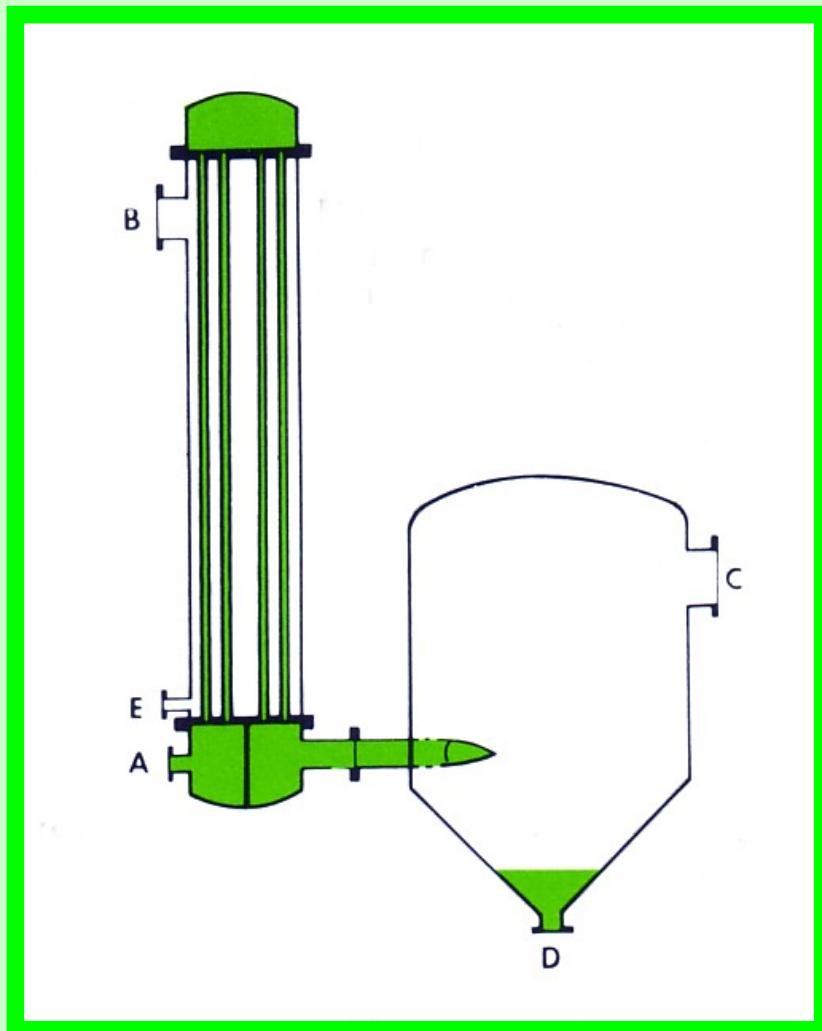
# EVAPORATOARE PELICULARE CU FASCICUL TUBULAR

## o FILM DESCENDENT



# EVAPORATOARE PELICULARE CU FASCICUL TUBULAR

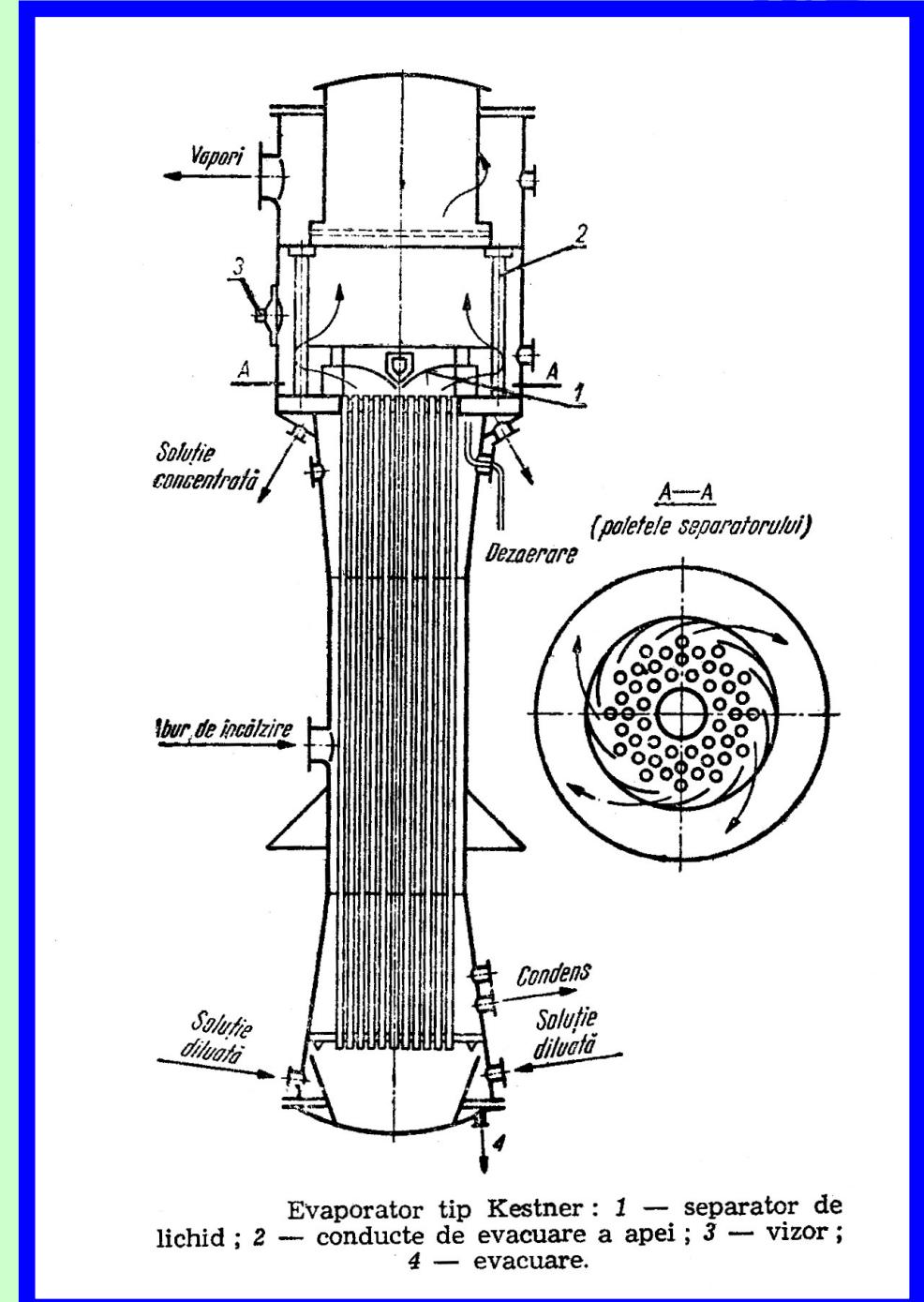
- FILM ASCENDENT - DESCENDENT



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM ASCENDENT

## Evaporatorul KESTNER

- o brevetat in 1899;
- o L tevi: 6 - 12 m;
- o D tevi: 25 - 50 mm;
- o K mic in zona tevilor pline cu lichid;
- o K mare in zona de fierbere a solutiei;
- o Filmul este ridicat pe peretele tevii de bulele de vaporii care se formeaza la fierbere;
- o v vaporii: 20 - 100 m/s;
- o v ascensionala a lichidului: 0,12 m/s



Evaporator tip Kestner : 1 — separator de lichid ; 2 — conducte de evacuare a apei ; 3 — vizor ; 4 — evacuare.

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM ASCENDENT

## Evaporator GEA - WIEGAND

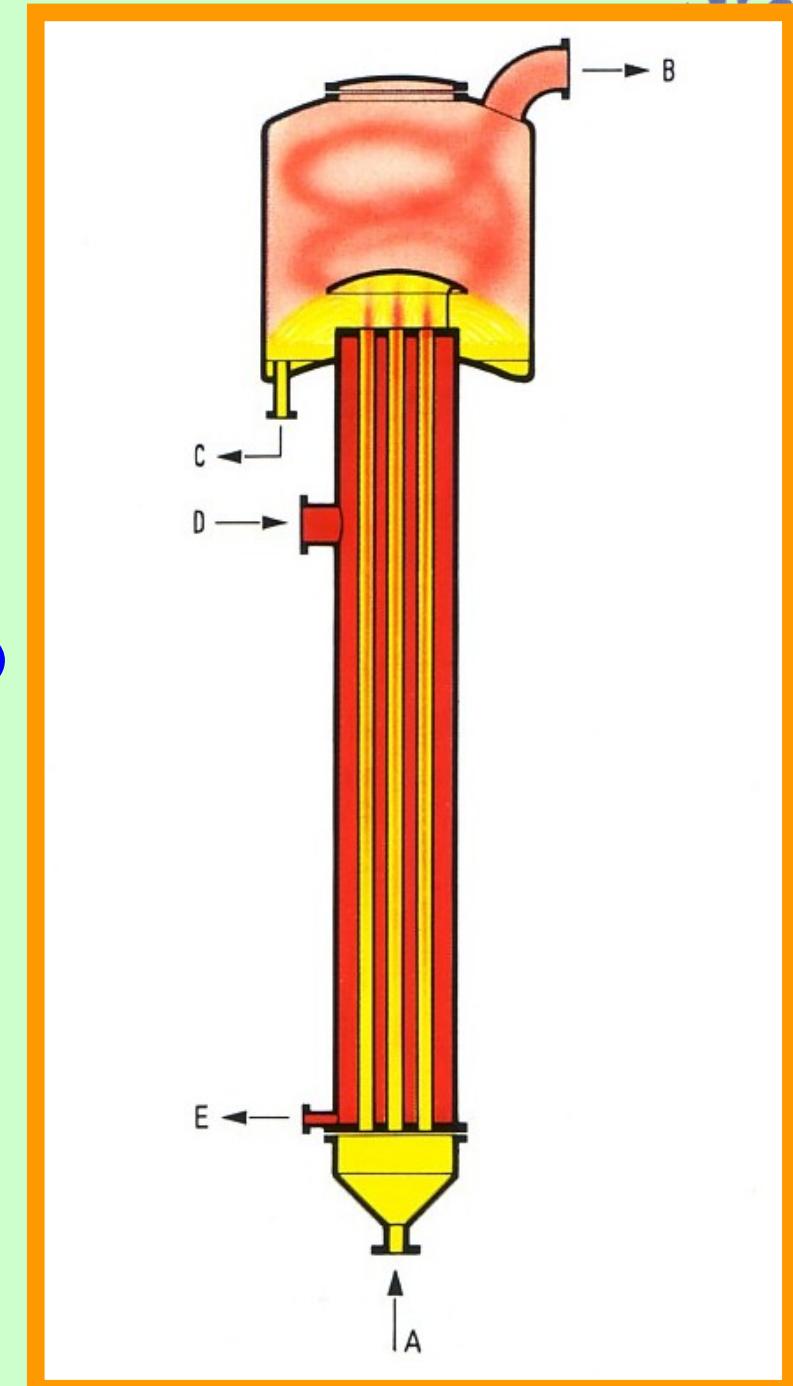
A - solutie diluata;

B - abur secundar;

C - solutie concentrata;

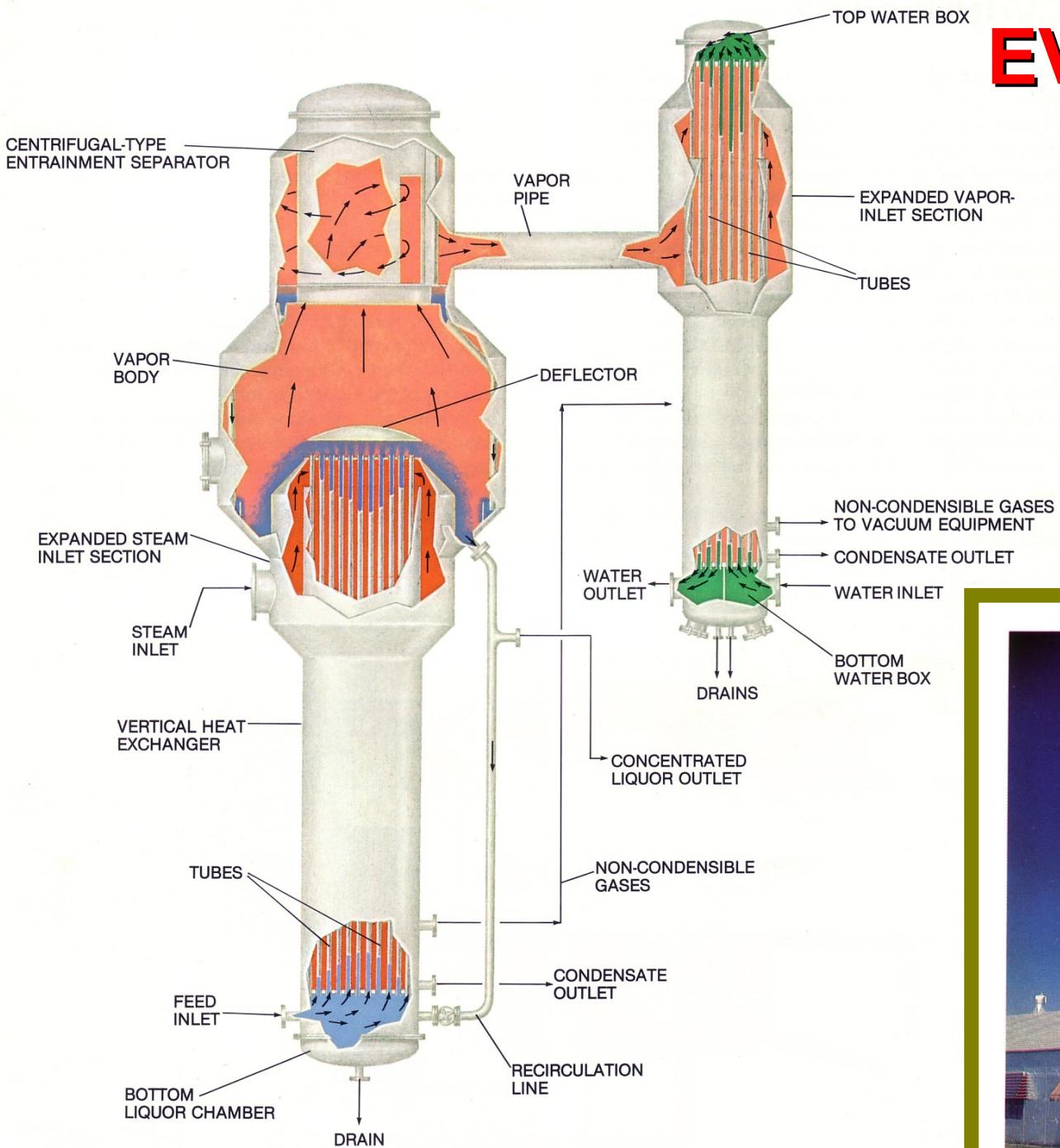
D - abur de incalzire;

E - condens.

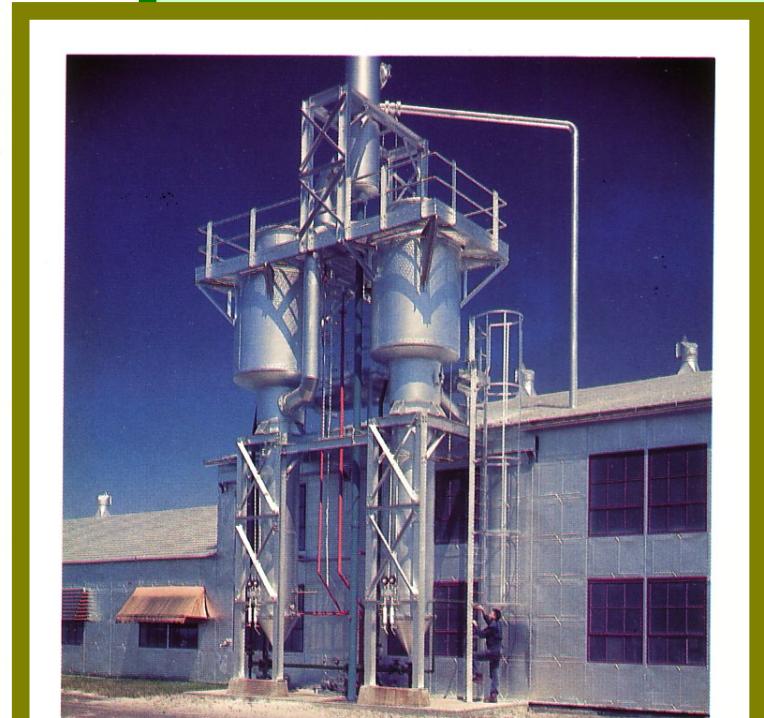


# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM ASCENDENT

**SWENSON**



Swenson LTV Rising-Film Evaporator with Vertical-Tube Surface Condenser



Swenson Double-Effect, LTV Rising-Film Evaporator

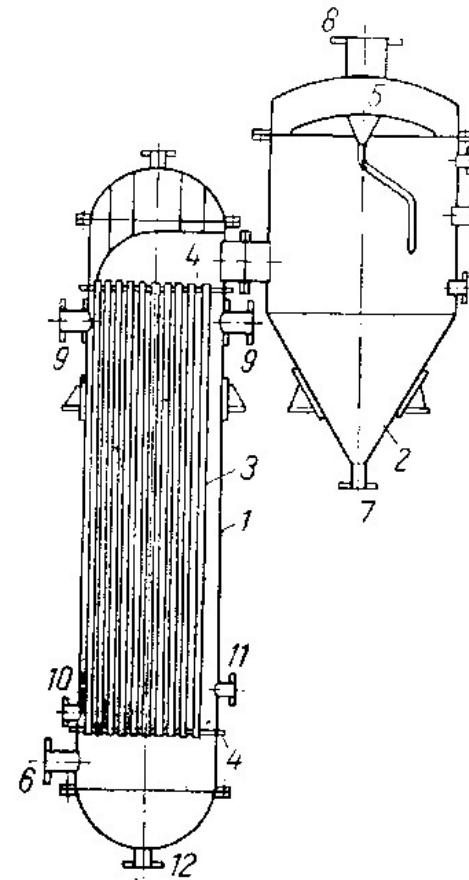
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM ASCENDENT

## o AVANTAJE:

- Constructie compacta;
- Timp de stationare redus;
- Conditii bune de transfer termic;
- Cost redus.

## o DEZAVANTAJE:

- Dificultatea curatirii si inlocuirii tevilor;
- Greutati in reglarea functionarii (zestre mica de solutie);
- Sensibilitate la neuniformitatea alimentarii cu solutie;
- Deformatii termice care compromit imbinarea teava - placa tubulara;
- Intensitate redusa a transferului termic la  $\Delta T$  mici sau la P scazute.



Vaporizator cu  
țevi lungi, tip VN

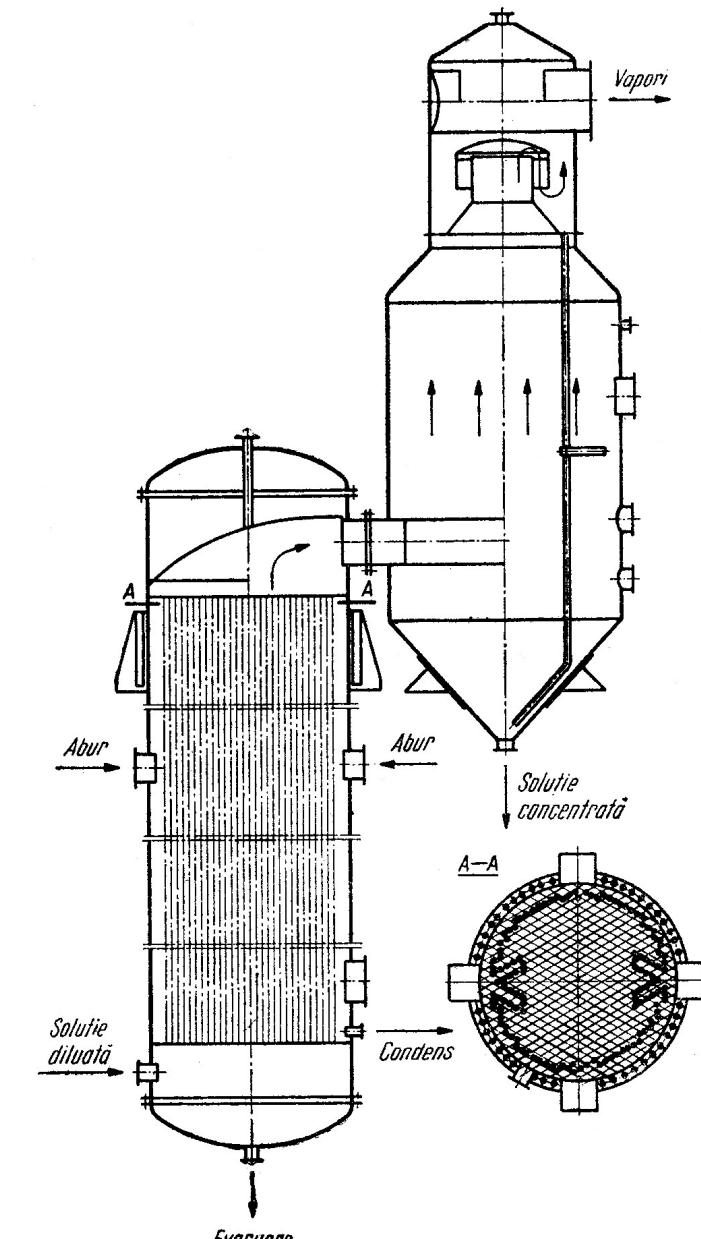
1 — schimbător de căldură;  
2 — separator de lichid; 3 —  
tevi fierbătoare; 4 — plăci tu-  
bulare; 5 — dispozitiv pentru  
separarea picăturilor; 6 — in-  
trarea soluției diluate; 7 — ie-  
șirea soluției concentrate; 8 —  
ieșirea vaporilor secundari;  
9 — intrarea aburului de in-  
călzire; 10 — ieșirea conden-  
satului; 11 — aerisire; 12 — ra-  
cord pentru golire.

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM ASCENDENT

## o Conc. solutiilor:

- necristalizante;
- nerezistente la temp.;
- viscoase;
- cu tendinta de spumare;

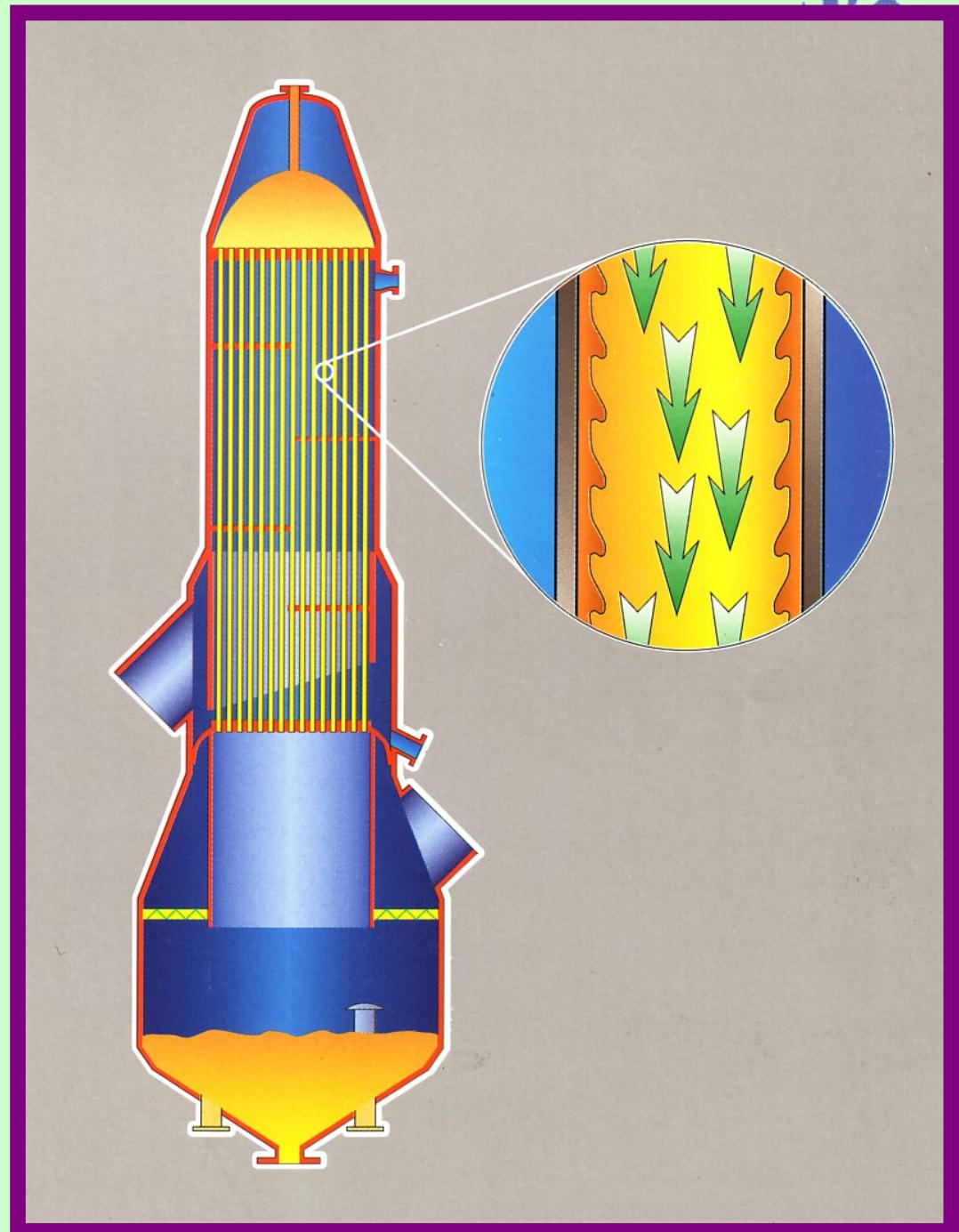
**o NU se folosesc pentru concentrarea solutiilor care cristalizeaza.**



Evaporator cu conducte lungi, cu camera de încălzire exterioară

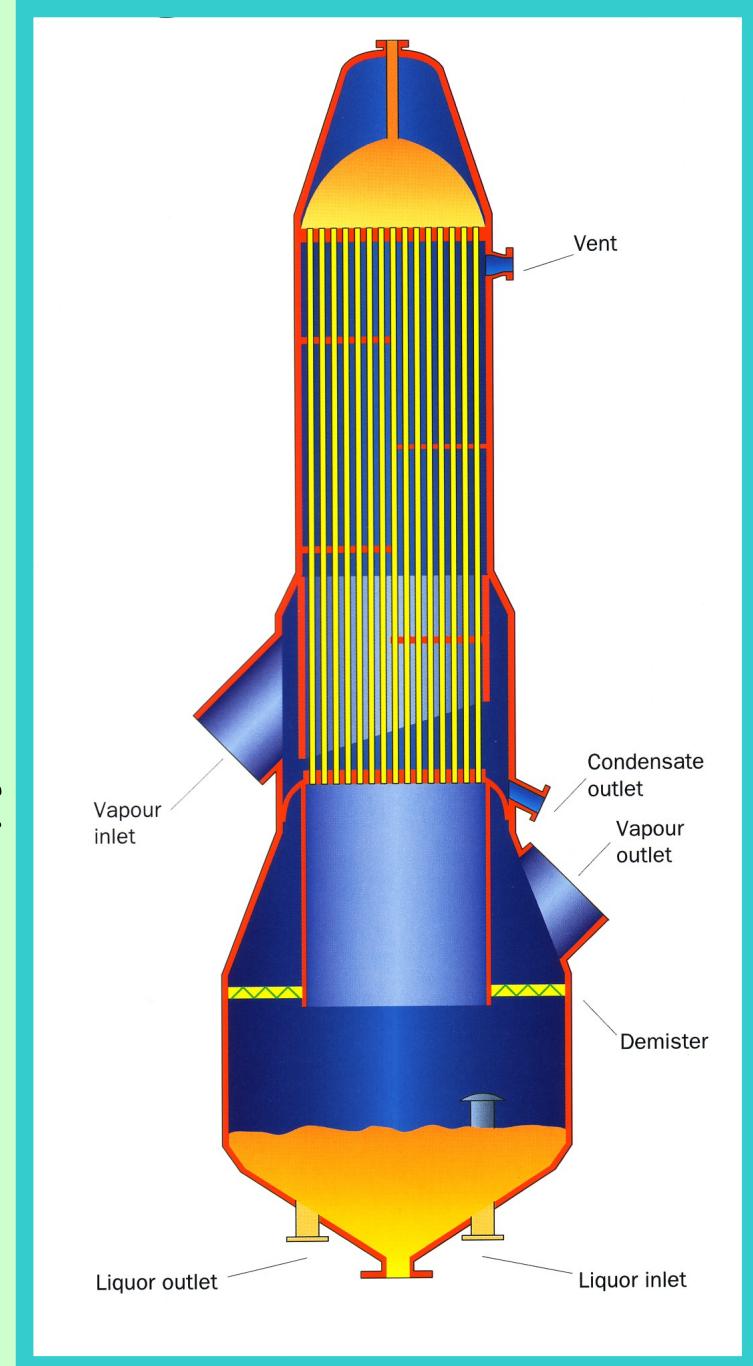
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

- o Daca solutia se alimenteaza pe la partea superioara a fasciculului tubular se elibera dezavantajul intensitatii reduse a transferului termic:
  - La valori  $\Delta T$  mici;
  - La vid inaintat.

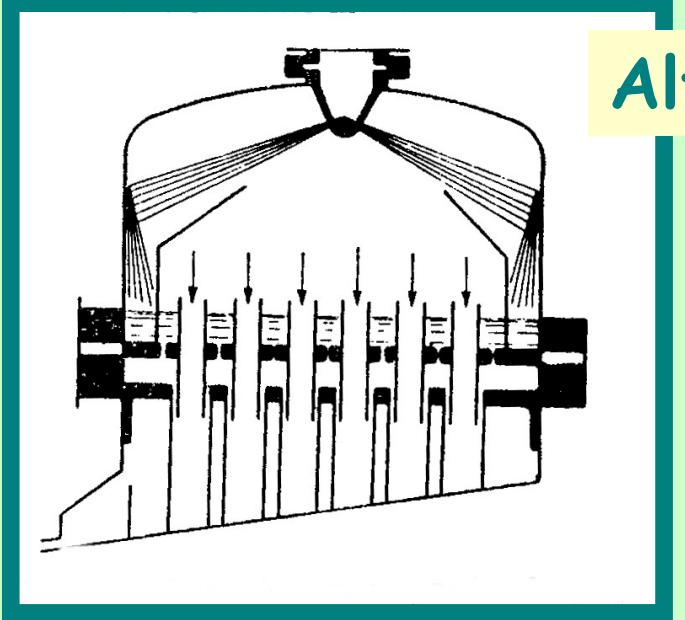


# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

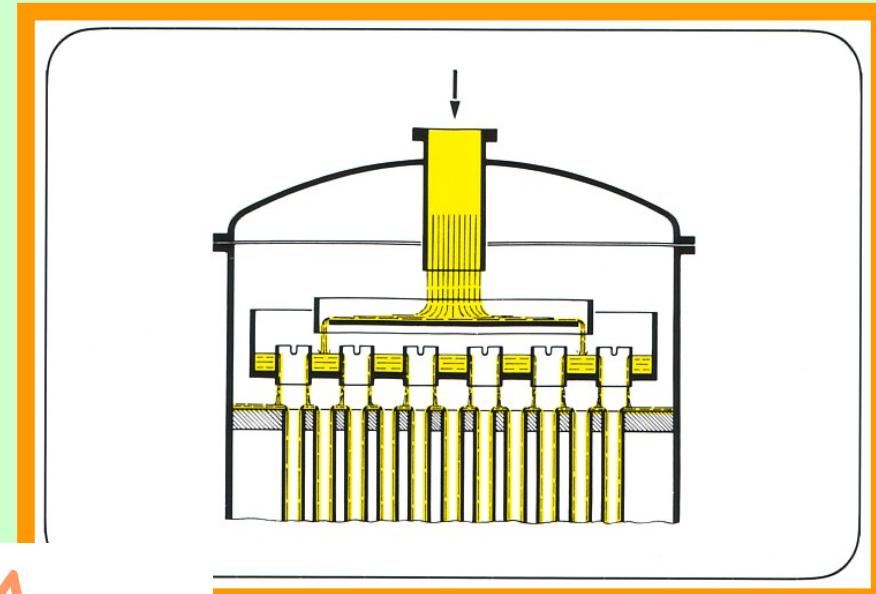
- o La fierberea lichidului, vaporii accelereaza curgerea filmului de lichid si intensifica transferul termic;
- o Vaporii se separa la partea inferioara a evaporatorului;
- o Principala dificultate: buna distributie a solutiei pe peretii tevilor.



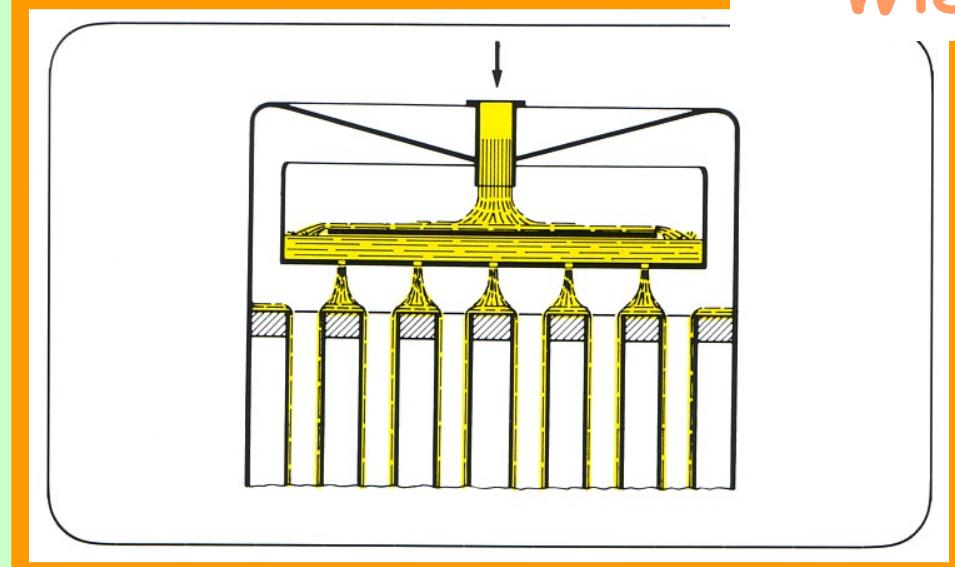
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT



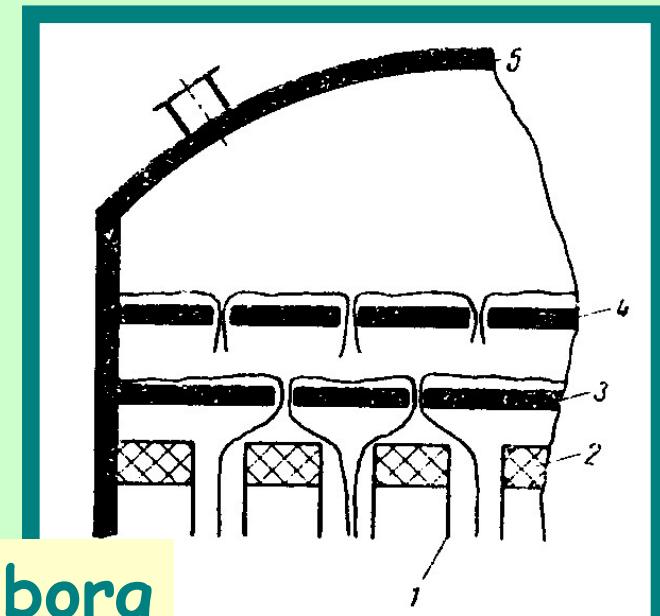
Alfa Laval



GEA  
Wiegand



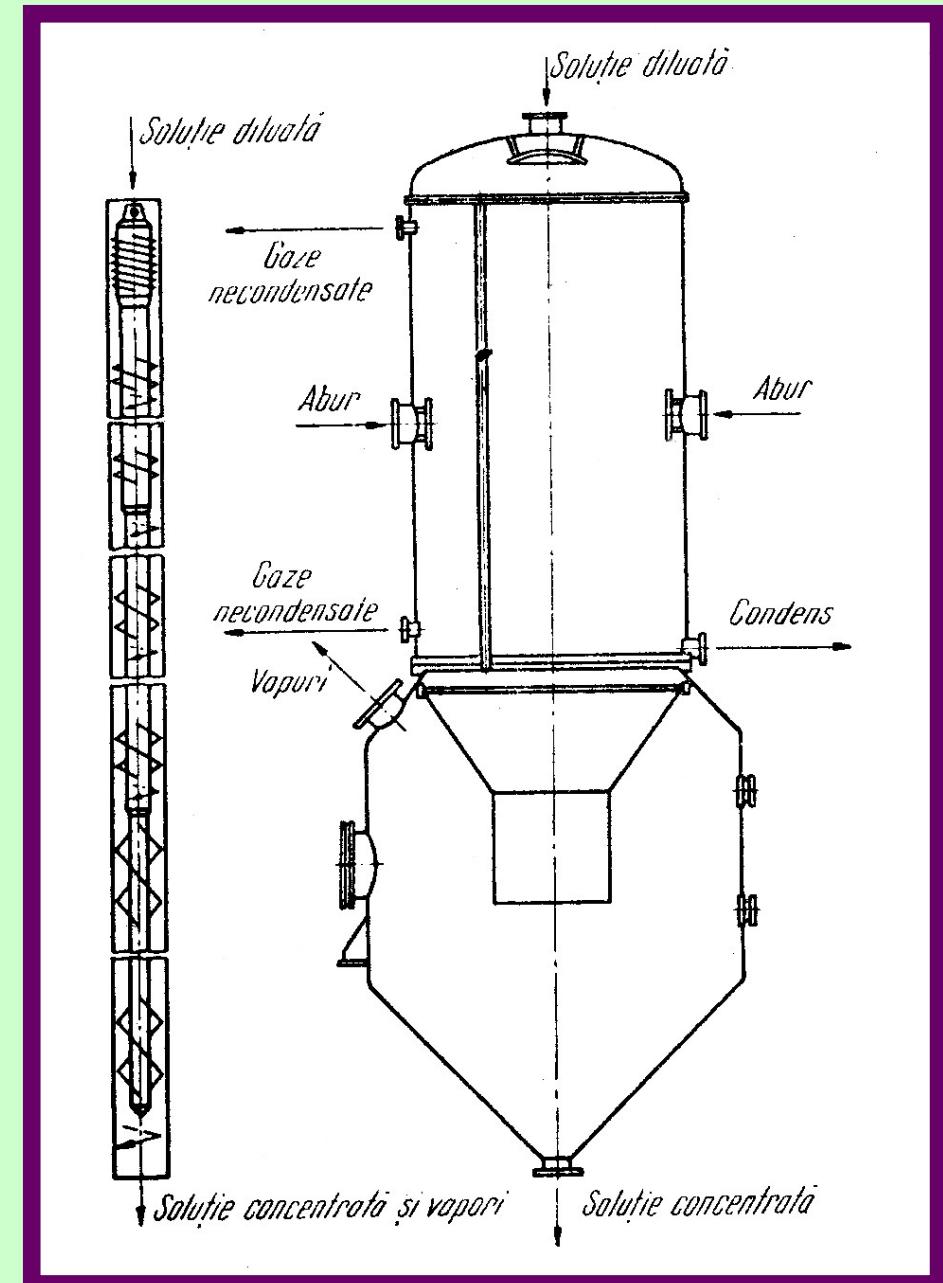
Silkeborg



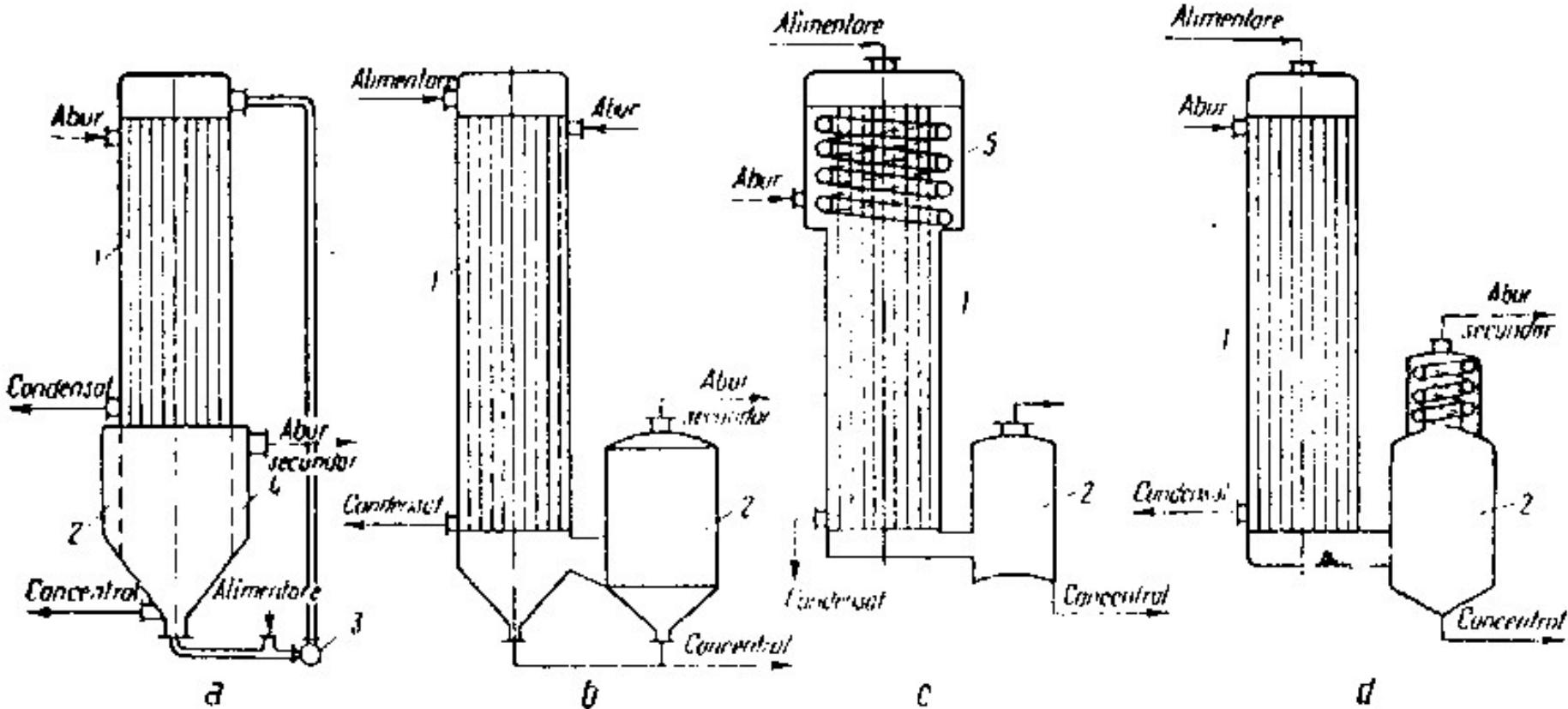
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

## o Evaporatorul Zsigmond BMA

- Intensificarea turbulentei prin sicane introduse in tevi;
- Diametrul tevilor: 60 - 65 mm;



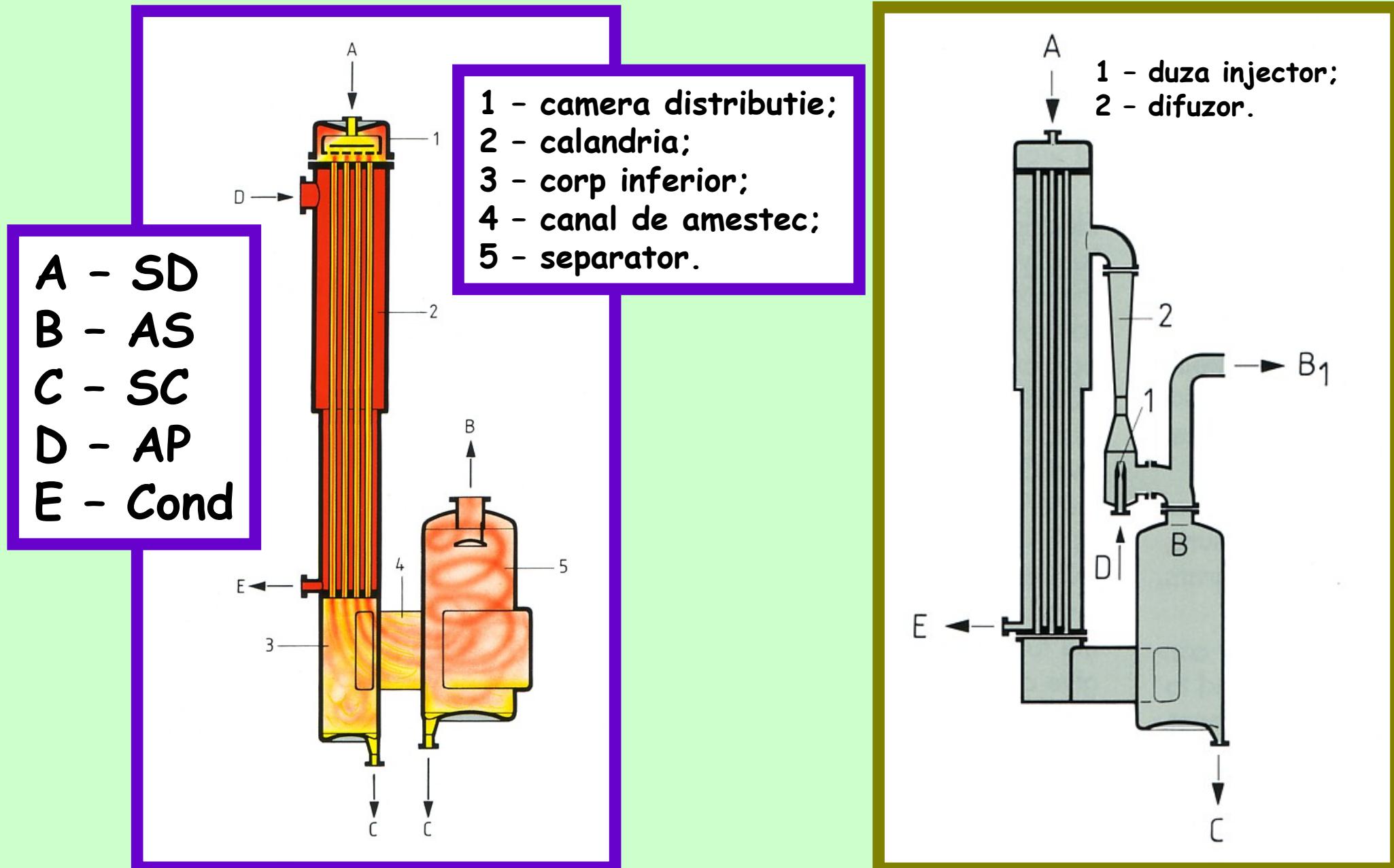
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT



Evaporatoare cu peliculă descendentă realizată prin curgerea liberă:

**a** – cu separatorul lichid-vapori montat sub suprafața de transfer termic; **b** – cu separatorul lichid-vapori montat lateral; **c** – cu serpentină de preîncălzire montată în jurul țevilor; **d** – cu serpentină de preîncălzire în separatorul de lichid-vapori; 1 – schimbător de căldură multitubular; 2 – separator lichid-vapori; 3 – pompă; 4 – sită separatoare de picături; 5 – serpentină pentru preîncălzire.

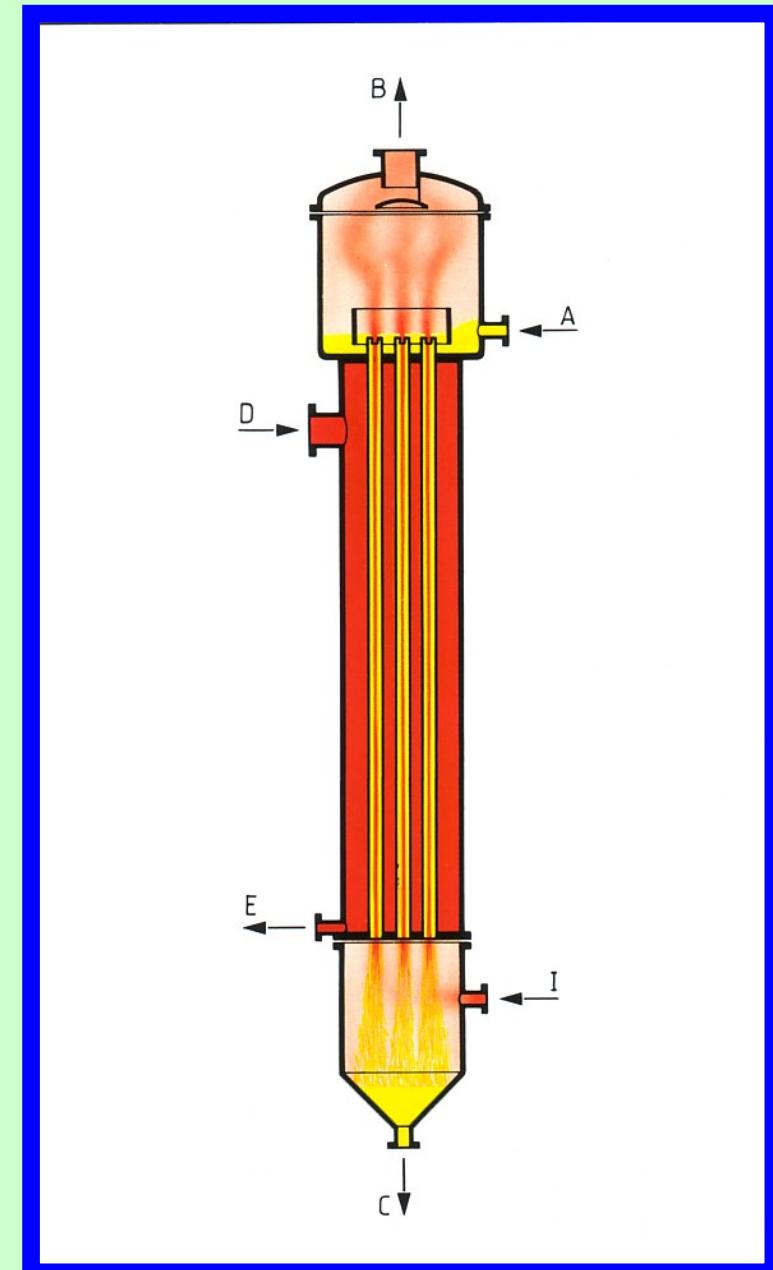
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT



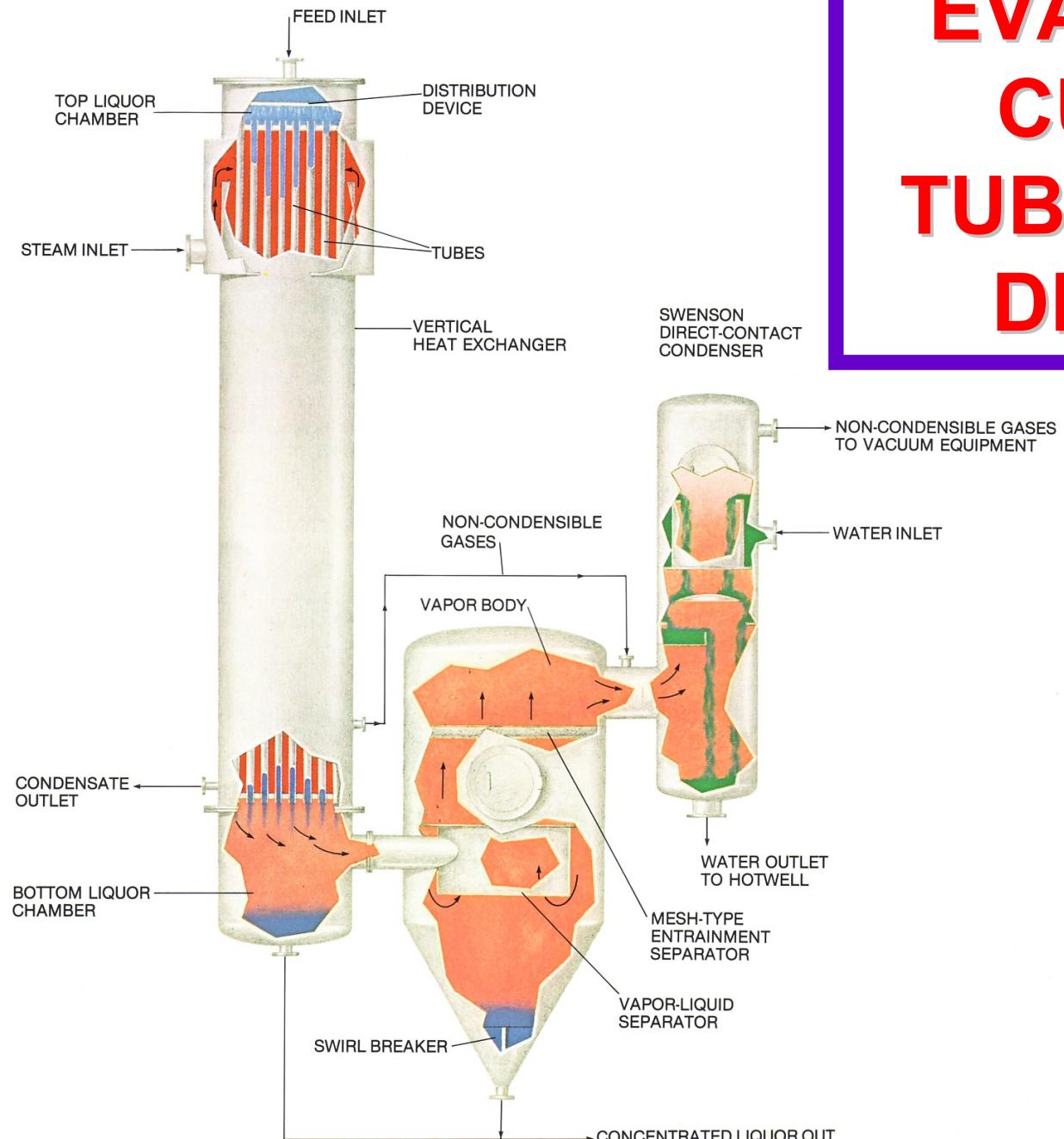
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

## ANTRENARE CU GAZ INERT

- A - Solutie diluata
- B - abur secundar
- C - Solutie concentrata
- D - abur primar
- E - condens
- I - gaz inert, abur de antrenare
- Imbunatatirea transferului de masa



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

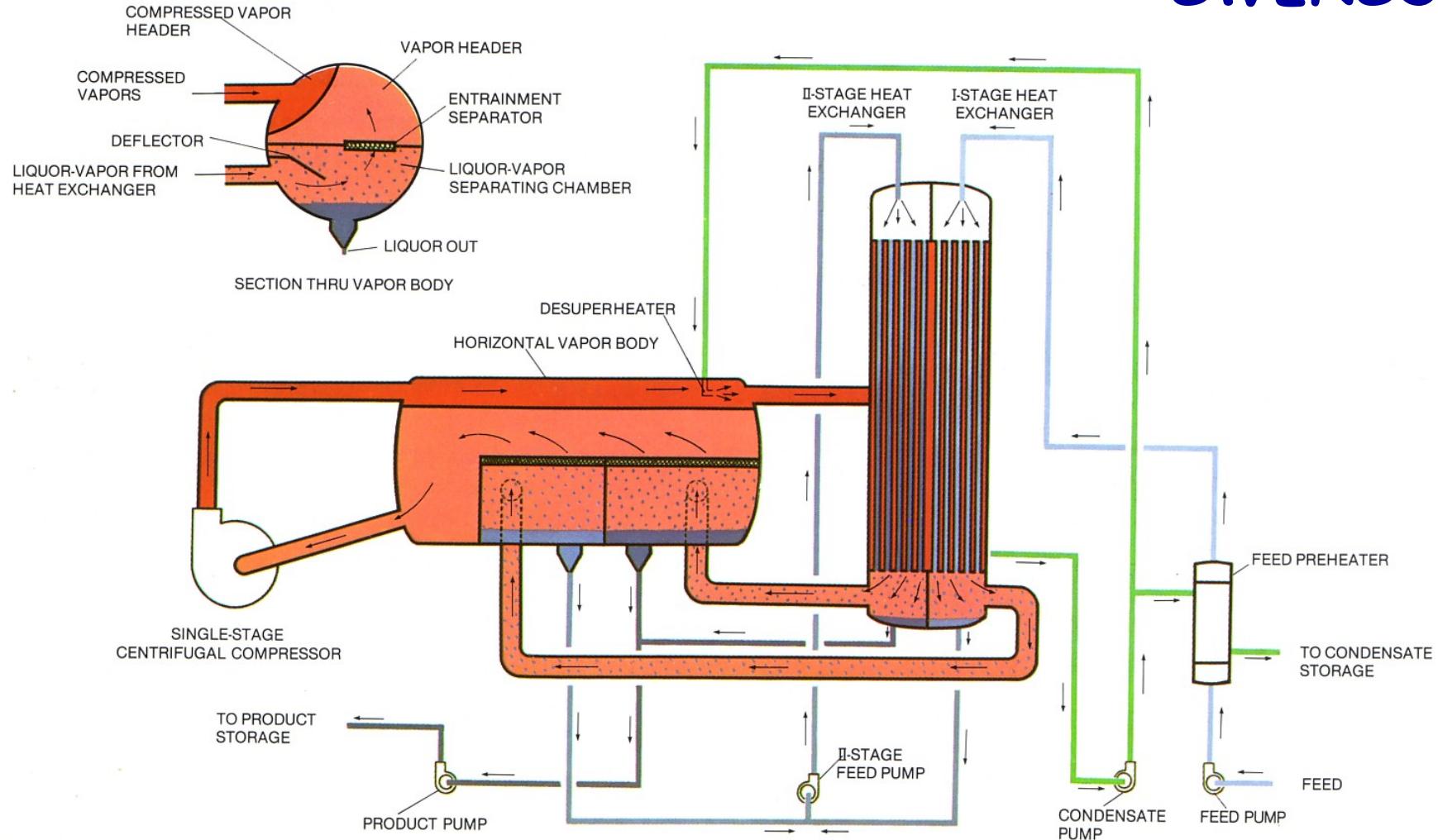


Swenson LTV Falling-Film Evaporator

SWENSON

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

SWENSON

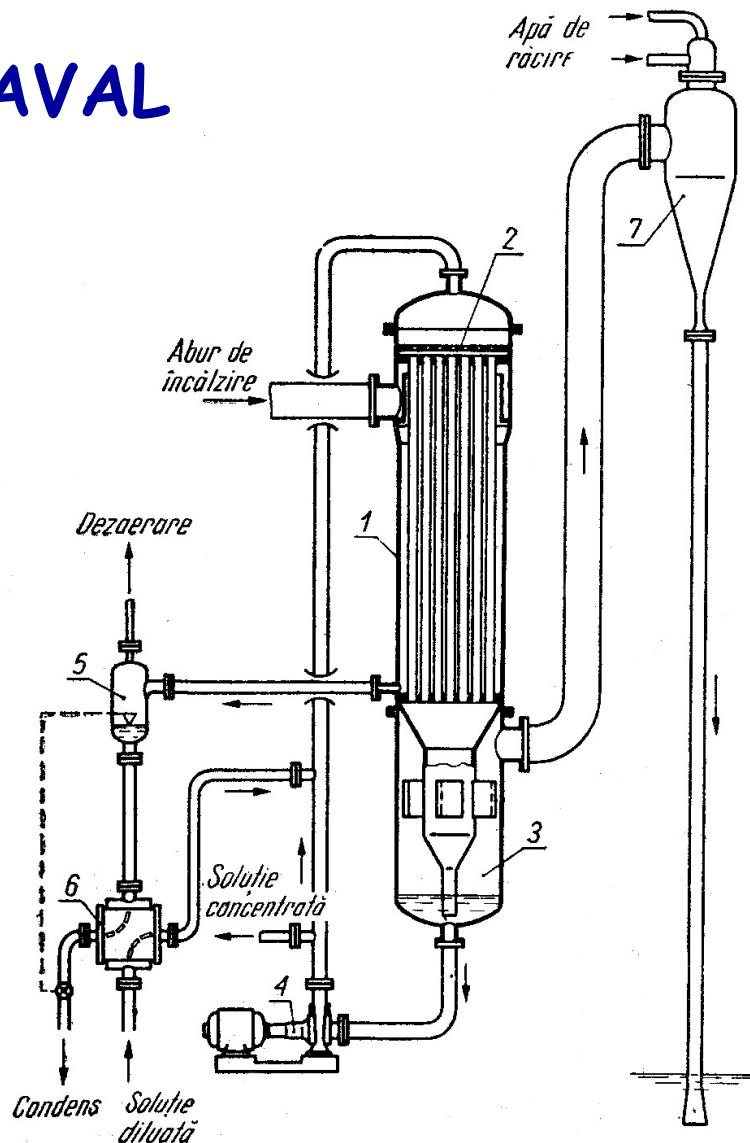


Swenson Falling-Film, Multi-Stage Recompression Evaporator for Concentrating Waste Liquor

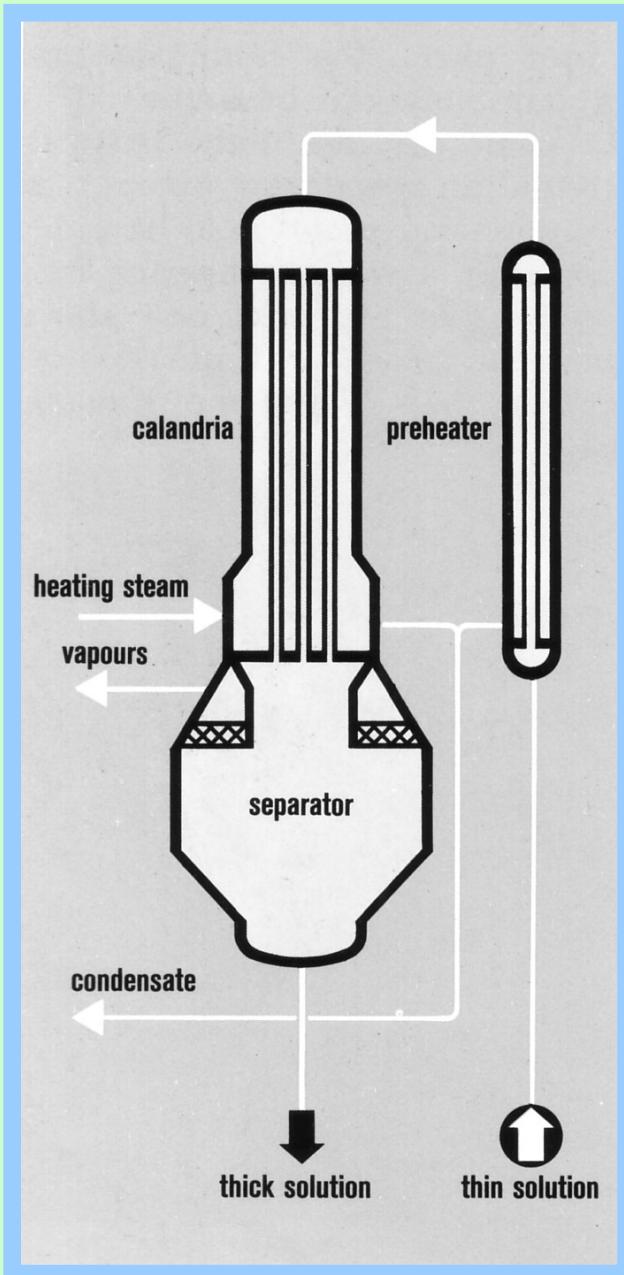
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

## ALFA - LAVAL

Schema instalației de evaporare cu film descendente de lichid cu recirculație forțată a soluției, produsă de firma Alfa-Laval :  
1 — camera de încălzire ; 2 — distribuitor ;  
3 — spațiu de vaporii ;  
4 — pompa pentru recirculație ; 5 — oală de condens ;  
6 — schimbător de căldură spiral ;  
7 — condensator cu ejector.

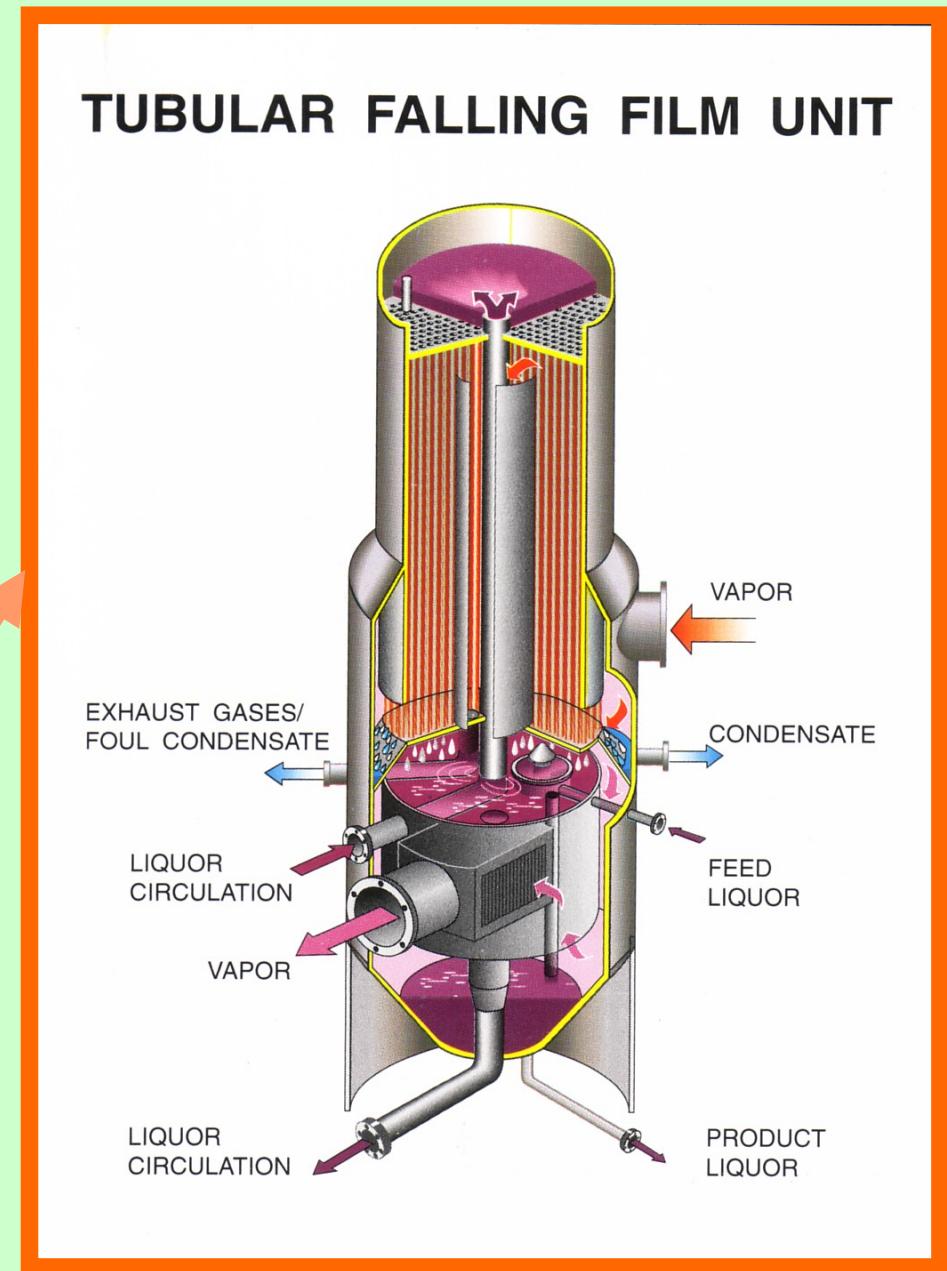


# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT



LURGI

TAMPELLA

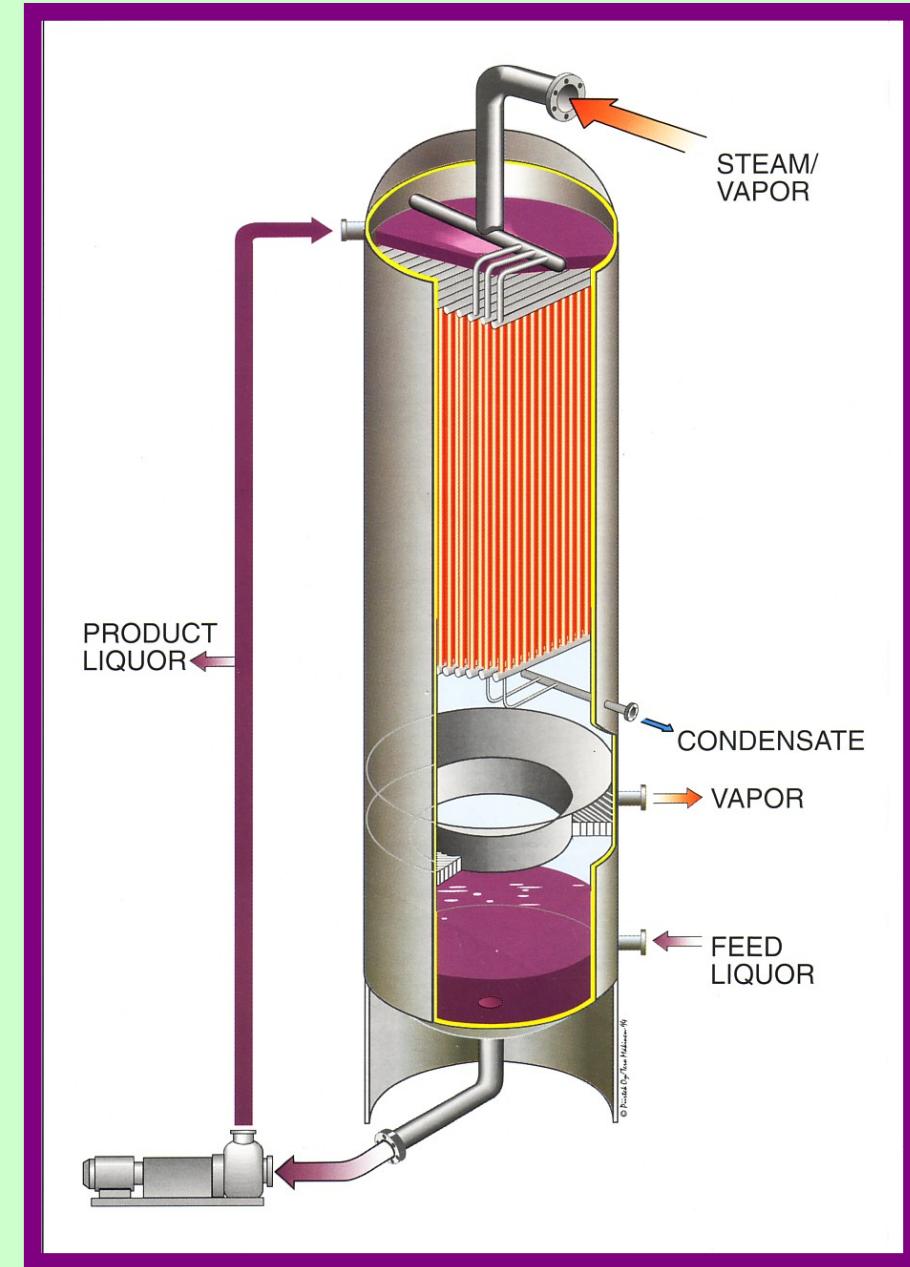


# EVAPORATOARE CU FILM DESCENDENT TAMPELLA



# EVAPORATOARE CU FILM DESCENDENT TUBEL™ TAMPELLA

- o Abur - prin tuburi
- o Solutie - pelicula  
descendentă pe  
exteriorul tuburilor
- o Imbina avantajele  
evaporatoarelor cu  
tevi cu cele ale  
evaporatoarelor cu  
placi
- o Previne infundarea



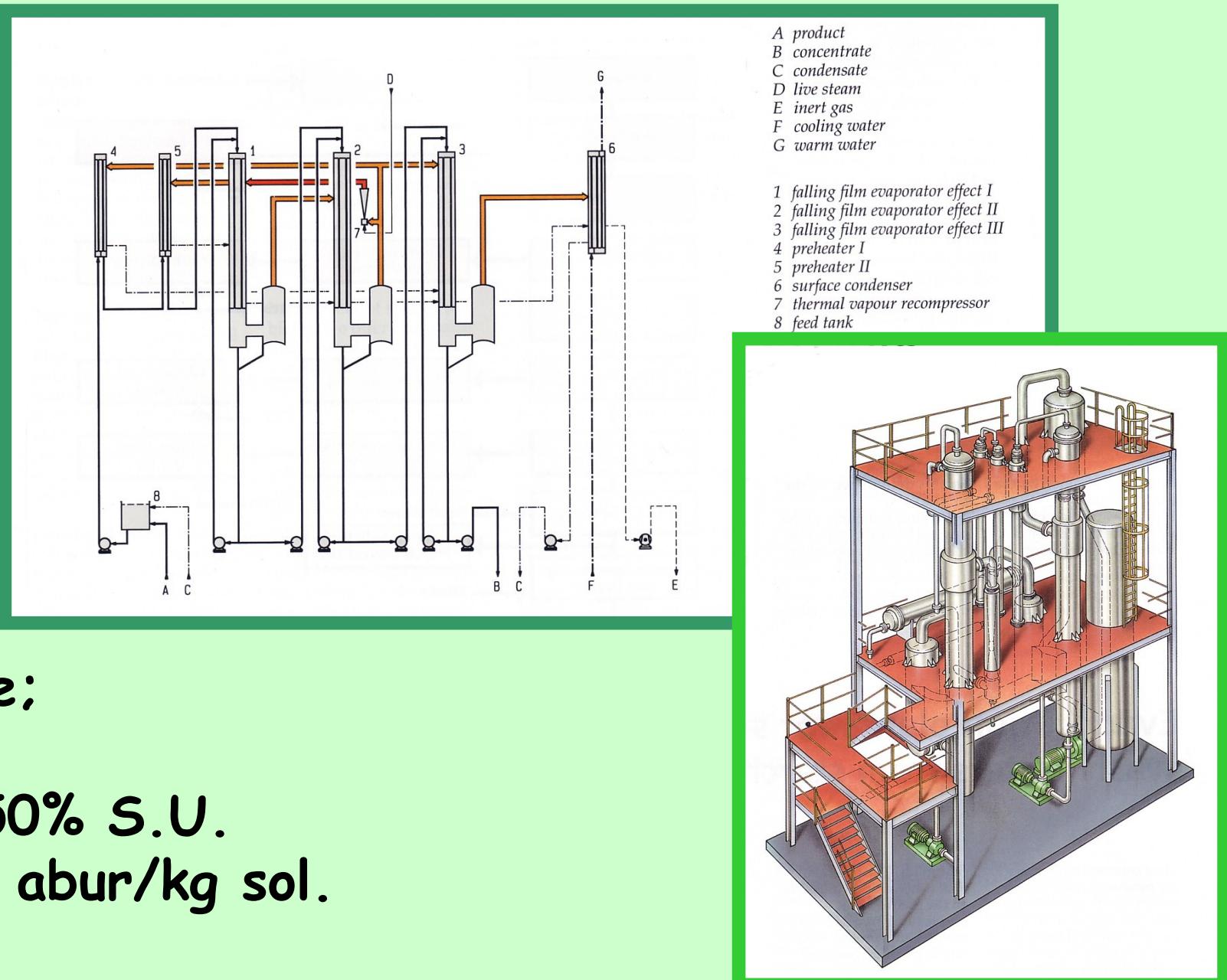
# EVAPORATOARE CU FILM DESCENDENT TUBEL™ TAMPELLA



## o APLICATII:

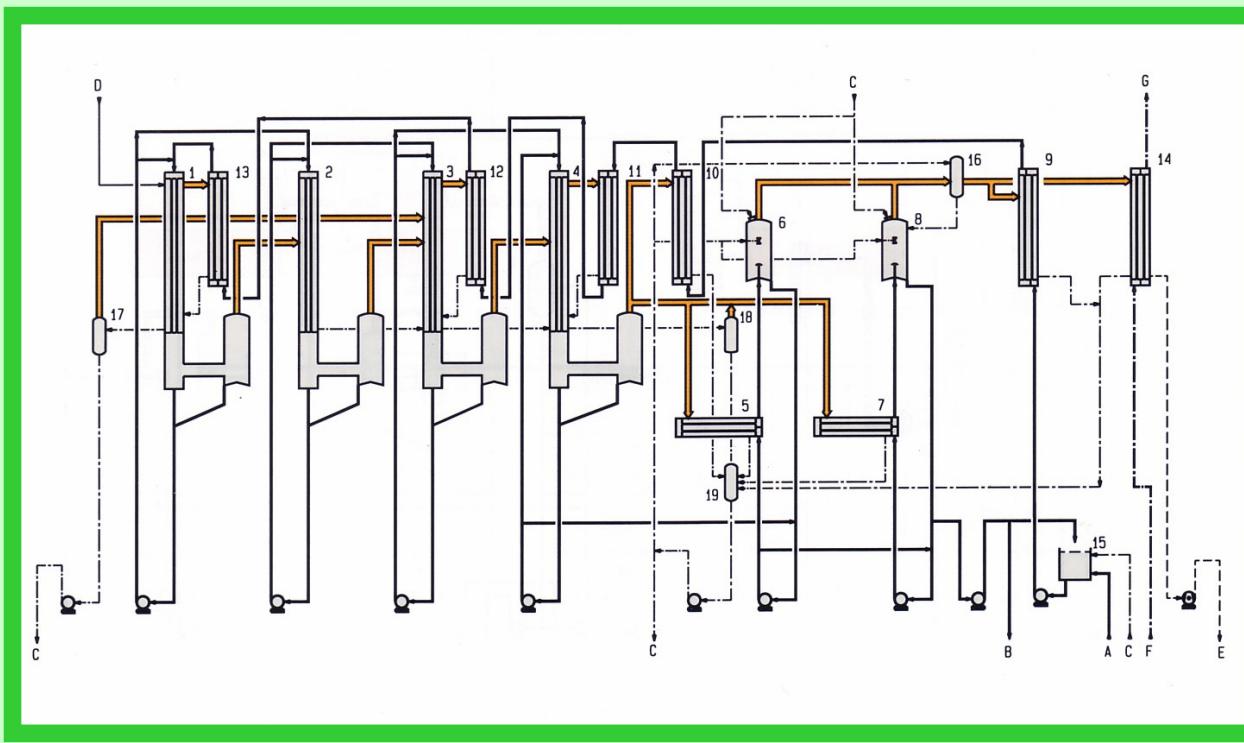
- Concentrare lesii reziduale sulfit, sulfat
- Concentratoare si superconcentratoare
- Retehnologizare evaporatoare lamelare

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT



- 3 efecte;
- 6 t/h;
- 6% → 50% S.U.
- 0,24 kg abur/kg sol.

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT



- 5 efecte: film descendenter + circ. fortata;
- 30 t/h;
- 8% → 50% S.U.

**AMIDON**

**A** product  
**B** concentrate  
**C** condensate  
**D** live steam  
**E** inert gas  
**F** cooling water  
**G** warm water

<b>1</b>	falling film evaporator effect I
<b>2</b>	falling film evaporator effect II
<b>3</b>	falling film evaporator effect III
<b>4</b>	falling film evaporator effect IV
<b>5, 6</b>	forced circulation evaporator effect I
<b>7, 8</b>	forced circulation evaporator effect II
<b>9-13</b>	preheater
<b>14</b>	condenser
<b>15</b>	feed tank
<b>16</b>	post separator with demister
<b>17-19</b>	condensate collection tank

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

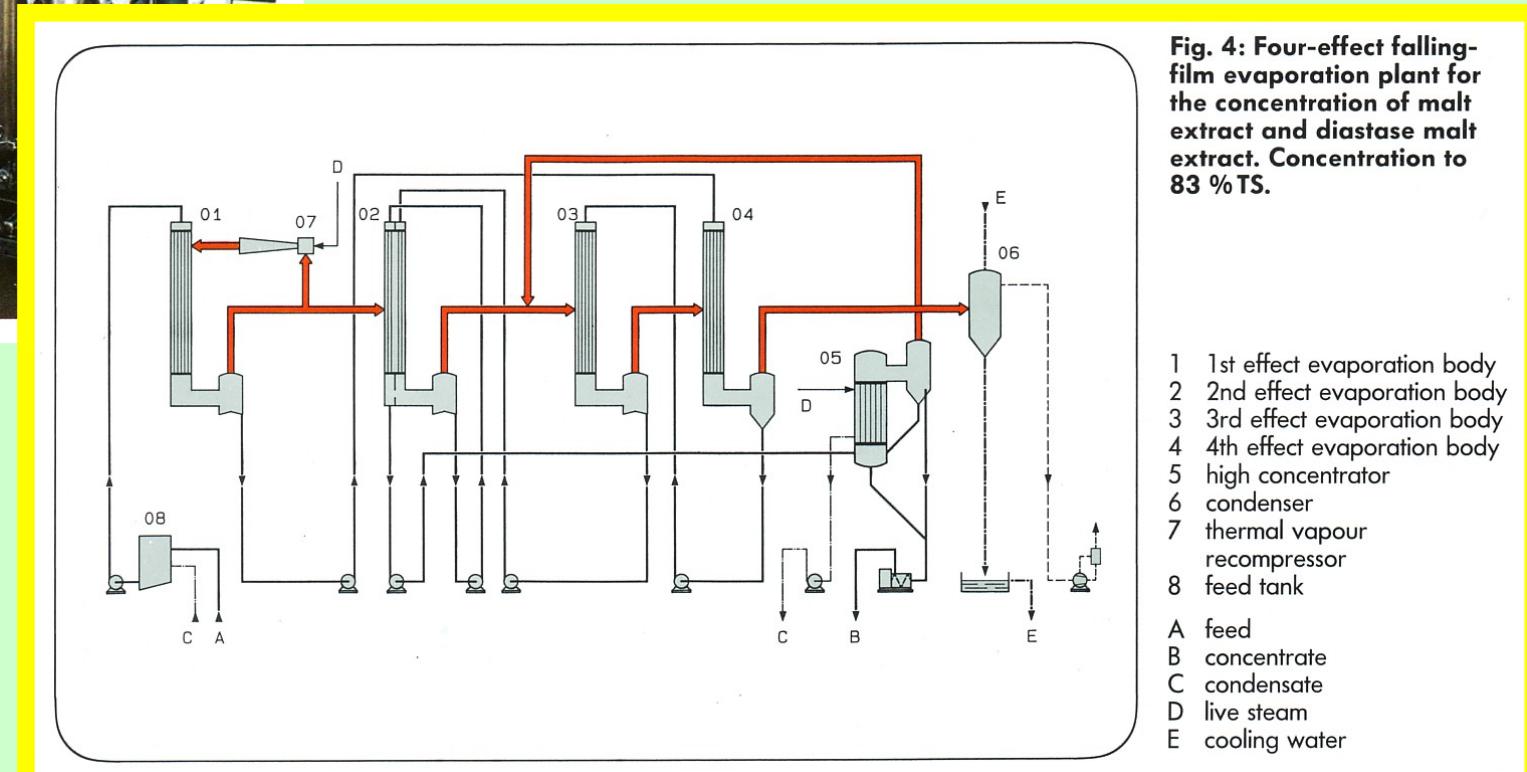


5 efecte - ind. farmaceutica



5 efecte - ind. zaharului

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

## CONCENTRARE SUC DE MERE CU RECUPERARE AROME

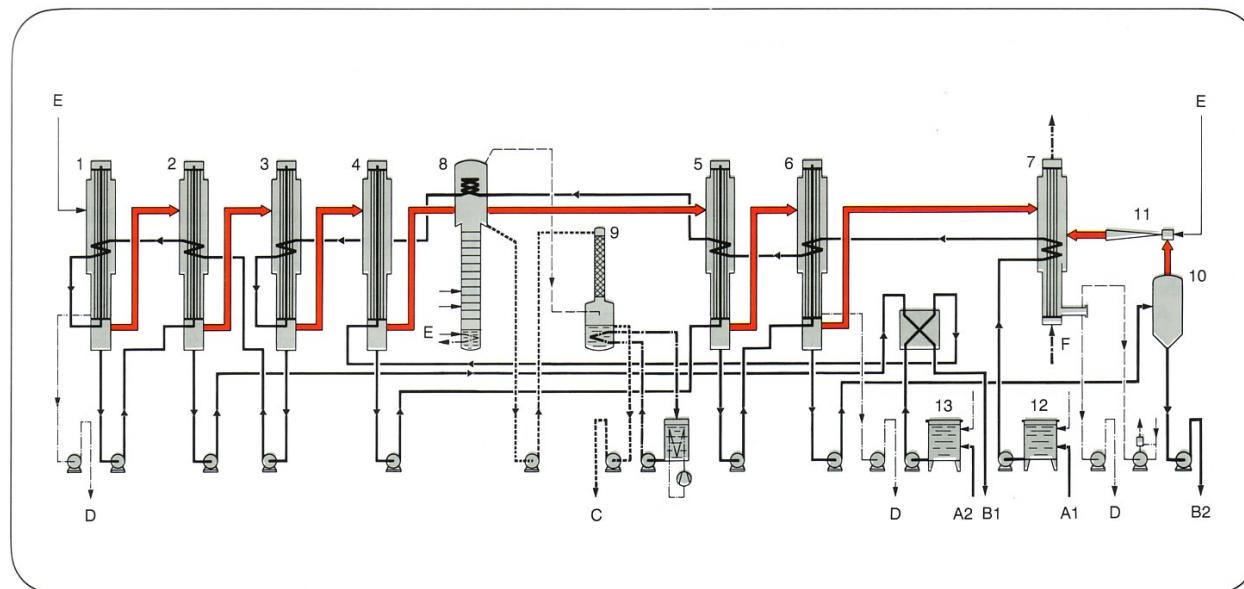


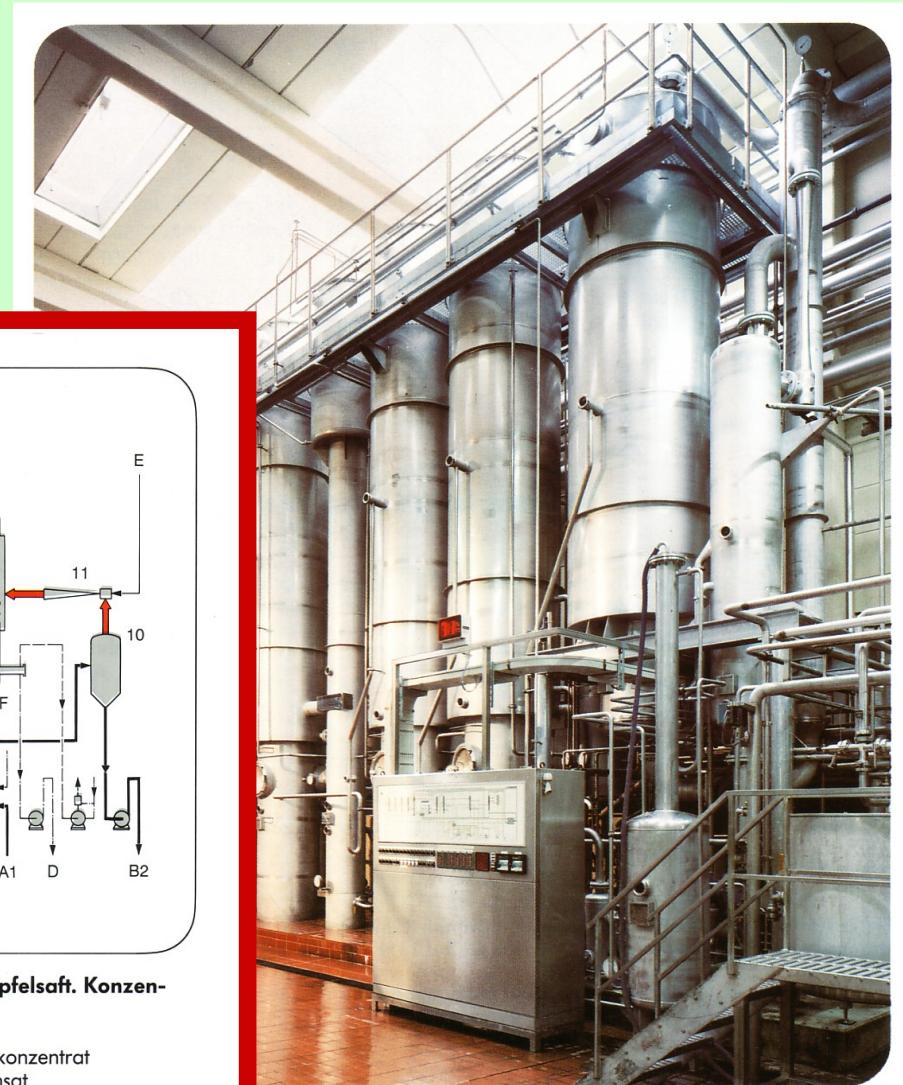
Bild 9: Sechsstufige Fallstrom-Eindampfanlage mit Aromagewinnung und Konzentratkühlung für 27 t/h Apfelsaft. Konzentrierung von 11 auf 70 % TS.

1 Verdampfkörper Stufe 1  
2 Verdampfkörper Stufe 2  
3 Verdampfkörper Stufe 3  
4 Verdampfkörper Stufe 4  
5 Verdampfkörper Stufe 5  
6 Verdampfkörper Stufe 6

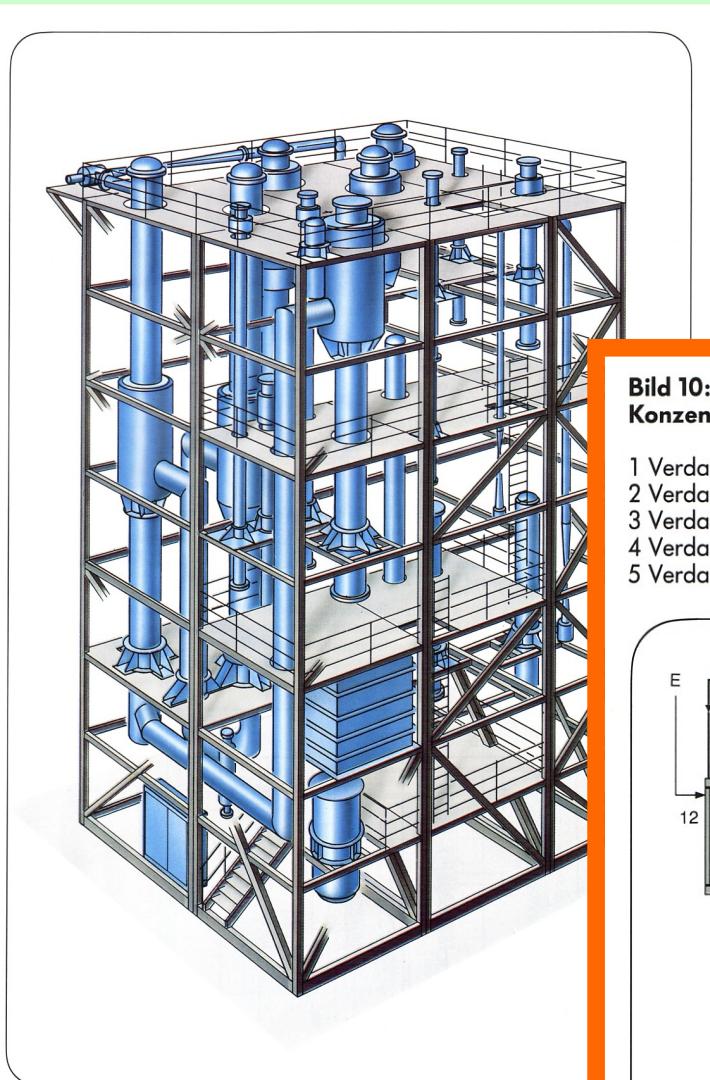
7 Oberflächenkondensator  
8 Aromakolonne  
9 Gaswäscher u. Aromakühler  
10 Entspannungskühler  
11 Therm. Brüdenverdichter  
12 Vorlaufbehälter (Trubaft)  
13 Vorlaufbehälter (Klarsaft)

A1 Trubaftzulauf  
A2 Klarsaftzulauf  
B1 Trubaftkonzentrat  
B2 Klarsaftkonzentrat

C Aromakonzentrat  
D Kondensat  
E Frischdampf  
F Kühlwasser



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT



## CONCENTRARE SUC DE PORTOCALE CU RECUPERARE AROME

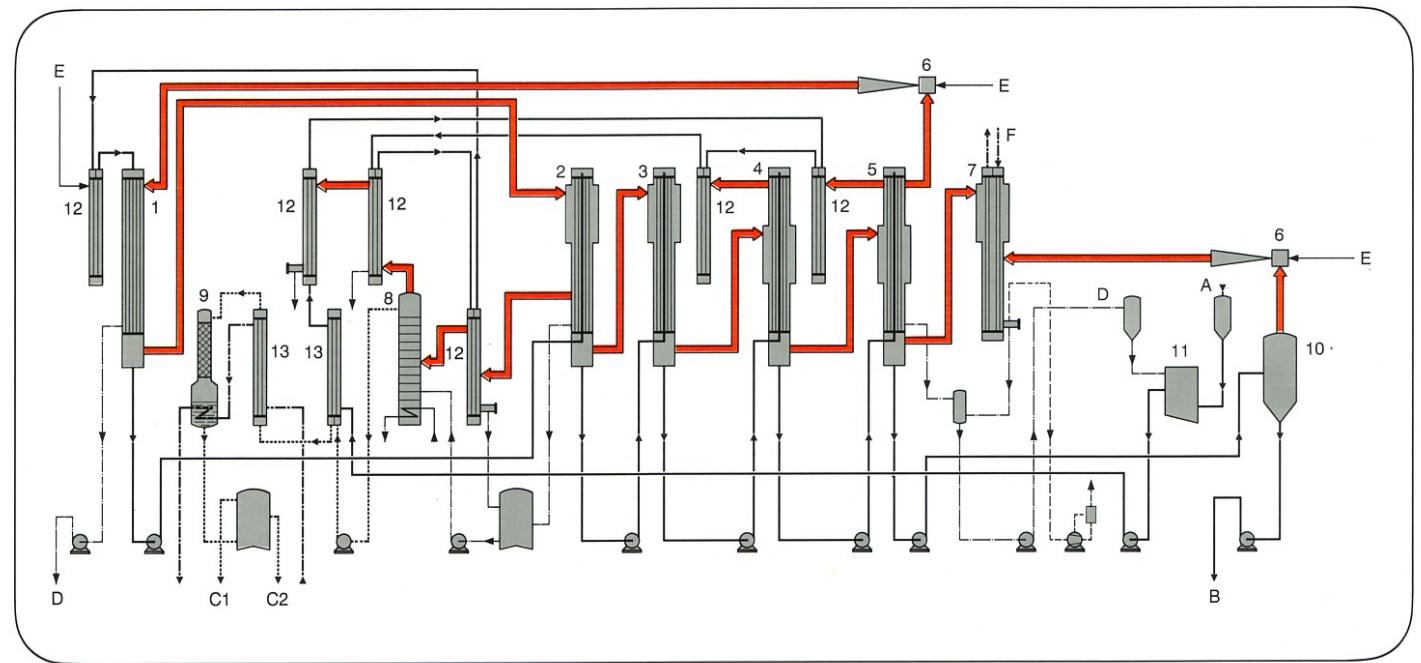
Bild 10: Fünfstufige Fallstrom-Eindampfanlage mit Aromagewinnung und Konzentratkühlung für 32 t/h Orangensaft.  
Konzentrierung von 9 auf 65 % TS.

1 Verdampfkörper Stufe 1  
2 Verdampfkörper Stufe 2  
3 Verdampfkörper Stufe 3  
4 Verdampfkörper Stufe 4  
5 Verdampfkörper Stufe 5

6 Therm. Brüdenverdichter  
7 Oberflächenkondensator  
8 Aromakolonne  
9 Gaswäscher u. Aromakühler  
10 Entspannungskühler

11 Vorlaufbehälter  
12 Vorwärmer  
13 Aromakühler  
A Saftzulauf  
B Konzentrat

C1 Aromakonzentrat  
C2 Aromakonzentrat  
D Kondensat  
E Frischdampf  
F Kühlwasser



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

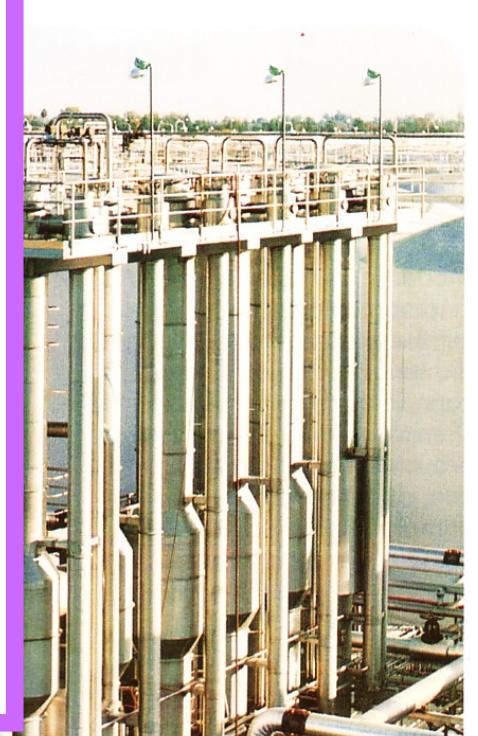
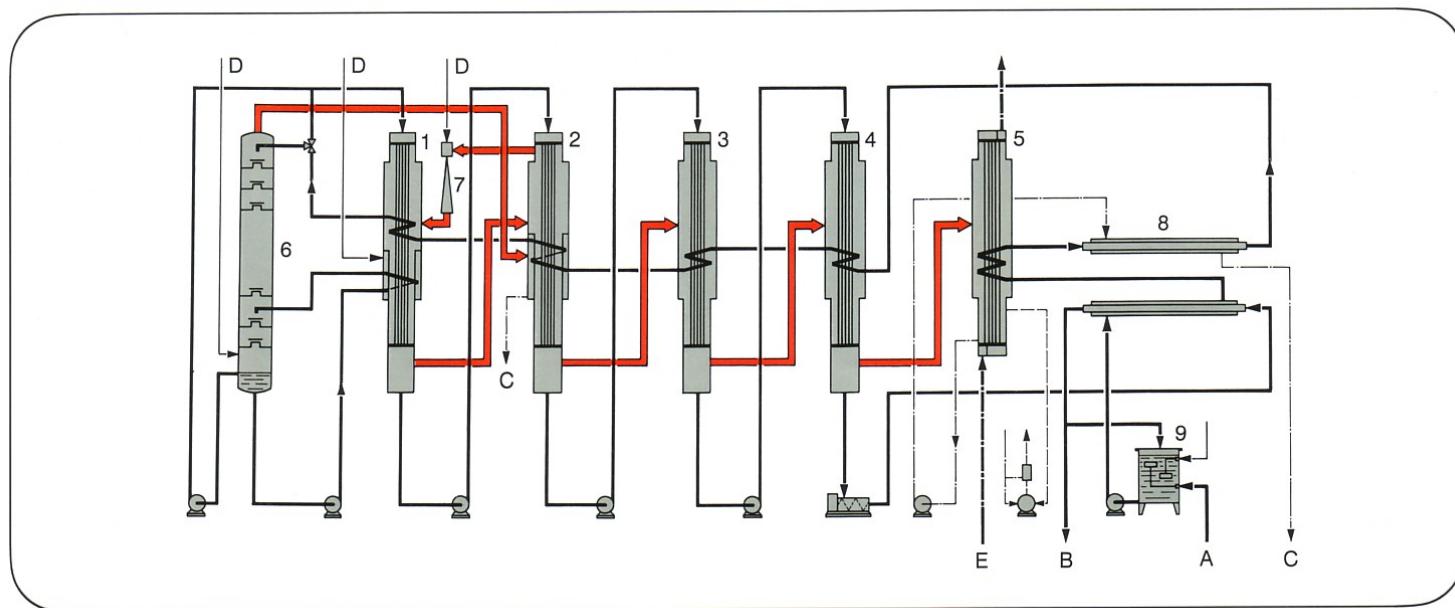
Bild 13: 4stufige Fallstrom-Eindampfanlage für Traubensaft, mit thermischer Brüdenverdichtung und mit einer Entschwefelungskolonne. Eindampfung auf 71% TS.

1 Verdampfkörper Stufe 1  
2 Verdampfkörper Stufe 2  
3 Verdampfkörper Stufe 3

4 Verdampfkörper Stufe 4  
5 Oberflächenkondensator  
6 Entschwefelungskolonne

7 Therm. Brüdenverdichter  
8 Produktvorwärmer und  
Konzentratkühler  
9 Vorlaufbehälter

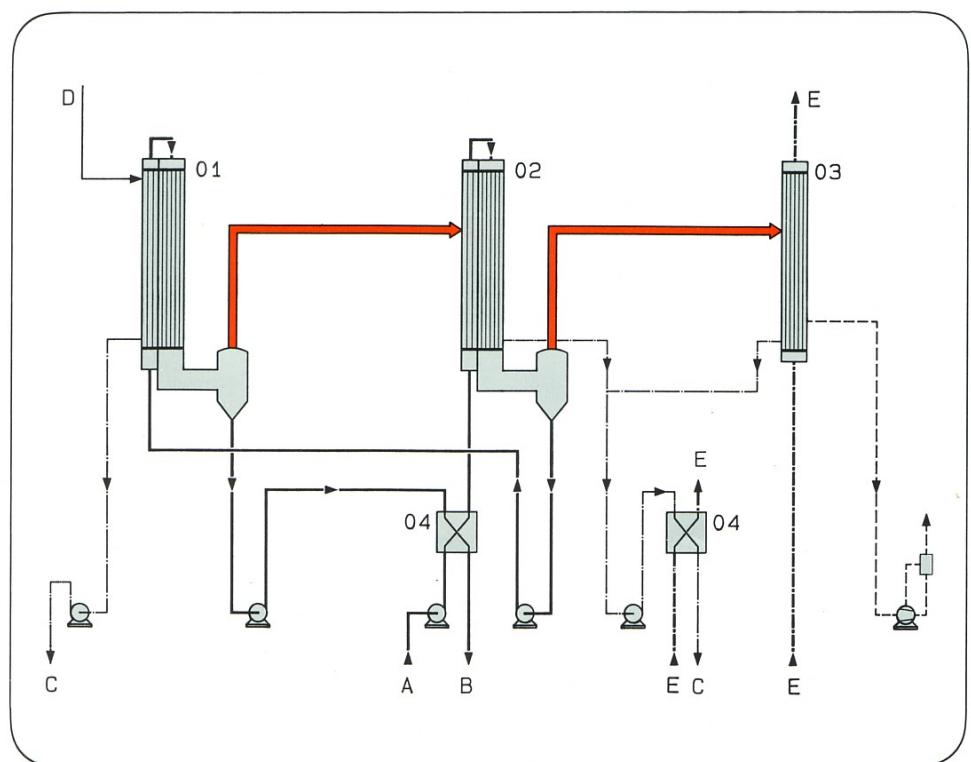
A Saftzulauf  
B Konzentrat  
C Kondensat  
D Frischdampf  
E Kühlwasser



CONCENTRARE SUC DE  
STRUGURI CU  
RECUPERARE AROME

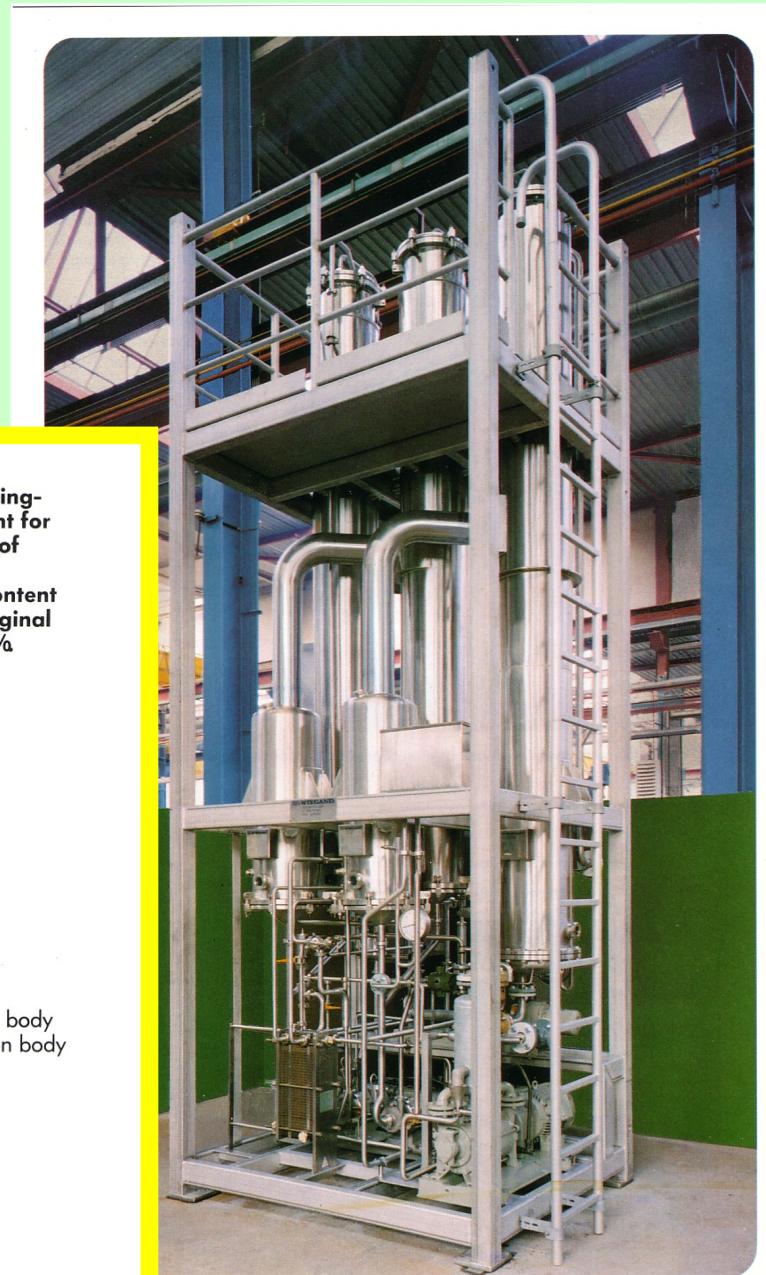


# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT



**Fig. 1: Two-effect falling-film evaporation plant for the dealcoholization of beer.  
Remaining alcohol content variable between original value and 0,03 Vol. %**

- 1 1st effect evaporation body
- 2 2nd effect evaporation body
- 3 surface condenser
- 4 heat exchanger
- A feed
- B product
- C condensate
- D live steam
- E cooling water



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT



## CONCENTRAREA LAPTELUI

Film descendente,  
3 efecte si  
termocompresie,  
25 - 30 t/h

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT



CONCENTRAREA  
MONOGLUTAMATULUI  
DE SODIU

Film descendente,  
5 efecte si  
termocompresie,  
25 t/h

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT – AMIDON HIDROLIZAT

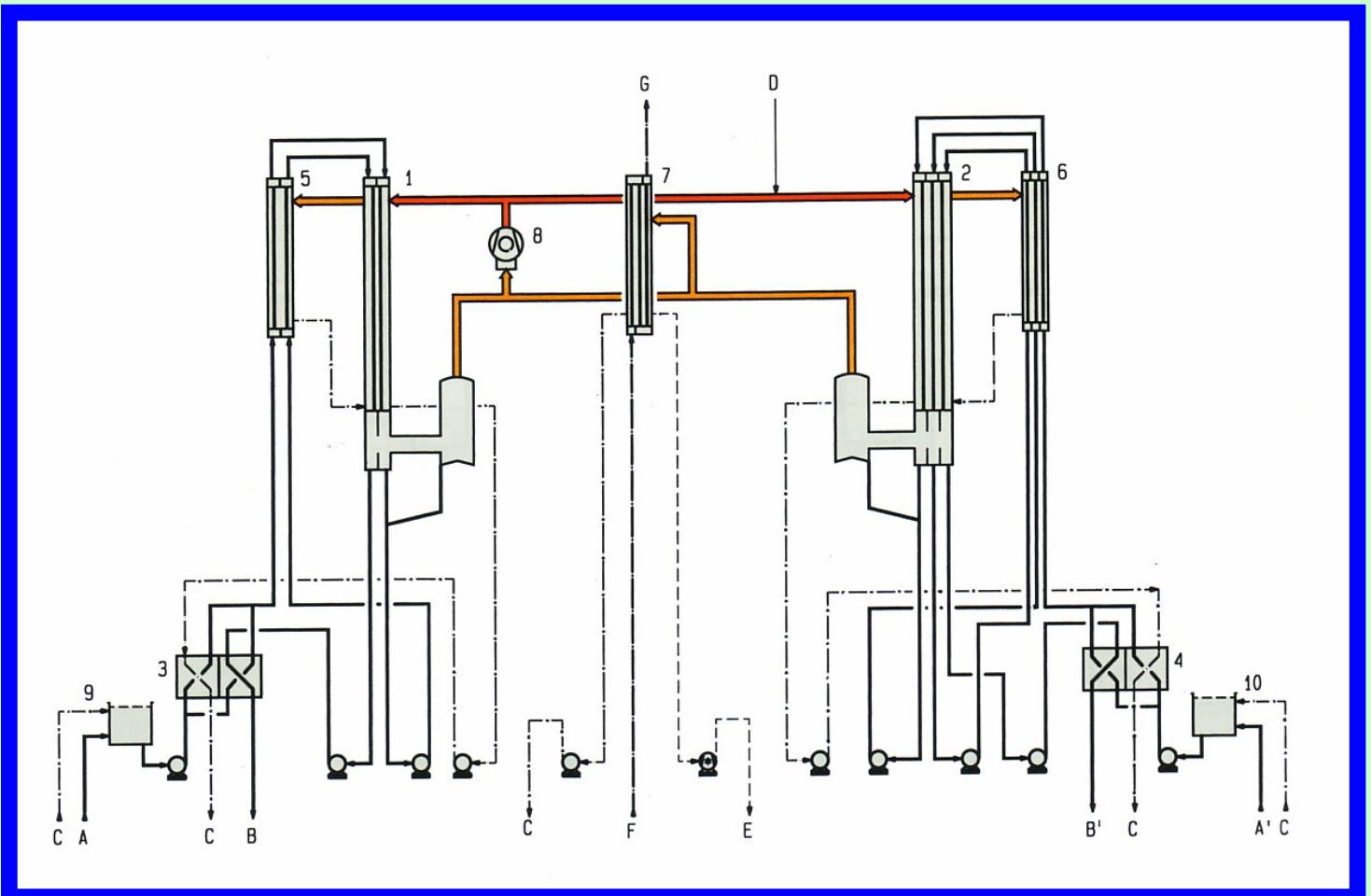
**Evaporation rate:** 5 to 100 t/hr

**Type of plant:** 1 to 3 effect falling film evaporation plant

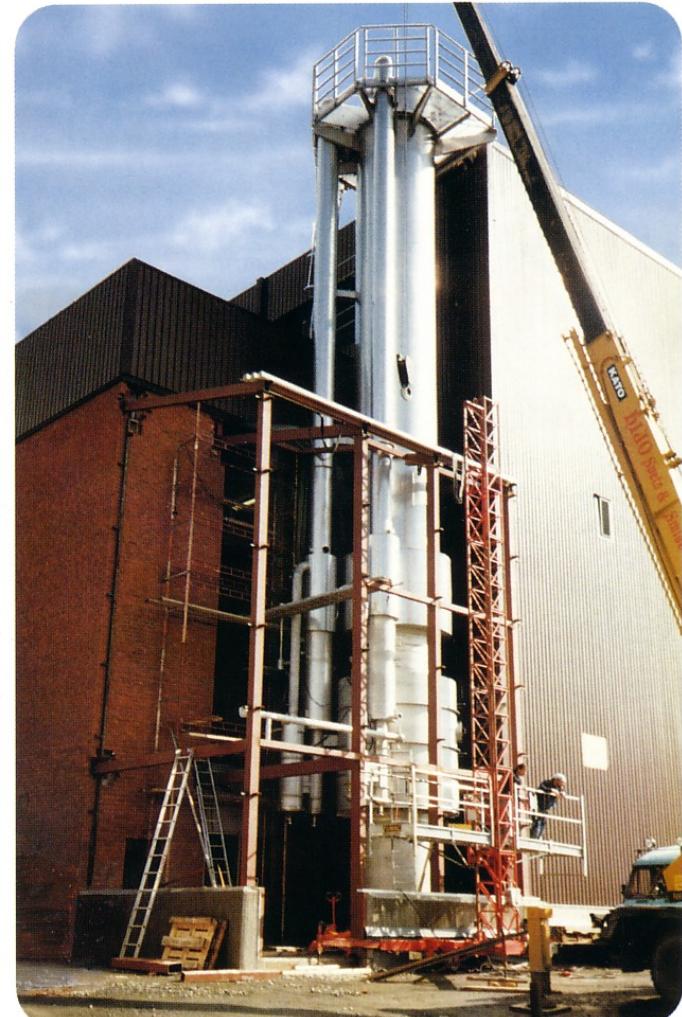
**Final concentration:** 30 – 80% TS depending on the product

**Type of heating:** live steam, mechanical vapour recompression (fan, Roots compressor, turbo) thermal vapour recompression for the high concentrator

A product 1	1	falling film evaporator effect I
A' product 2	2	falling film evaporator effect II
B concentrate 1	3, 4	plate heat exchangers
B' concentrate 2	5, 6	preheaters
C condensate	7	surface condenser
D live steam	8	mechanical vapour recompressor
E inert gas	9	feed tank product 1
F cooling water	10	feed tank product 2
G warm water		



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

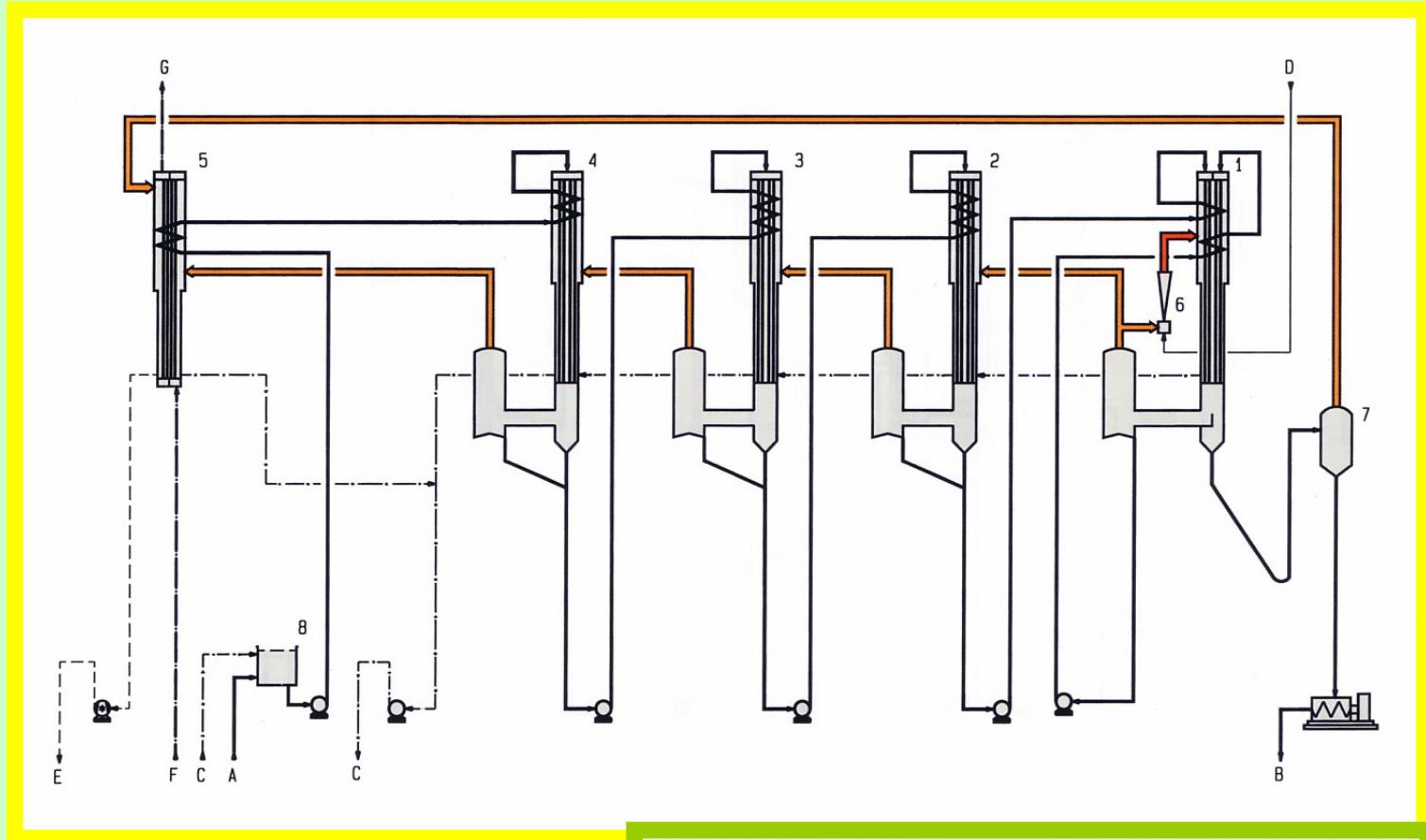
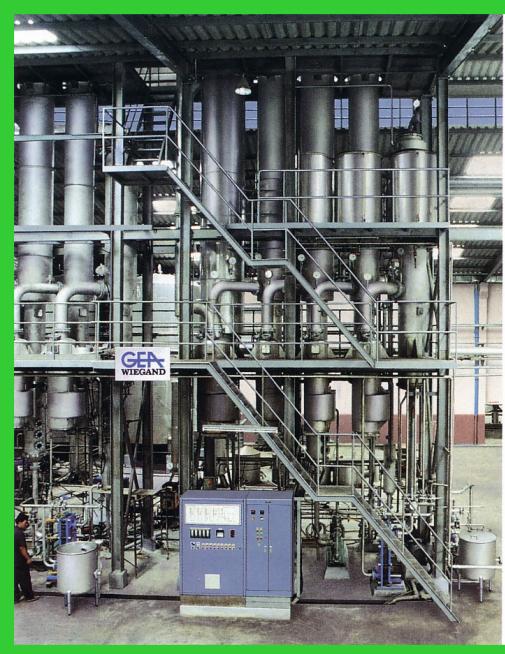


Concentrare lapte degresat  
si zer

Dezalcoolizare bere



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT – ZAHARIFICARE AMIDON

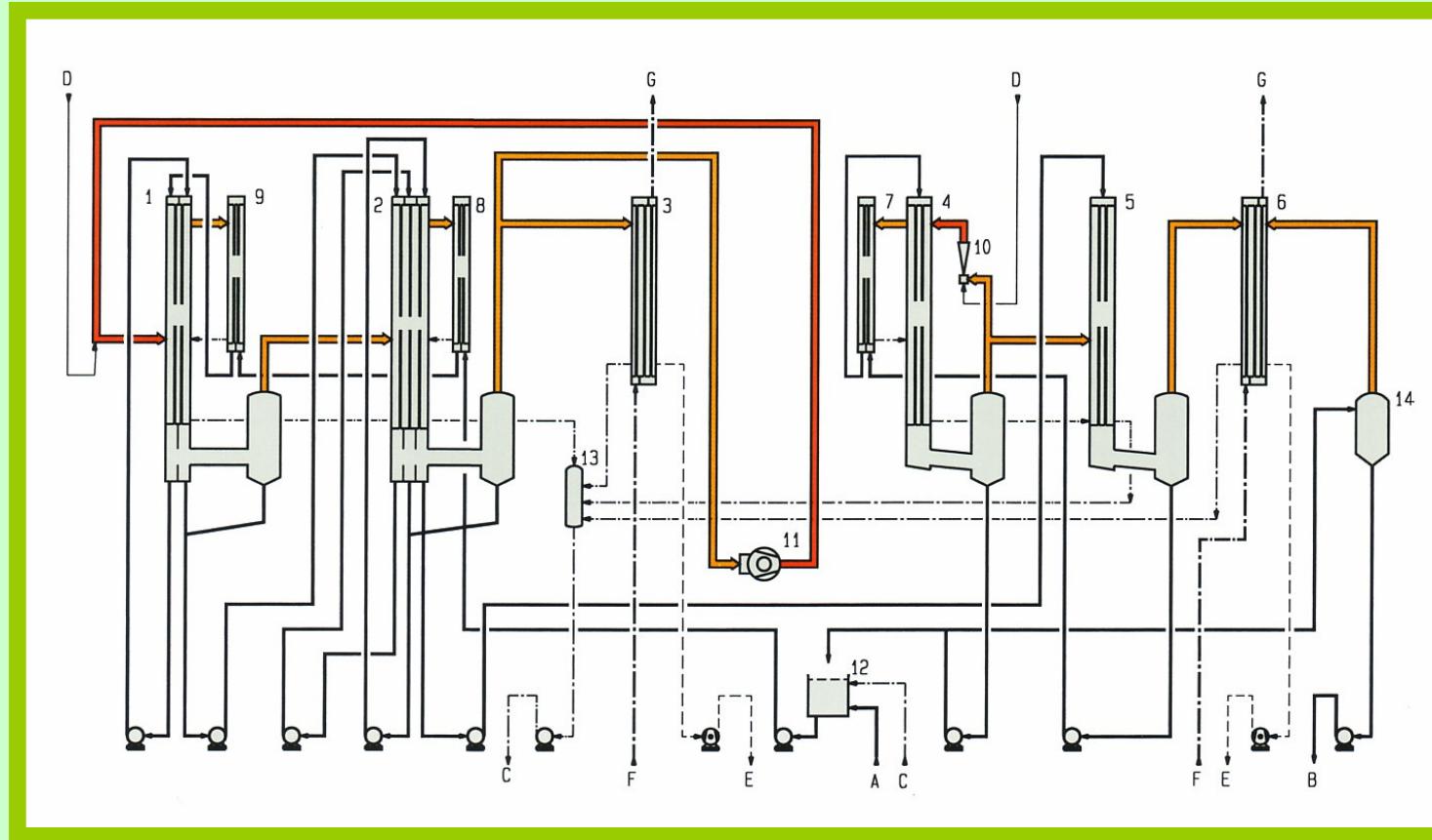


A product  
 B concentrate  
 C condensate  
 D live steam  
 E inert gas  
 F cooling water  
 G warm water

1 falling film evaporator effect I  
 2 falling film evaporator effect II  
 3 falling film evaporator effect III  
 4 falling film evaporator effect IV  
 5 surface condenser  
 6 thermal vapour recompressor  
 7 flash cooler  
 8 feed tank

**Evaporation rate:** up to 15 t/hr  
**Type of plant:** 2 to 5 effect falling film evaporation plant in counter flow arrangement with flash cooler  
**Final concentration:** 65 – 85% TS depending on the product  
**Type of heating:** live steam, thermal vapour compression

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT – GLUCOZA



- 1 falling film pre-evaporator effect I
- 2 falling film pre-evaporator effect II
- 3 condenser
- 4 falling film finisher effect I
- 5 falling film finisher effect II
- 6 condenser
- 7 – 9 preheaters
- 10 thermal vapour recompressor
- 11 mechanical vapour recompressor
- 12 feed tank
- 13 condensate collection tank
- 14 flash cooler

- A product
- B concentrate
- C condensate
- D live steam
- E inert gas
- F cooling water
- G warm water

# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT – GLUCOZA

*Figures 15 and 16: Evaporation plant for various glucose solutions consisting of a 2 effect falling film pre-evaporator, heated by a mechanical vapour recompressor and a 2 effect falling film finisher arranged down stream in counter flow with thermal vapour recompressor and flash cooler.*

*Evaporation rate: 18.8 t/hr*

*Concentration: 32 – 83% TS*

*Compression capacity: 325 kW*



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT – DROJDIE DE BERE

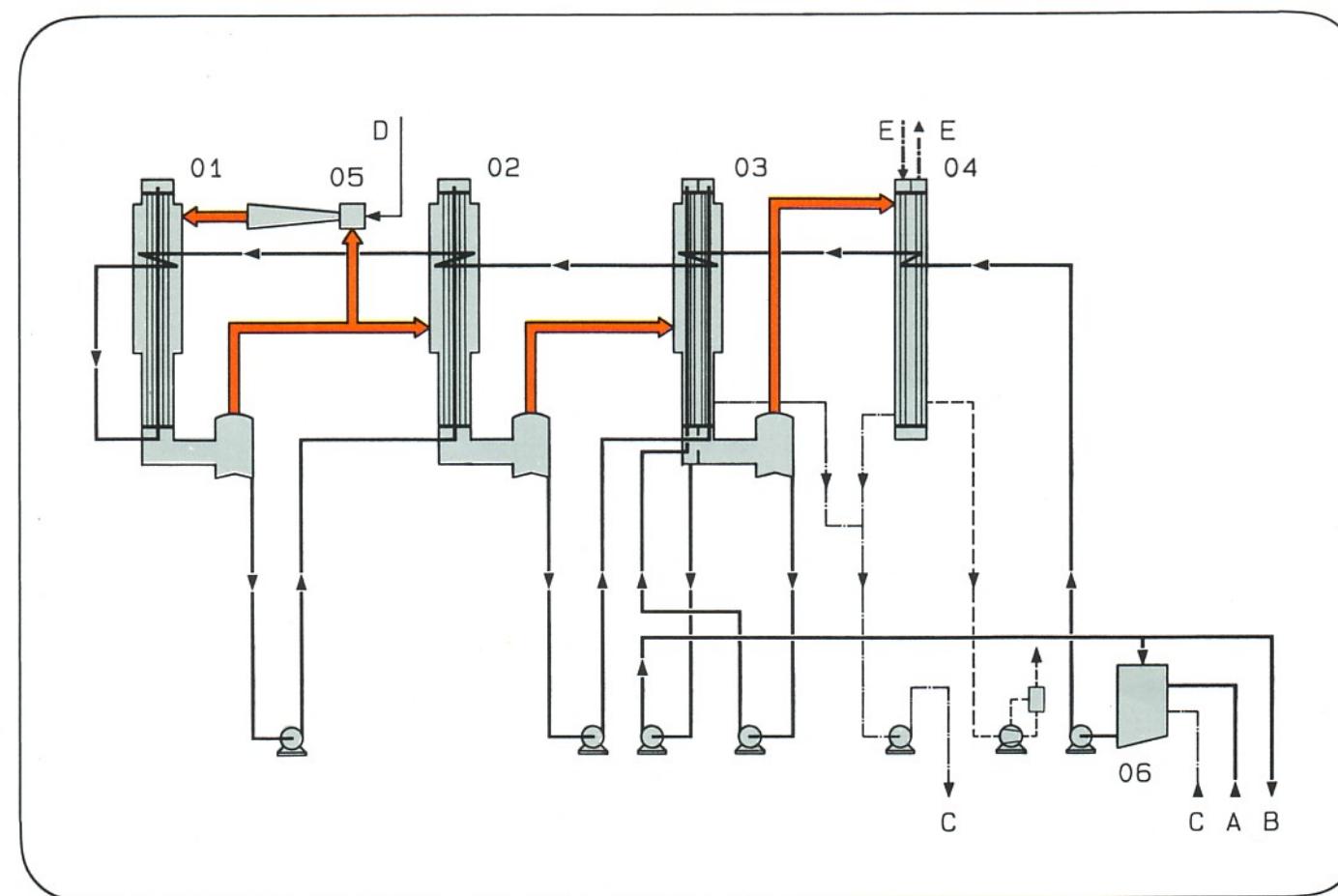


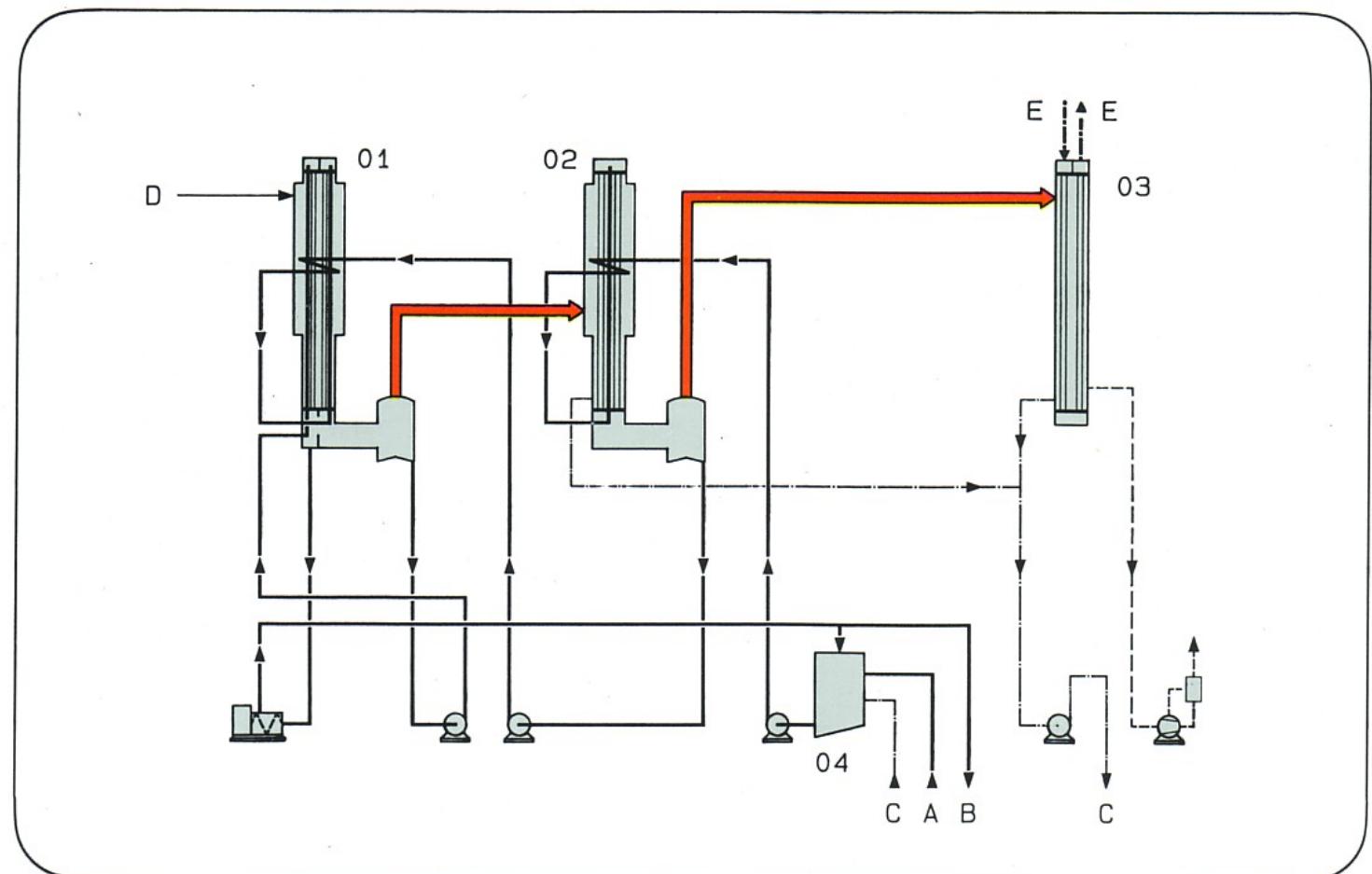
Fig. 8: Three-effect falling-film evaporation plant as pre-evaporator for the pre-concentration of brewer's yeast and yeast extract.

- 1 1st effect evaporation body
- 2 2nd effect evaporation body
- 3 3rd effect evaporation body
- 4 surface condenser
- 5 thermal vapour compressor
- 6 feed tank
- A feed
- B concentrate
- C condensate
- D live steam
- E cooling water

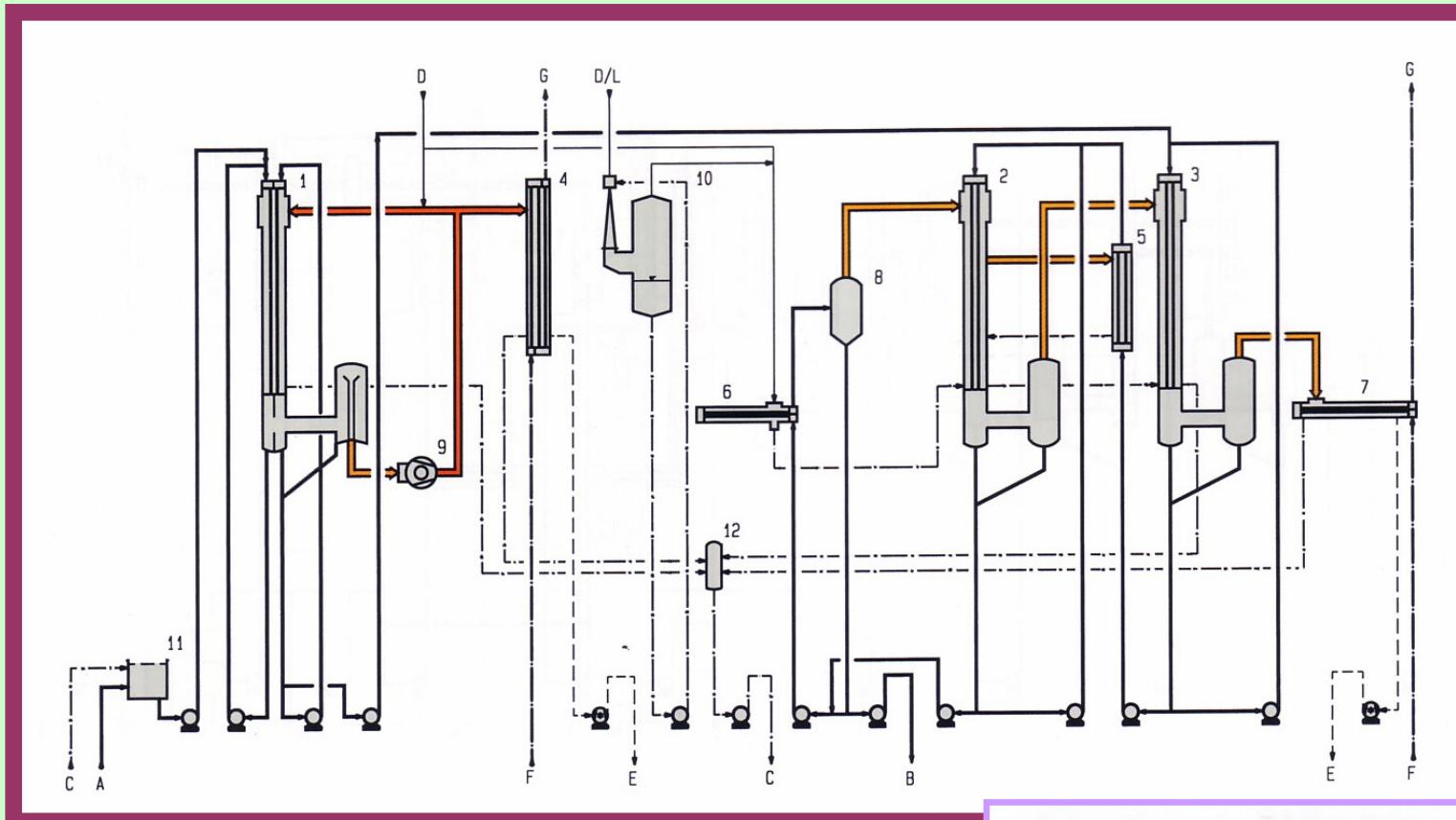


# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT – DROJDIE DE BERE

Fig. 9: Two-effect falling-film evaporation plant as finisher for the high concentration of brewer's yeast and yeast extract.



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT – EFLUENTI AMIDON DIN GRAU



A	product	1	falling film pre-evaporator	7	condenser
B	concentrate	2	falling film finisher effect I	9	mechanical vapour recompressor
C	condensate	3	falling film finisher effect II	10	dryer vapour scrubber
D	live steam	4	condenser	11	feed tank
E	inert gas	5	preheater	12	condensate collection tank
F	cooling water	6, 8	forced circulation evaporator		
G	warm water				
L	inert gas				

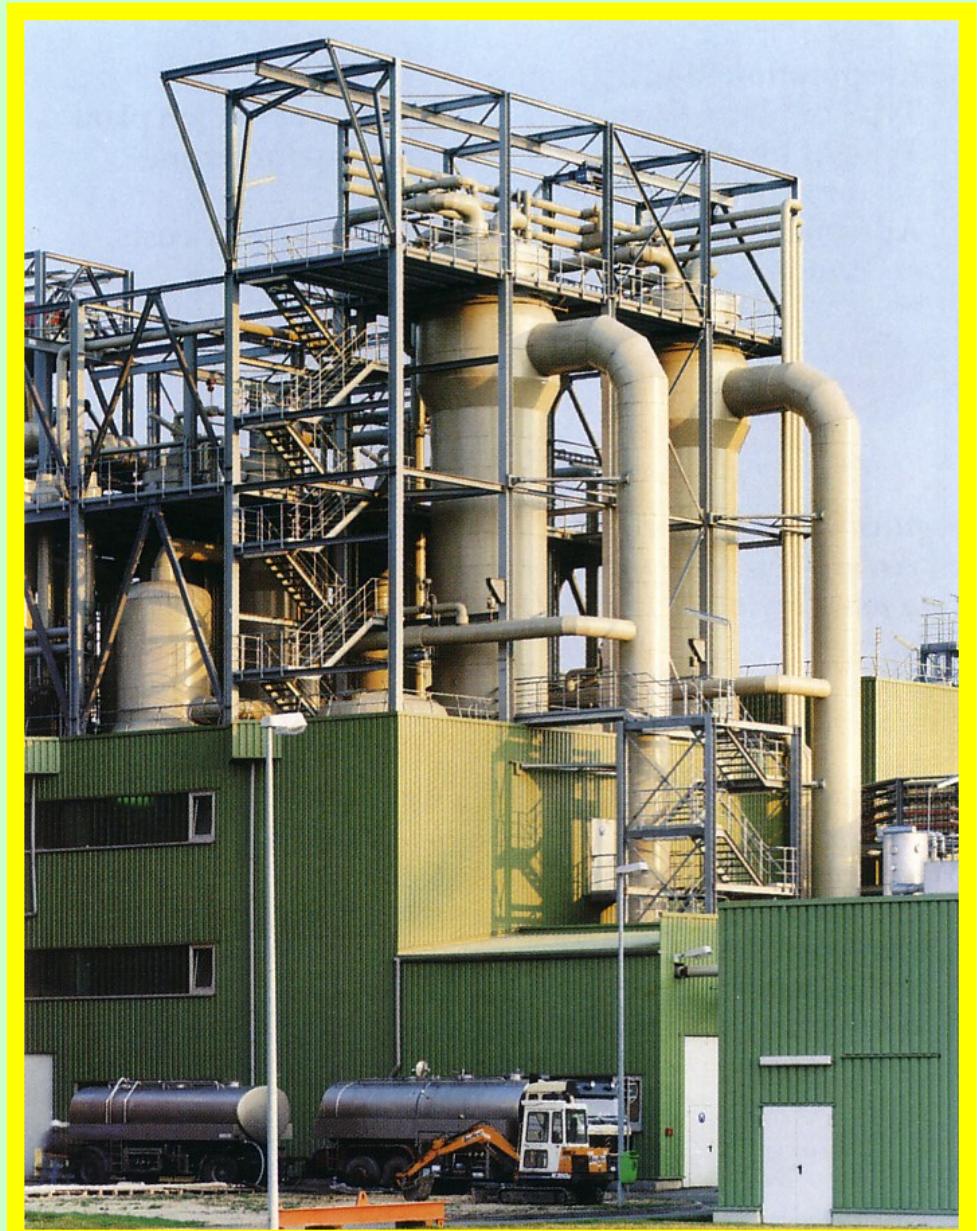
# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT – EFLUENTI AMIDON DIN GRAU



*Figures 6 and 7: Evaporation plant for wheat starch effluent in the largest and most modern wheat starch factory in the world consisting of 2 lines each with 58.5 t/hr evaporation rate. Each line consists of a falling film pre-evaporator with approx. 5,600 m<sup>2</sup> heating surface, heated by a mechanical vapour recompressor and a 3 effect falling film forced circulation finisher, heated with dryer vapours.*

*Energy requirement: < 10 kW per ton of evaporated water*

**Evaporation rate:** up to approx. 70 t/hr  
**Type of plant and type of heating:** single effect falling film pre-evaporator, heated with a mechanical vapour recompressor (fan) and 3 effect falling film forced circulation finisher, heated with dryer vapours  
**Advantages:** very low energy consumption, minimal cleaning requirement, high quality condensate



# EVAPORATOARE CU FASCICUL TUBULAR CU FILM DESCENDENT

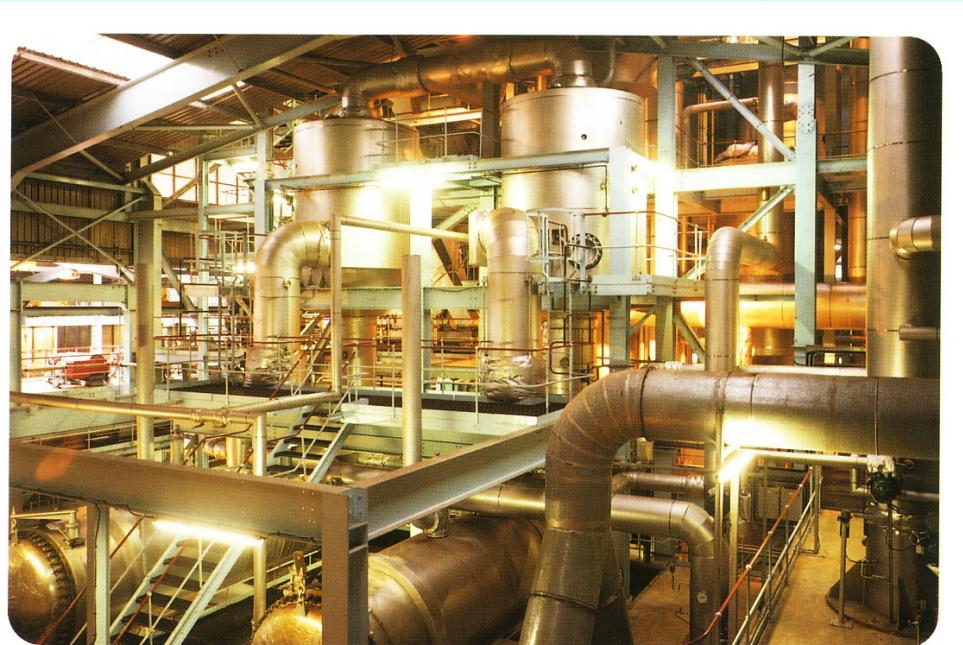


Fig. 27 Evaporation plant for whisky spent wash

Ape de spalare whisky

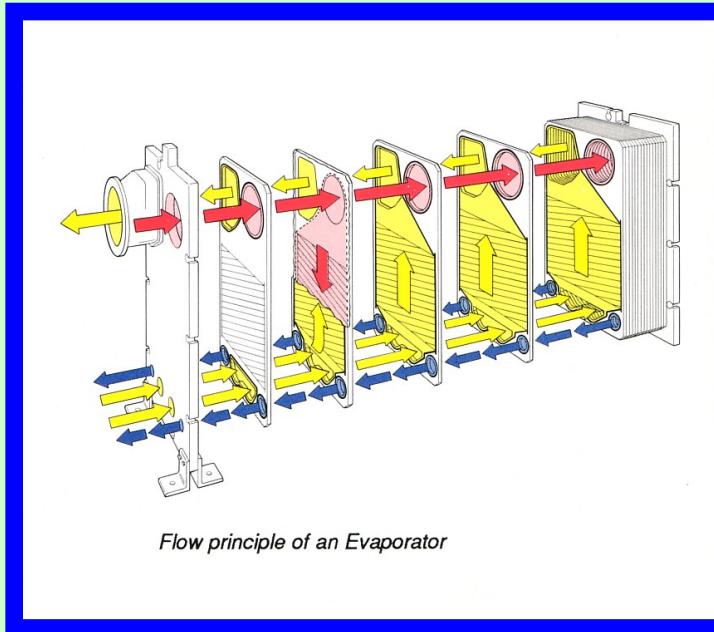
Solutie apoasa caprolactama



# EVAPORATOARE CU PLACI

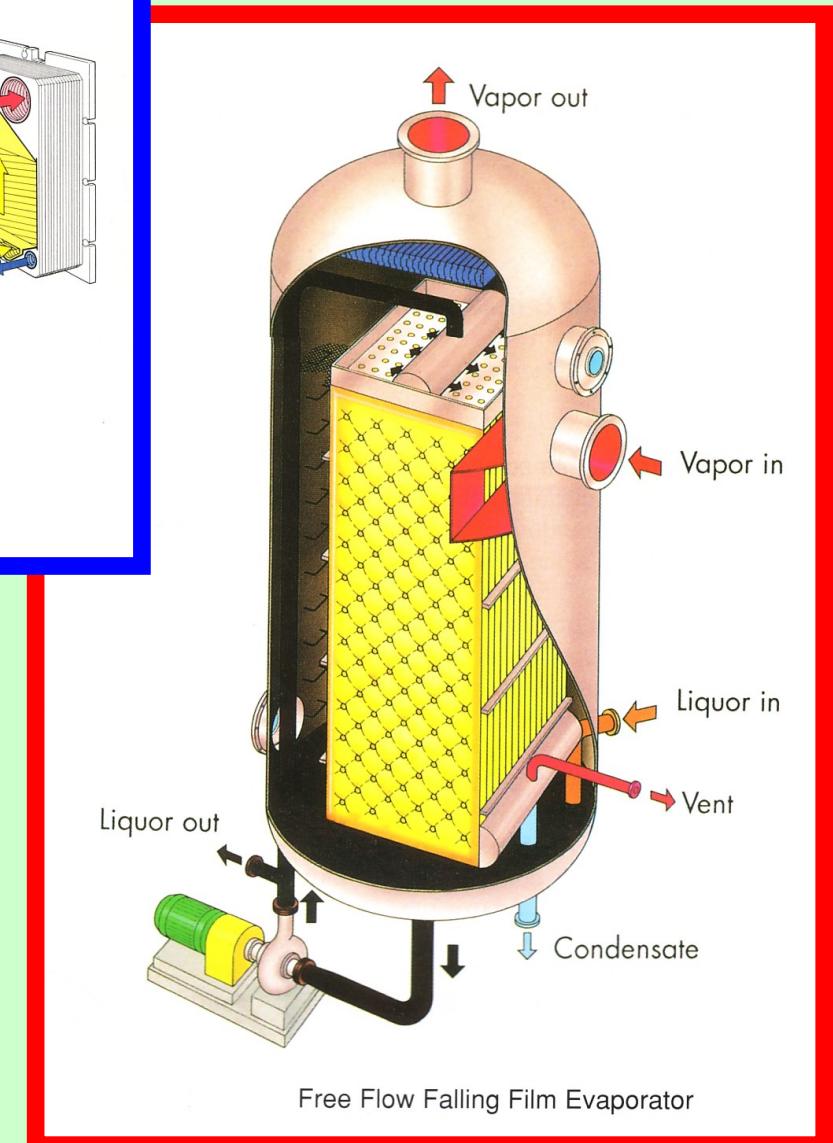
## o Cu placi in manta

- Agentul termic prin placi
- Produsul peste placi (sub forma de film)

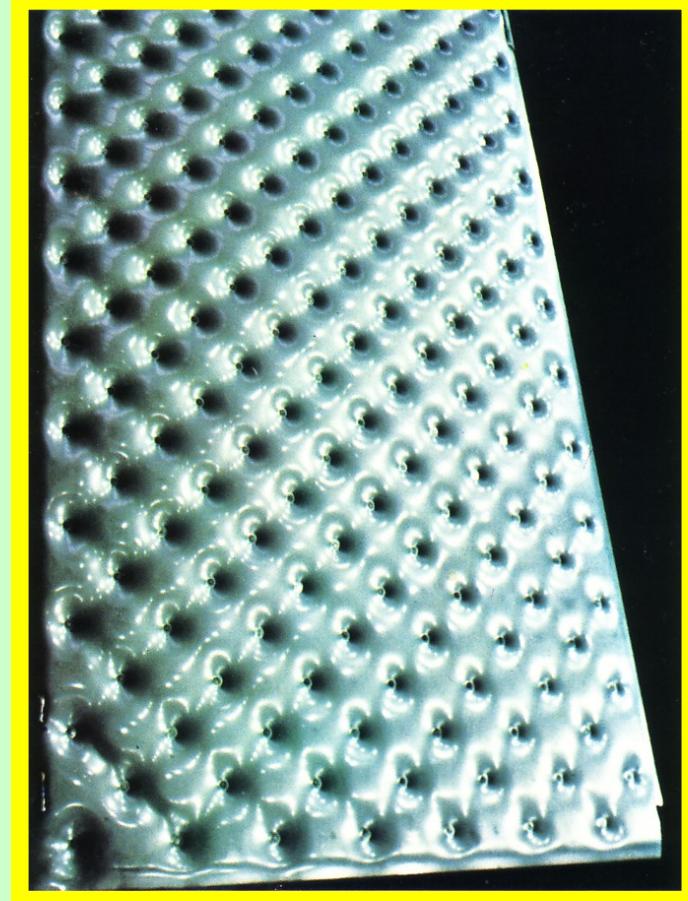
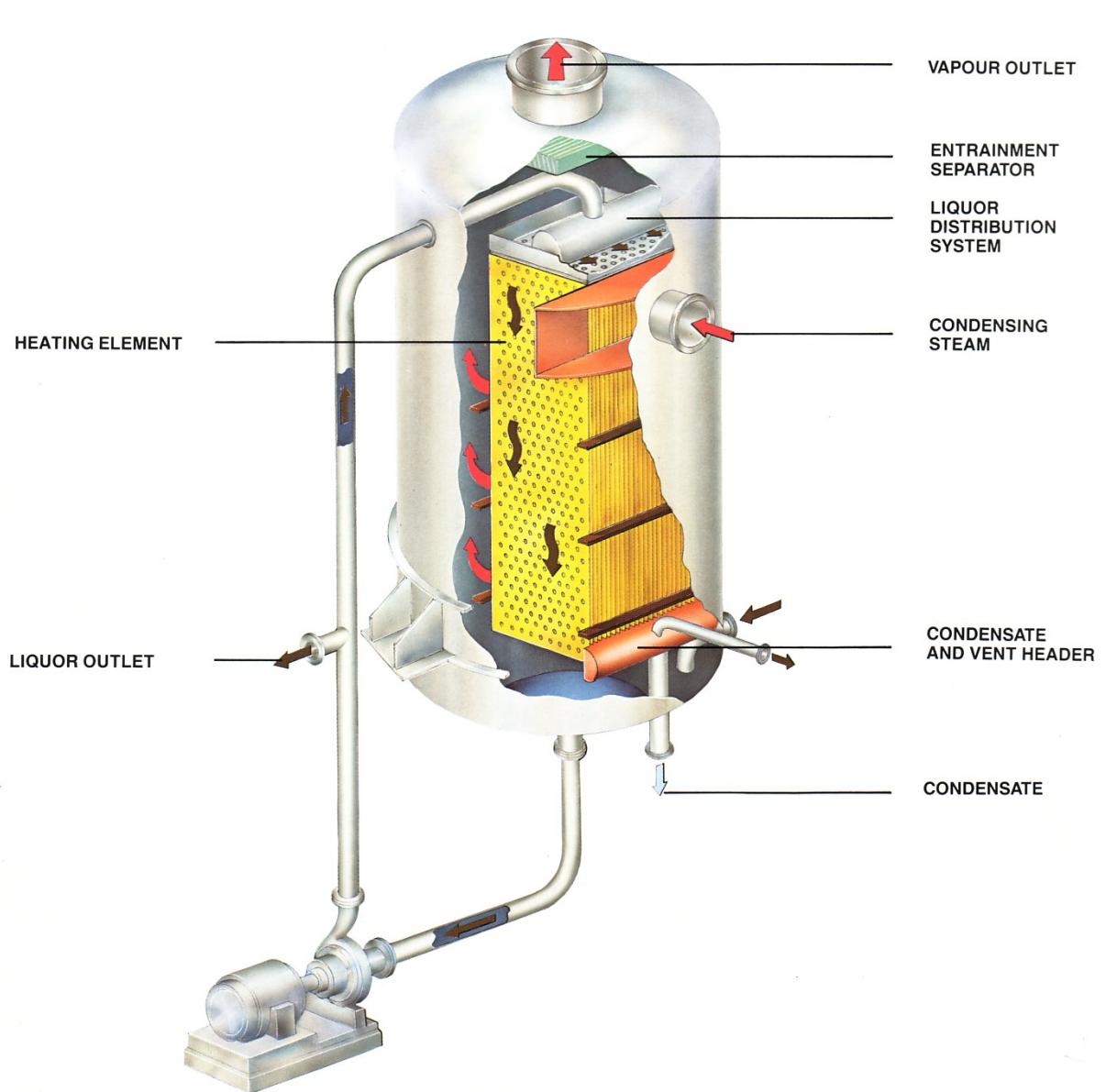


## o Cu placi si garnituri

- Agentul termic printre placi
- Produsul printre placi

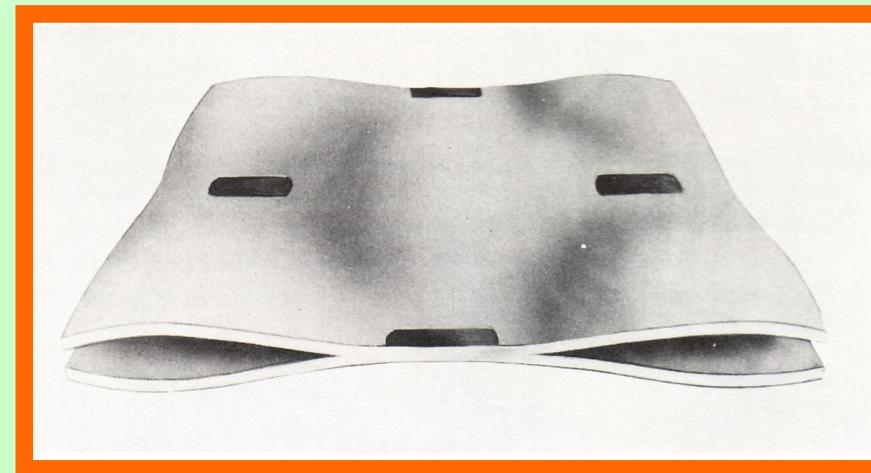
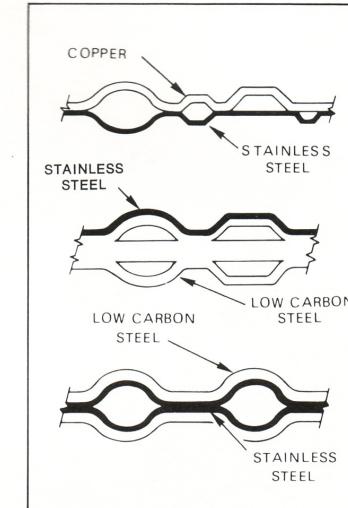
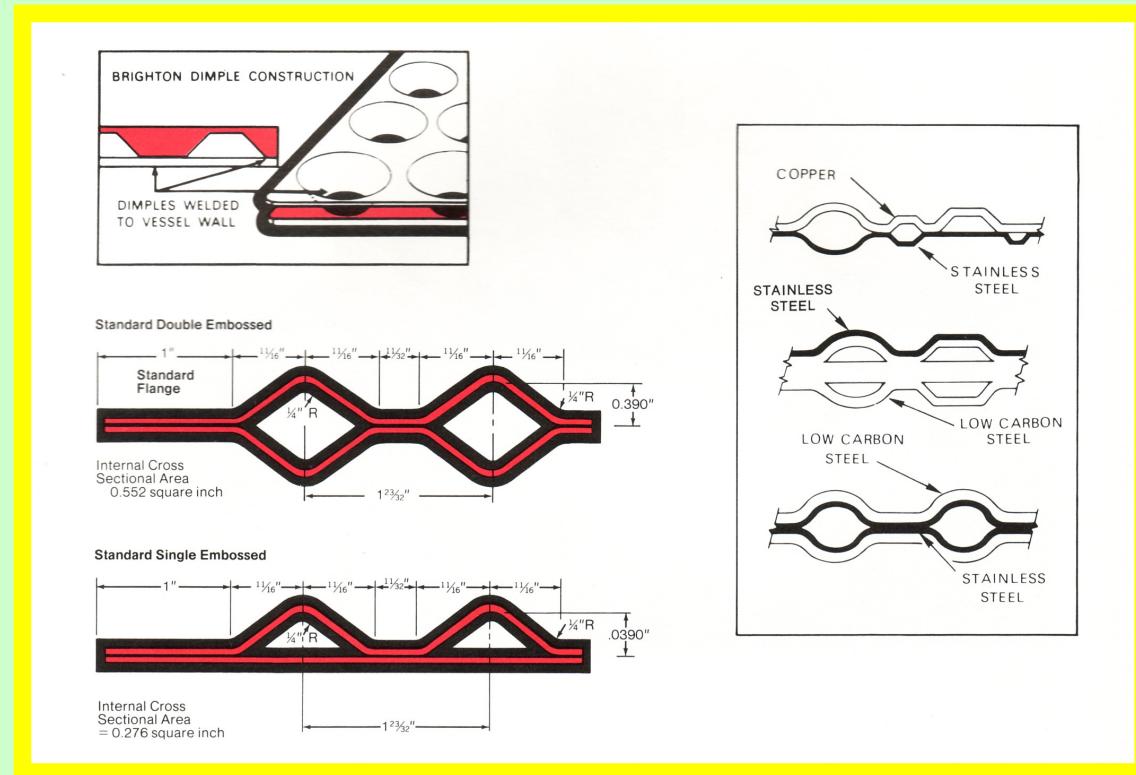
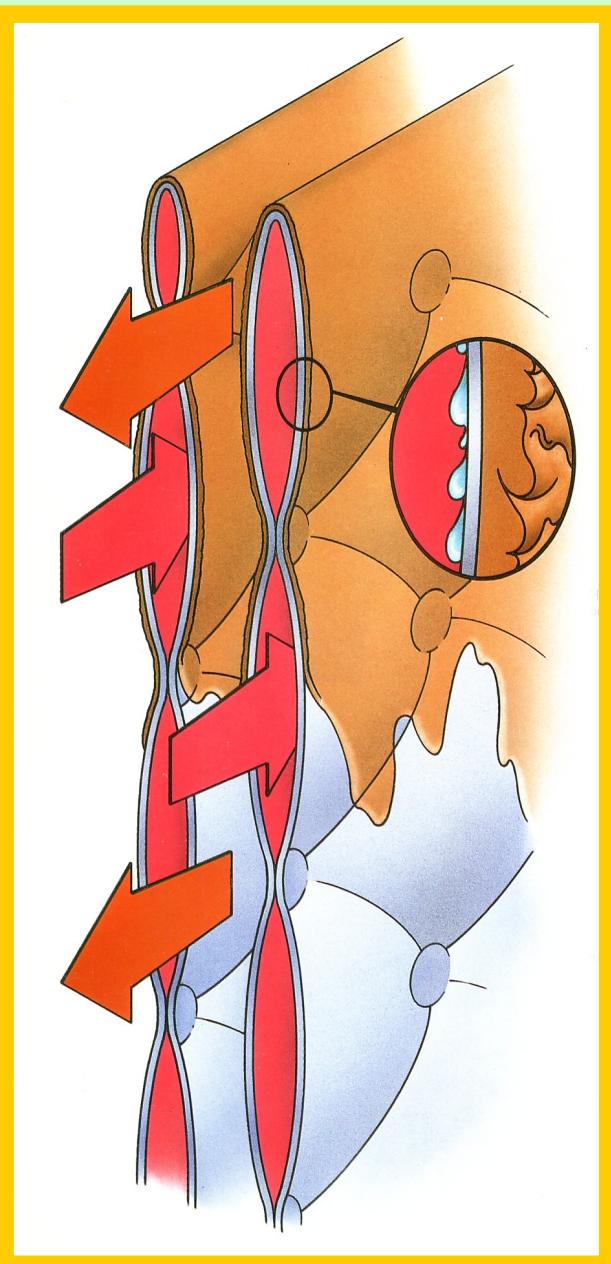


# EVAPORATOARE CU PLACI IN MANTA

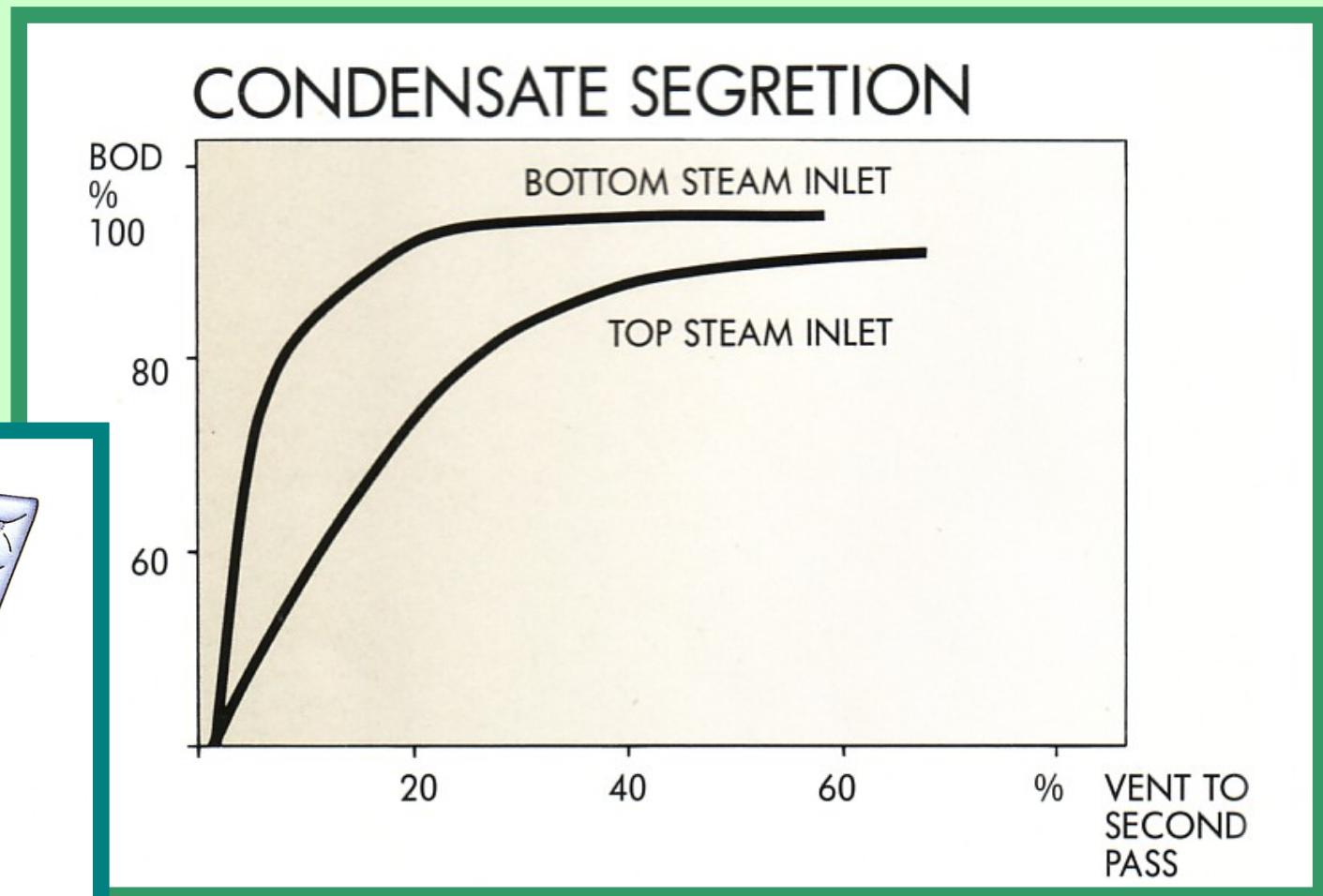
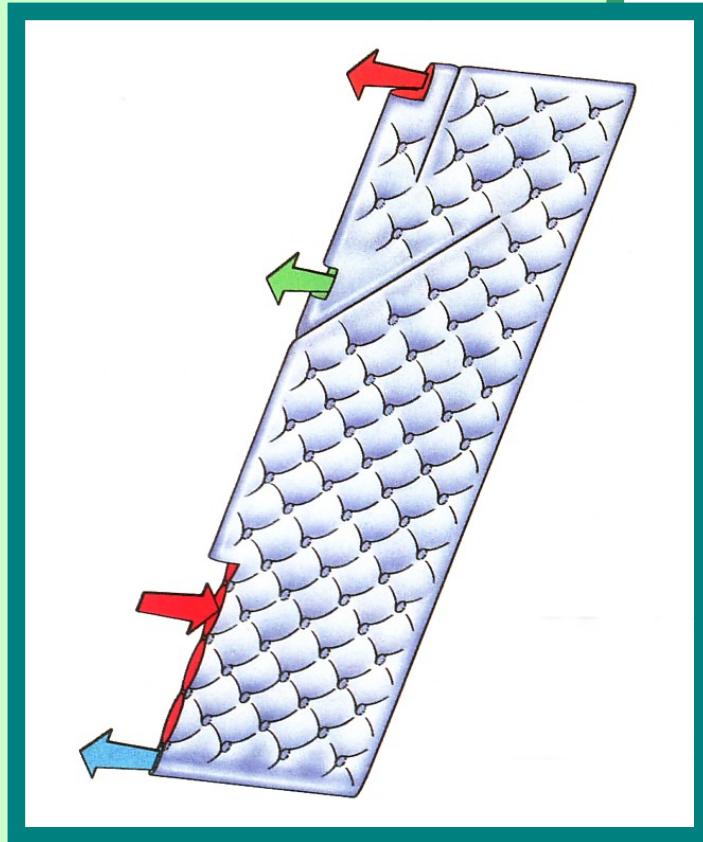


AHLSTROM

# EVAPORATOARE CU PLACI IN MANTA



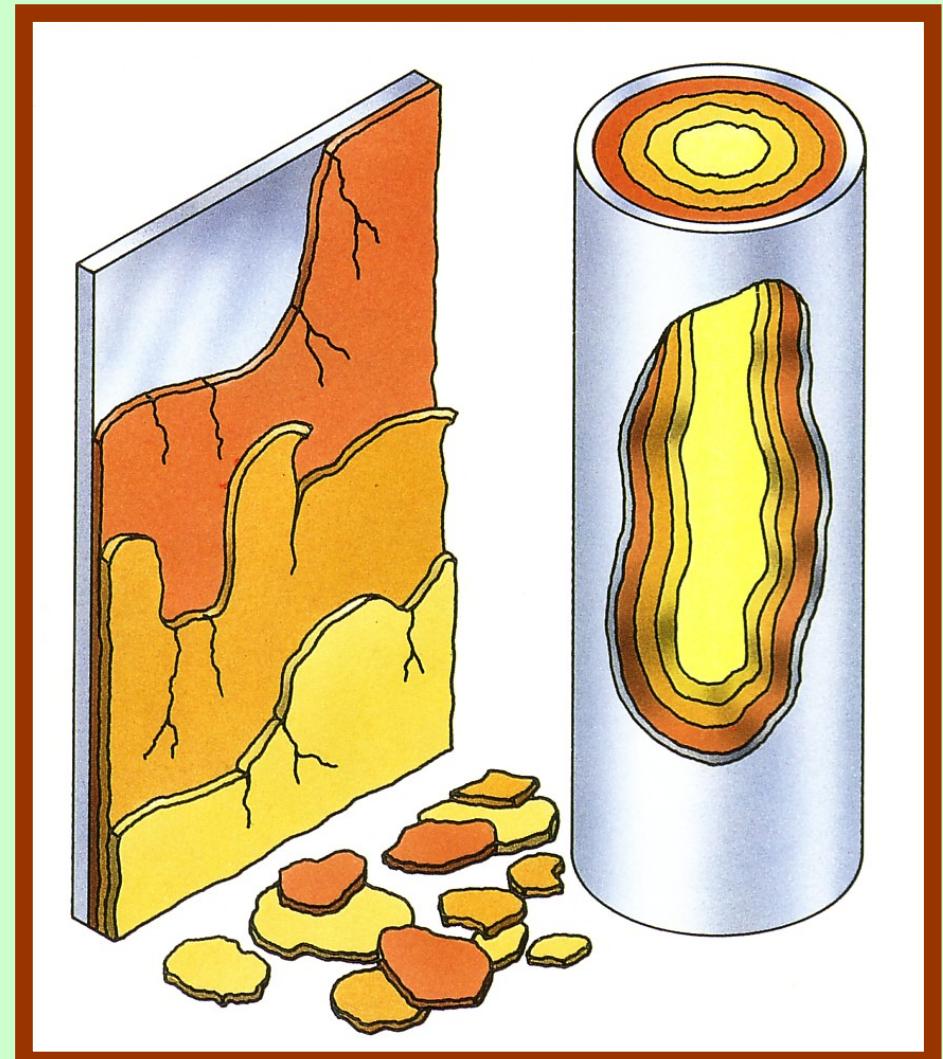
# EVAPORATOARE CU PLACI IN MANTA



AHLSTROM

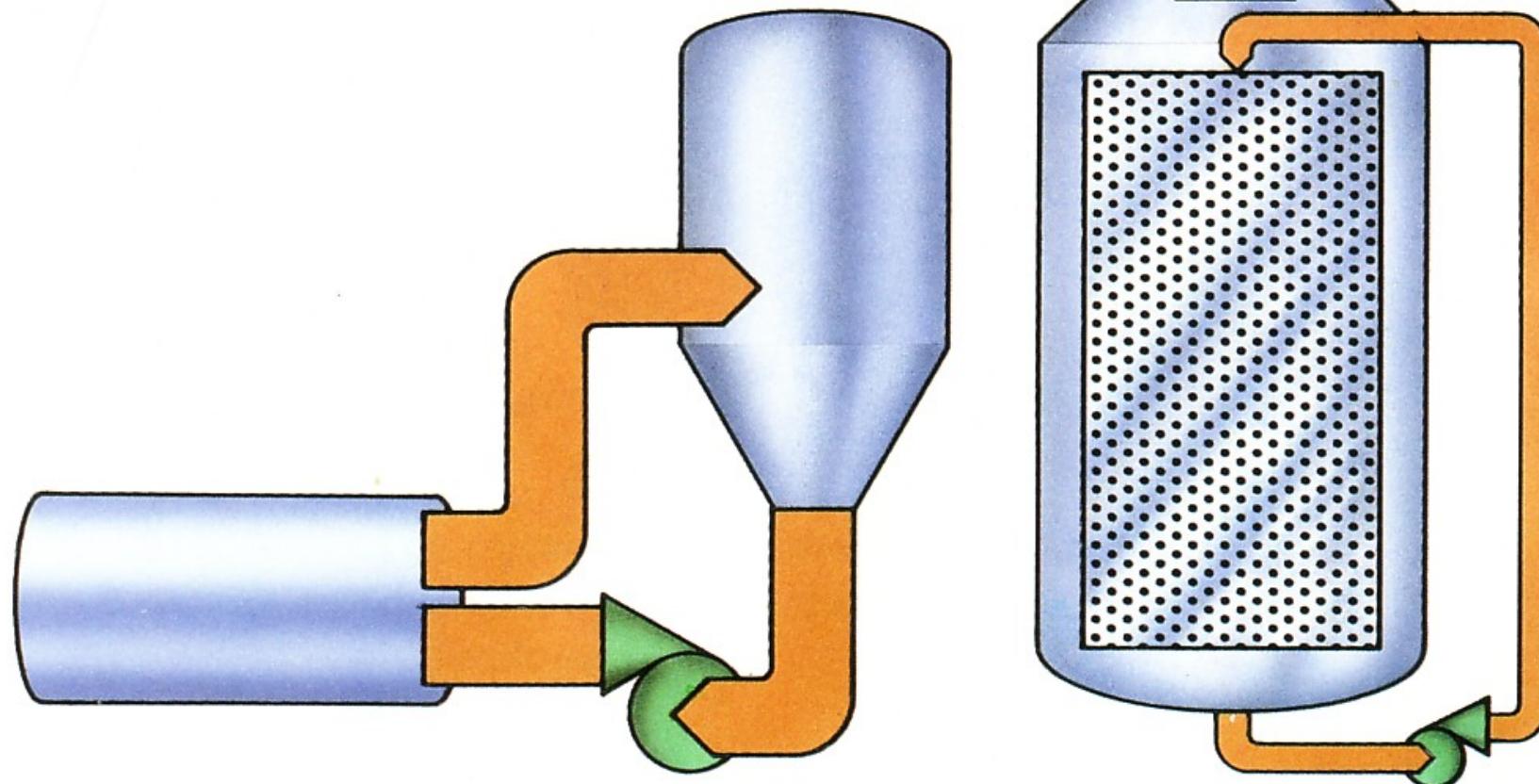
# EVAPORATOARE CU PLACI IN MANTA

AHLSTROM

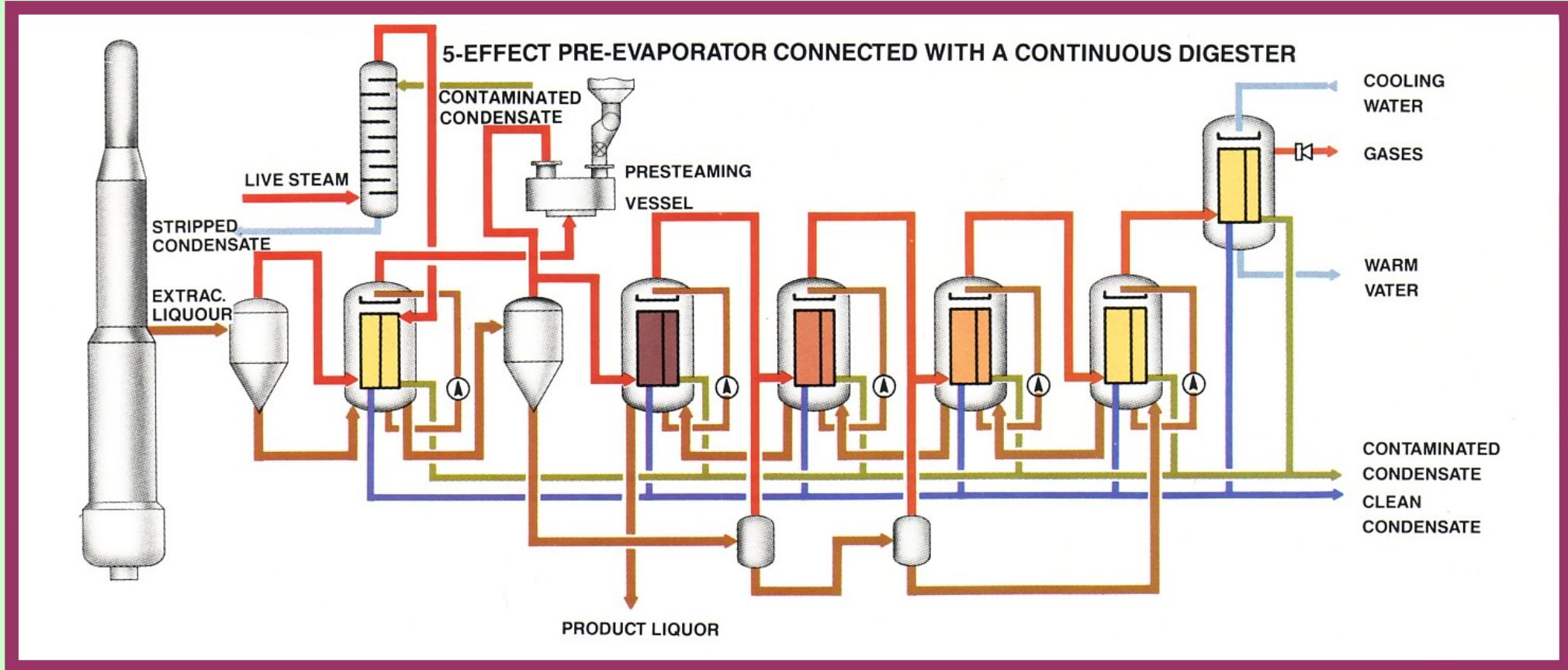


# EVAPORATOARE CU PLACI IN MANTA

AHLSTROM



# EVAPORATOARE CU PLACI IN MANTA



AHLSTROM

# EVAPORATOARE CU PLACI IN MANTA

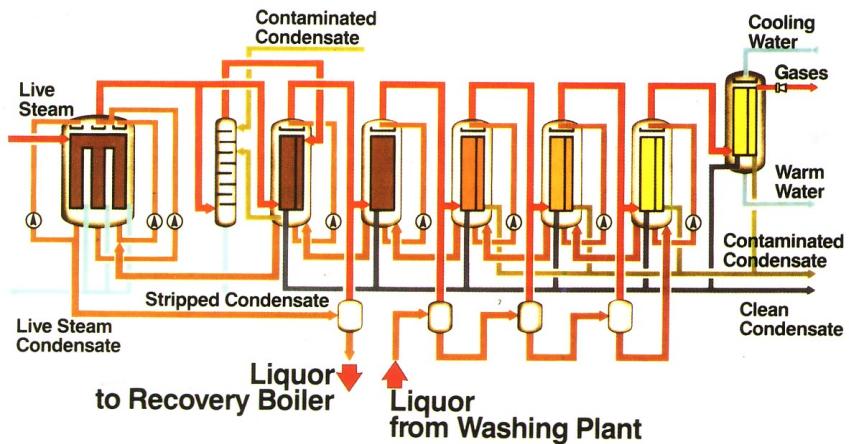


Figure 2. Evaporation plant flow sheet

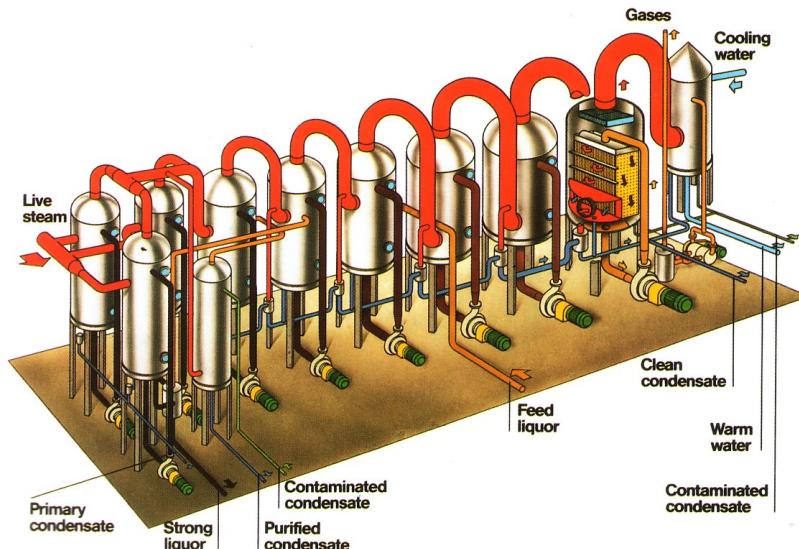
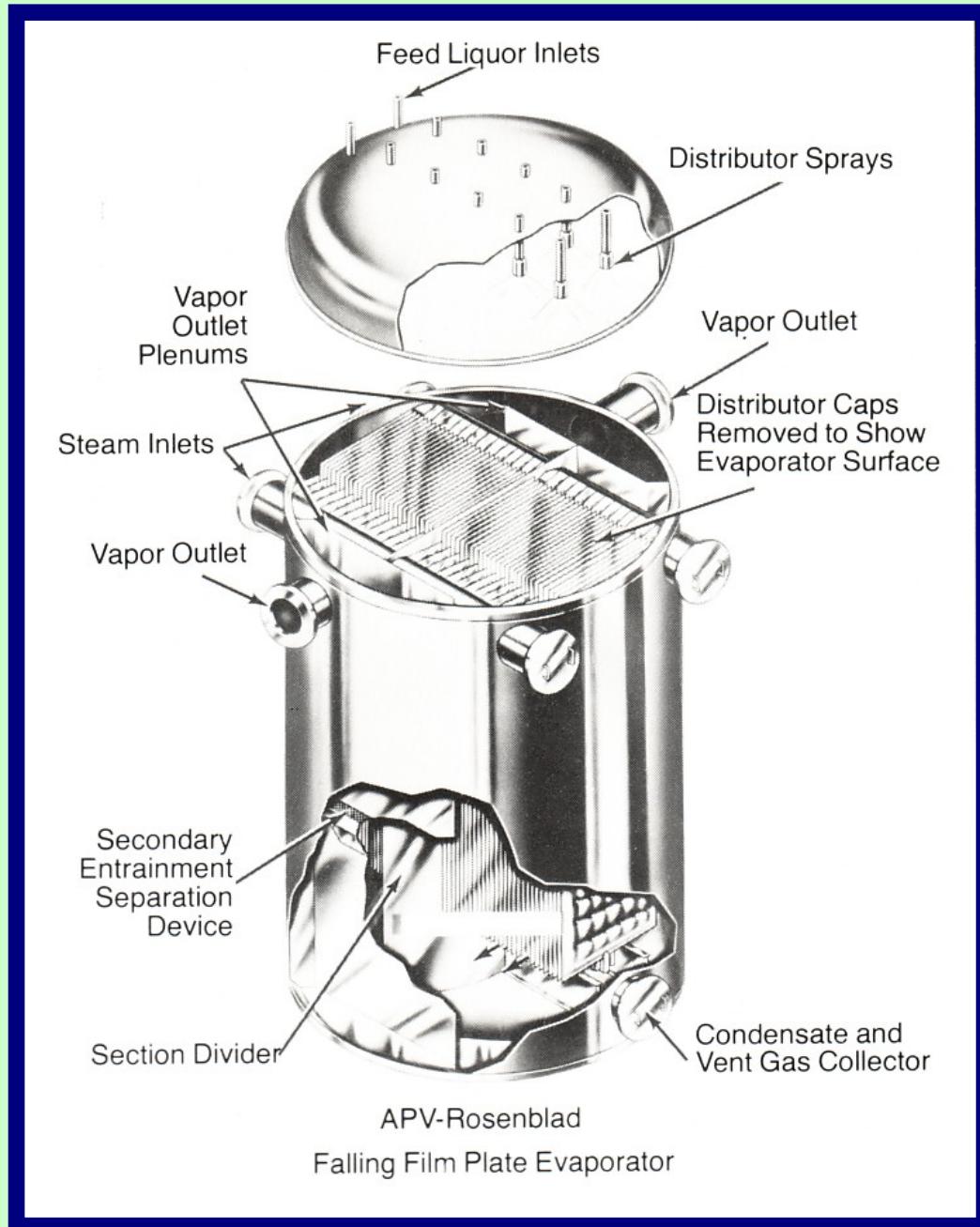


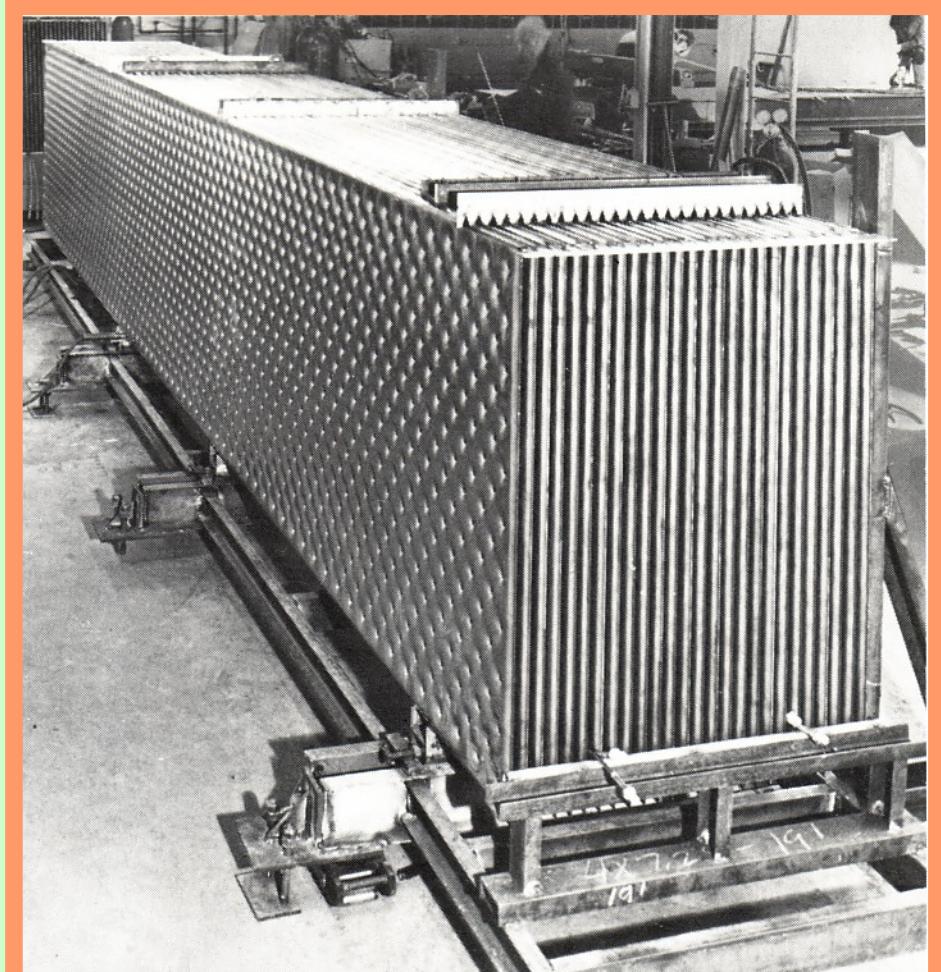
Figure 3. Evaporation plant



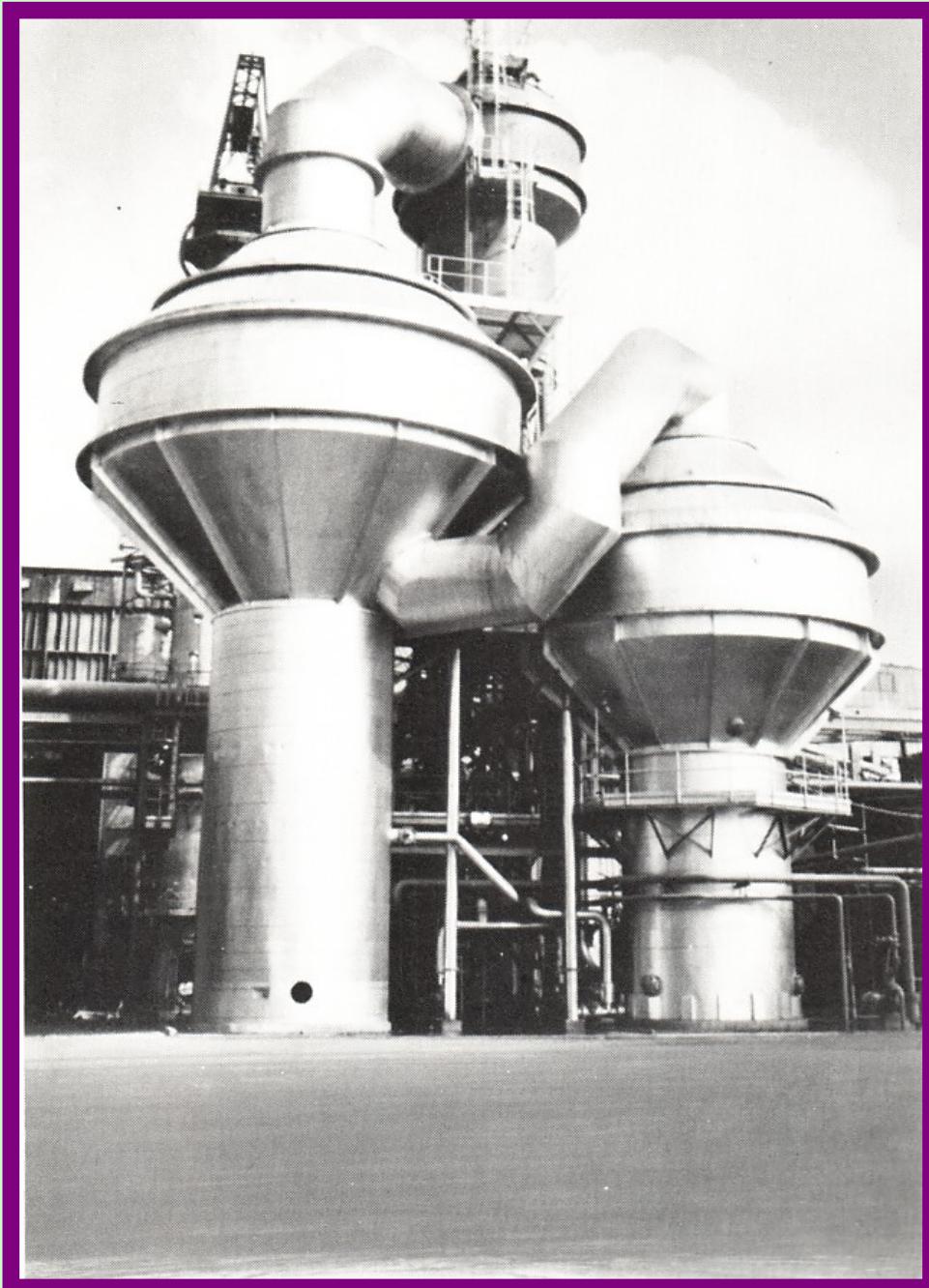
# EVAPORATOARE CU PLACI IN MANTA



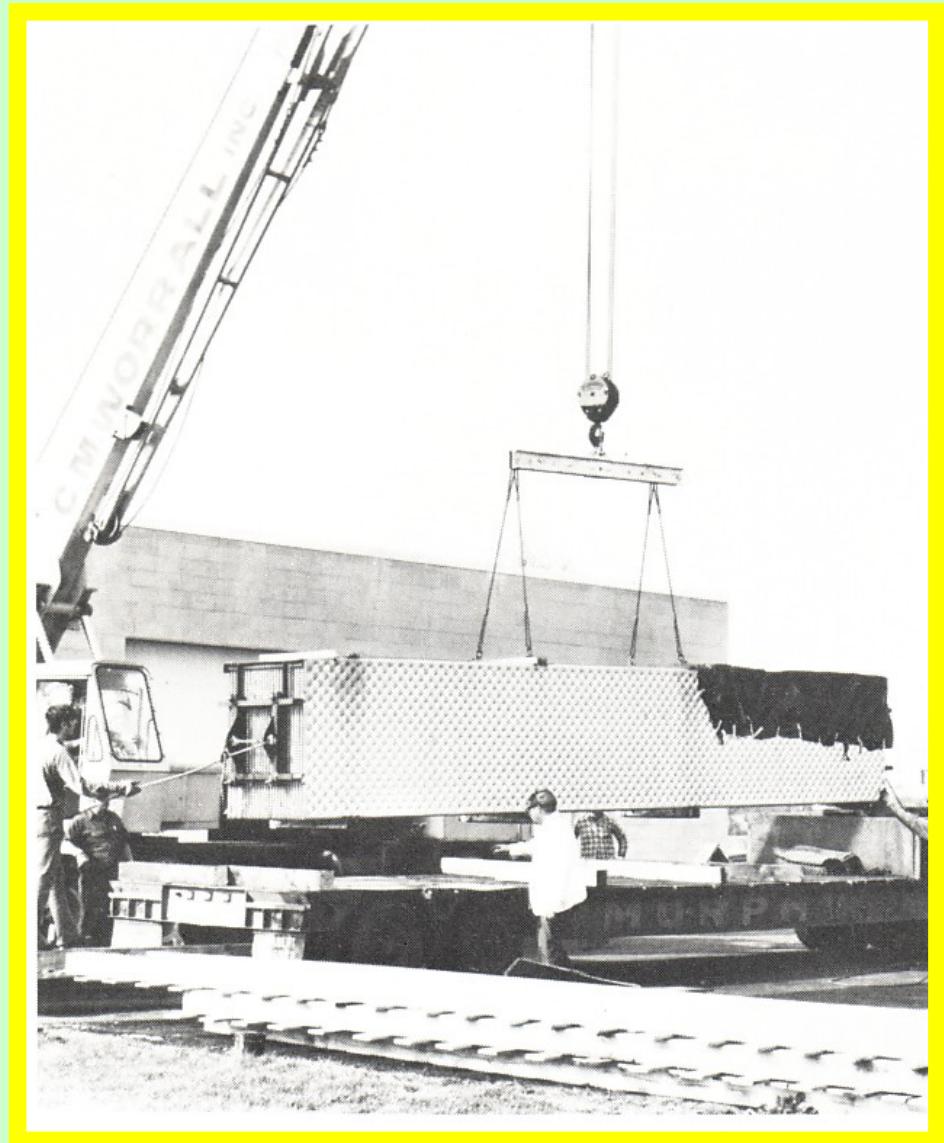
APV - ROSENBLAD



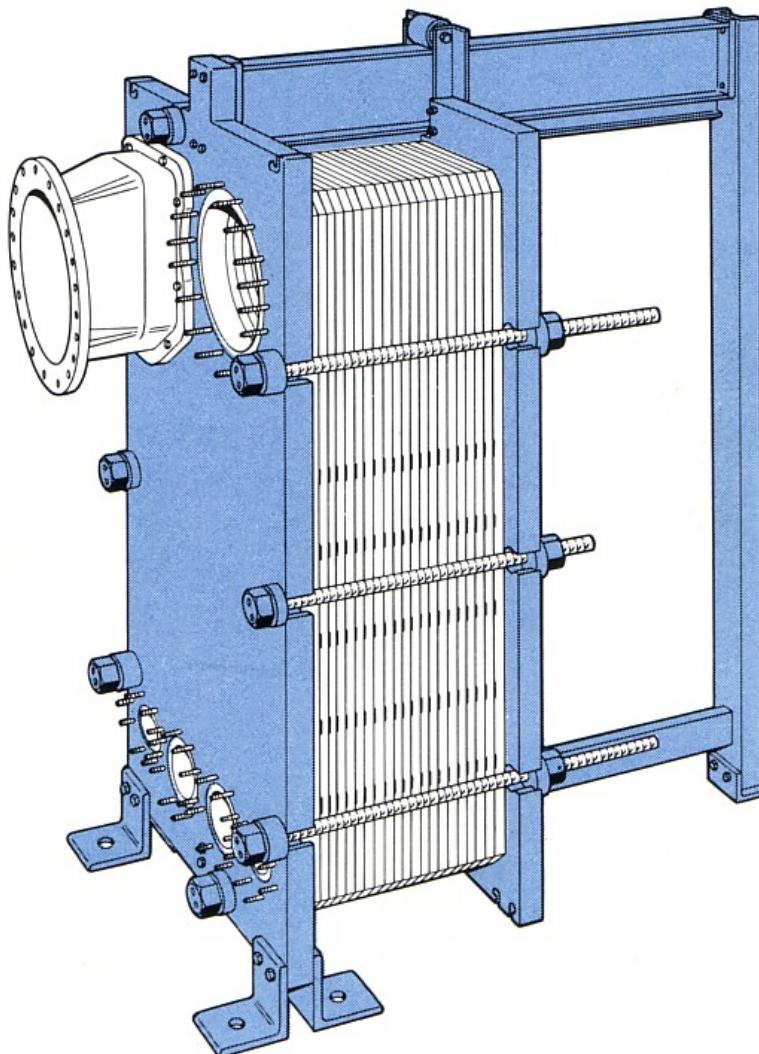
# EVAPORATOARE CU PLACI IN MANTA



APV - ROSENBLAD



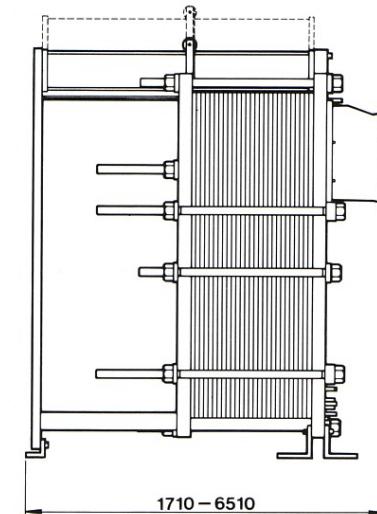
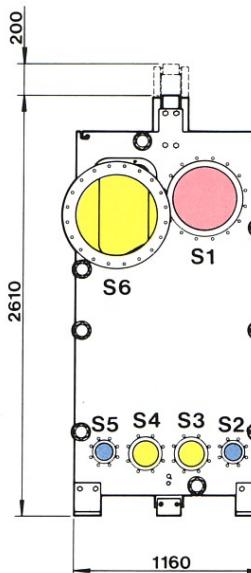
# EVAPORATOARE CU PLACI



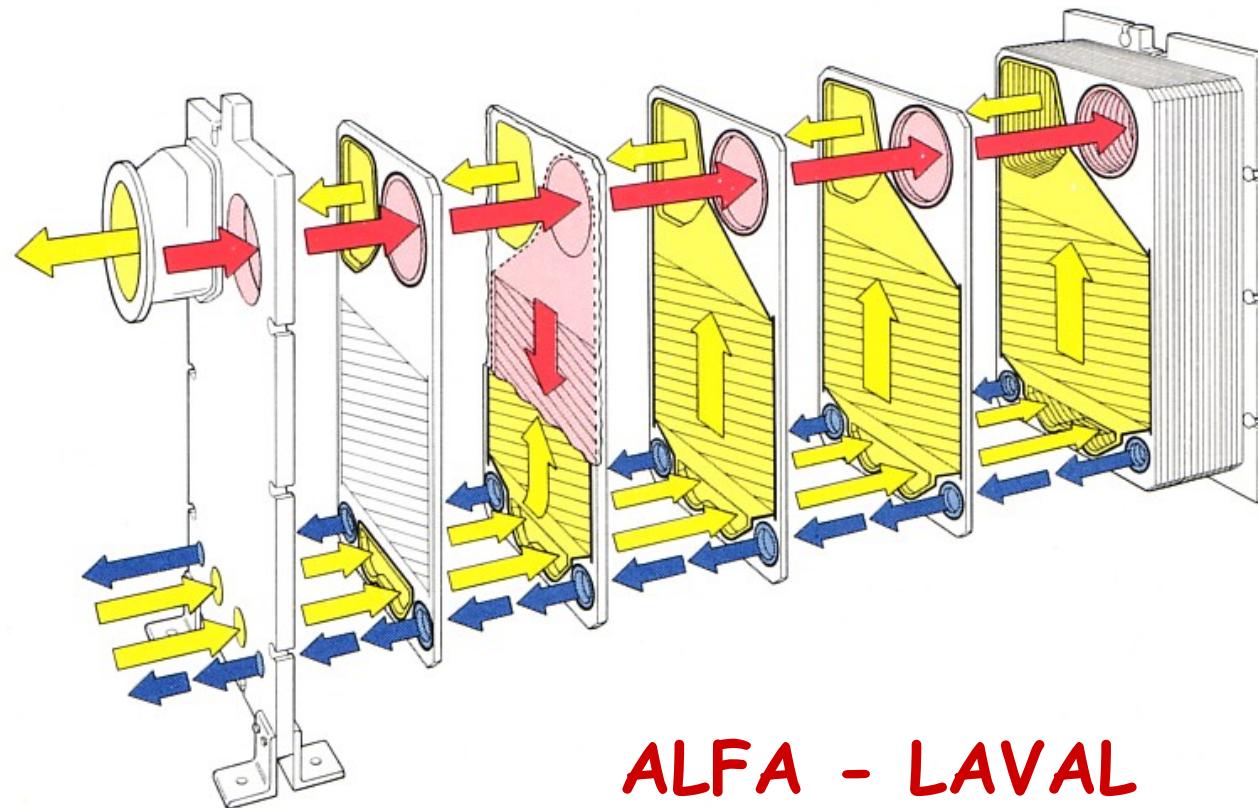
EC500-WFL

ALFA - LAVAL

S1 - intrare abur  
S2, S5 - Iesire condens  
S3, S4 - Intrare SD  
S6 - Iesire SC



# EVAPORATOARE CU PLACI

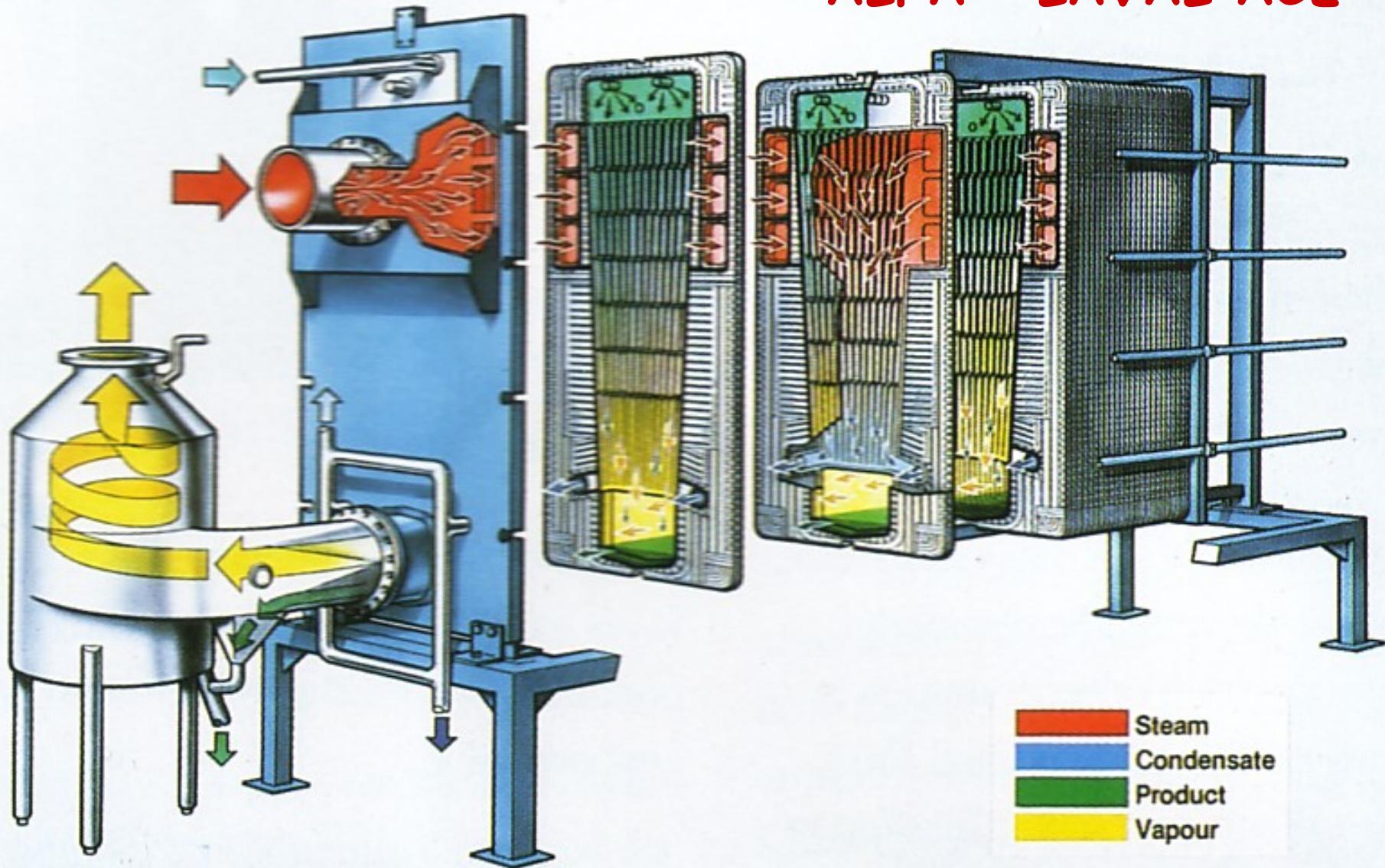


**ALFA - LAVAL**

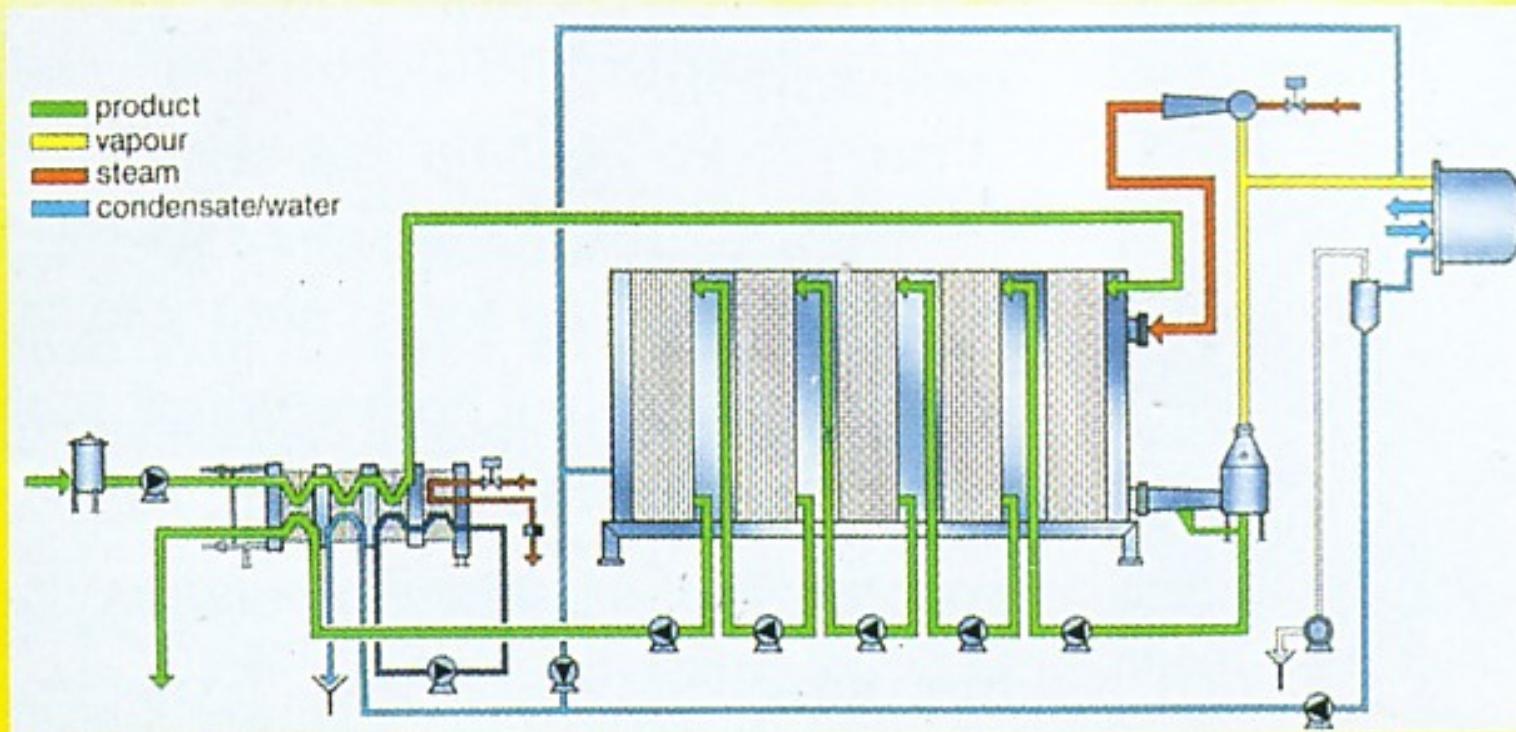
*Flow principle of an Evaporator*

# EVAPORATOARE CU PLACI

ALFA - LAVAL ACE



# EVAPORATOARE CU PLACI

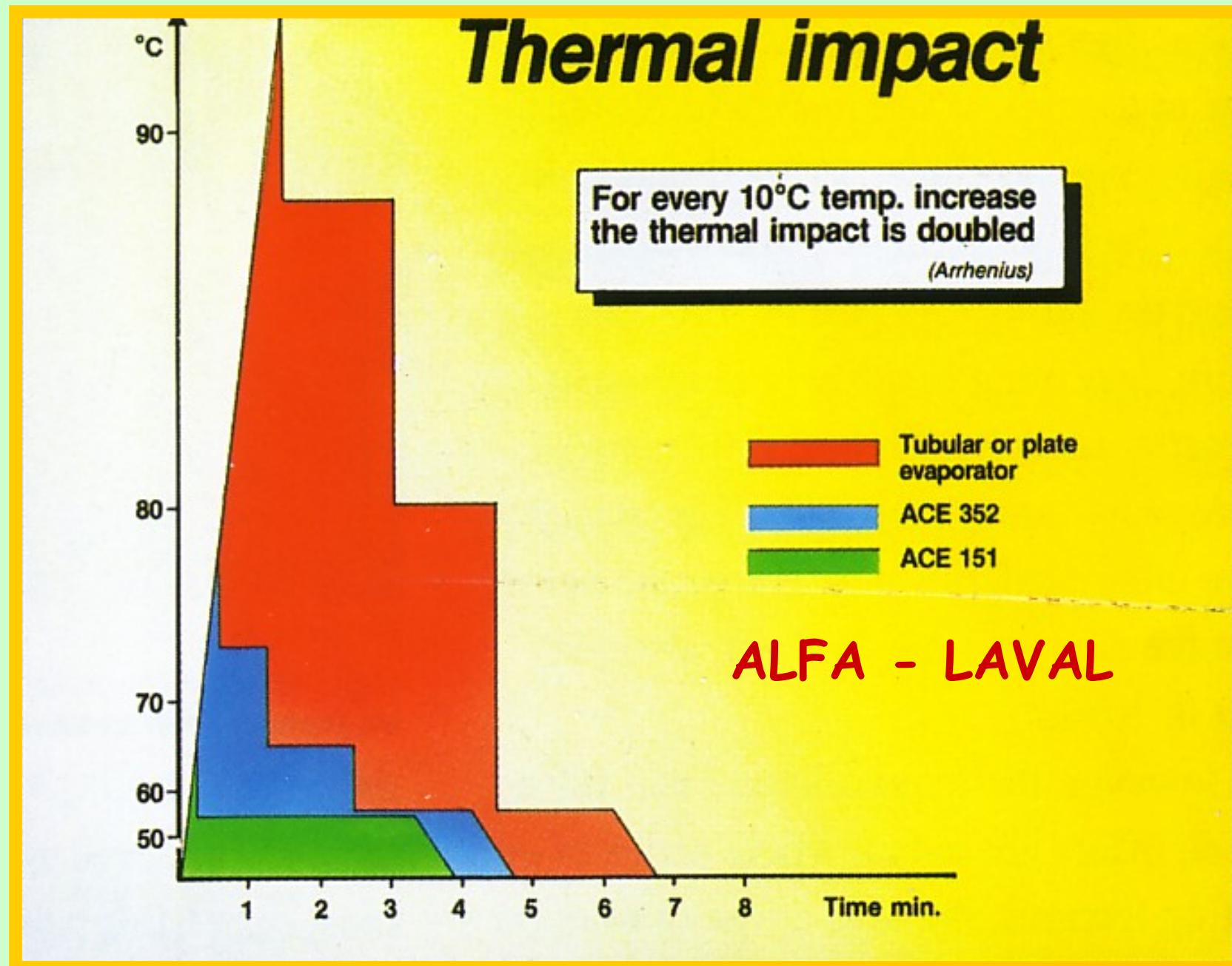


**ALFA - LAVAL ACE 151**  
**One stage multipass plant**

#### *Normal Plant Characteristics*

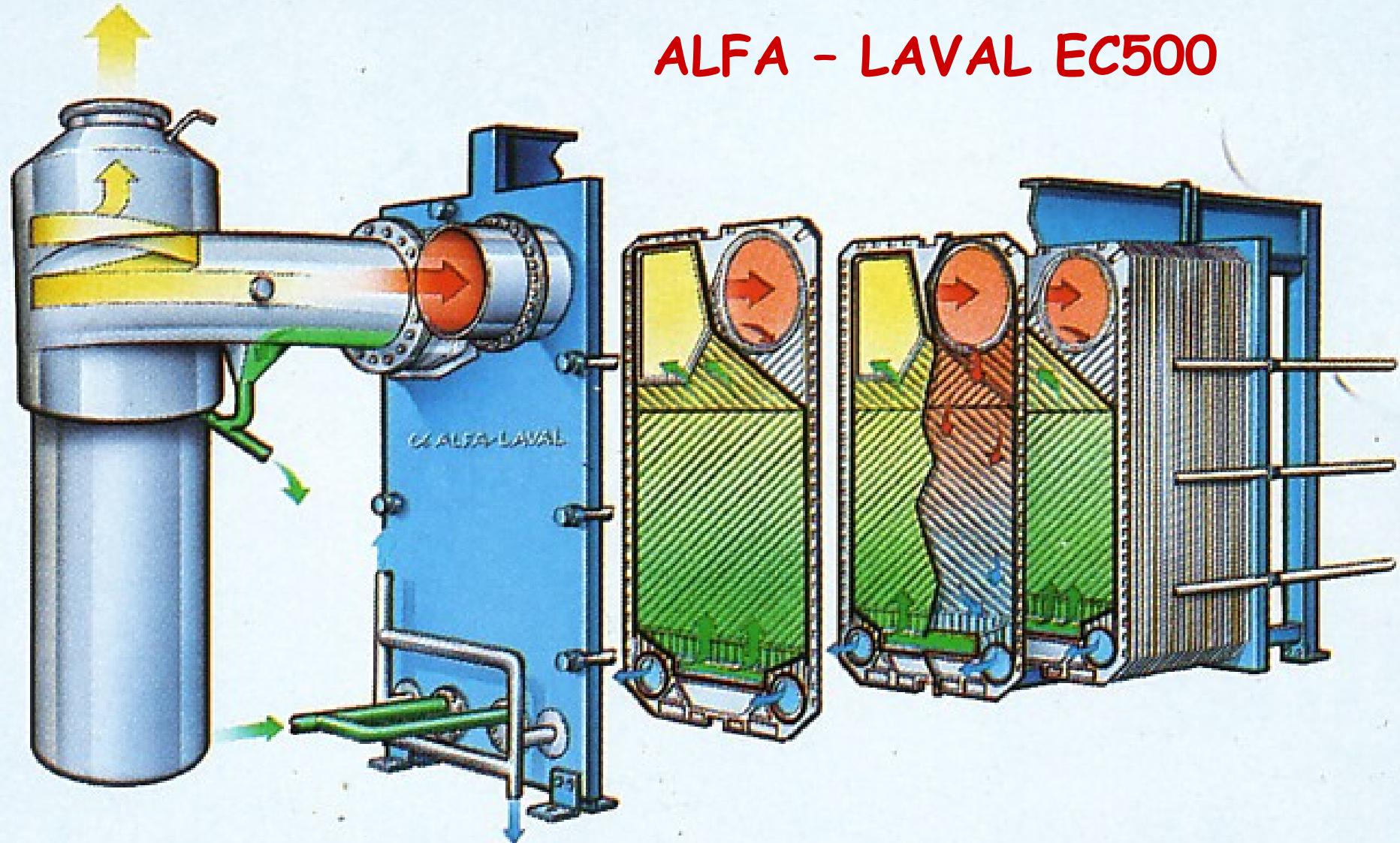
Juice feed up to 9 000 l/h  
Evaporated water up to 8 000 kg/h  
Relative steam consumption  
0.35-0.45 steam/kg evaporated water  
Concentration ratio 10-72°Bx

# EVAPORATOARE CU PLACI



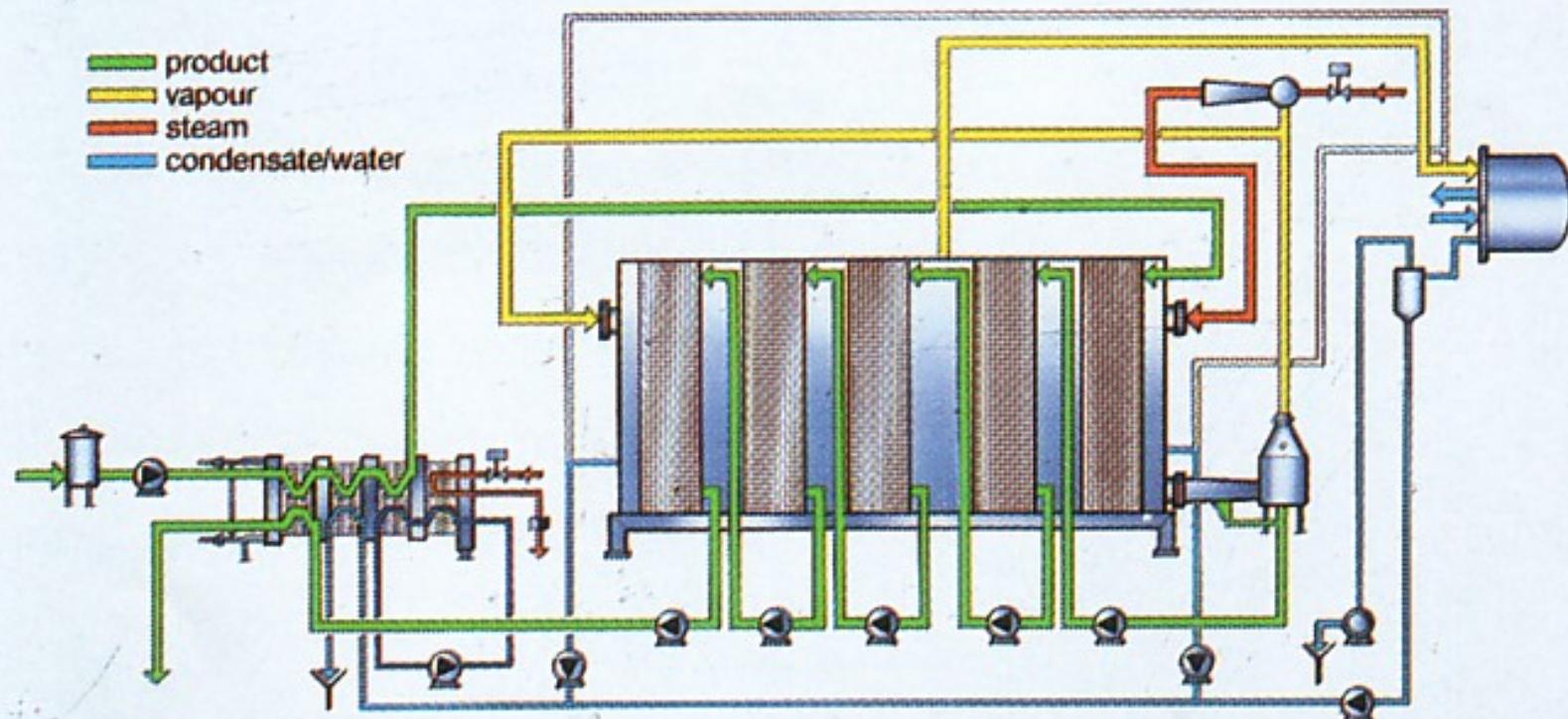
# EVAPORATOARE CU PLACI

ALFA - LAVAL EC500



# EVAPORATOARE CU PLACI

## ALFA - LAVAL ACE251 IS



### Normal Plant Characteristics

Juice feed up to 8000 l/h

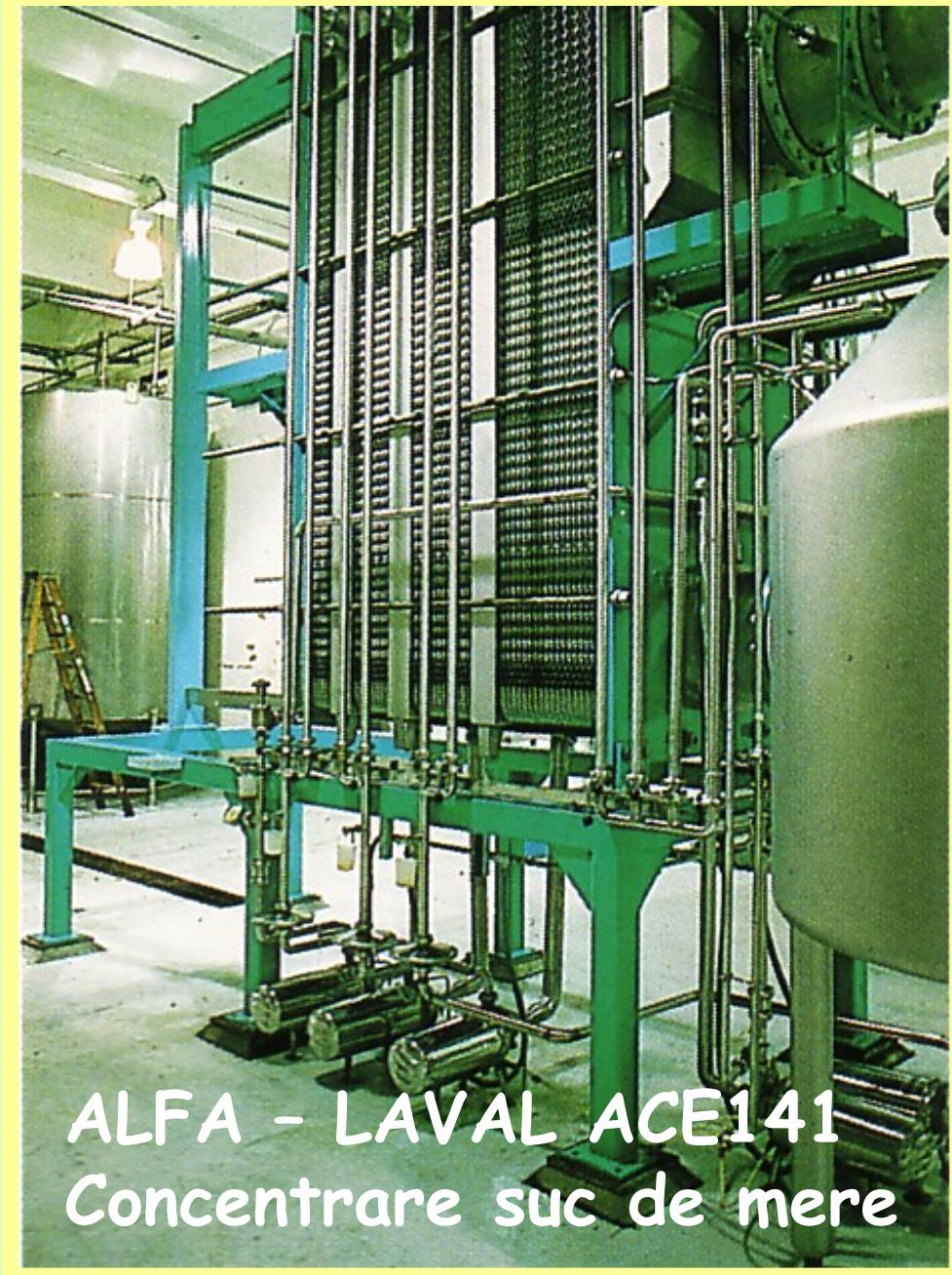
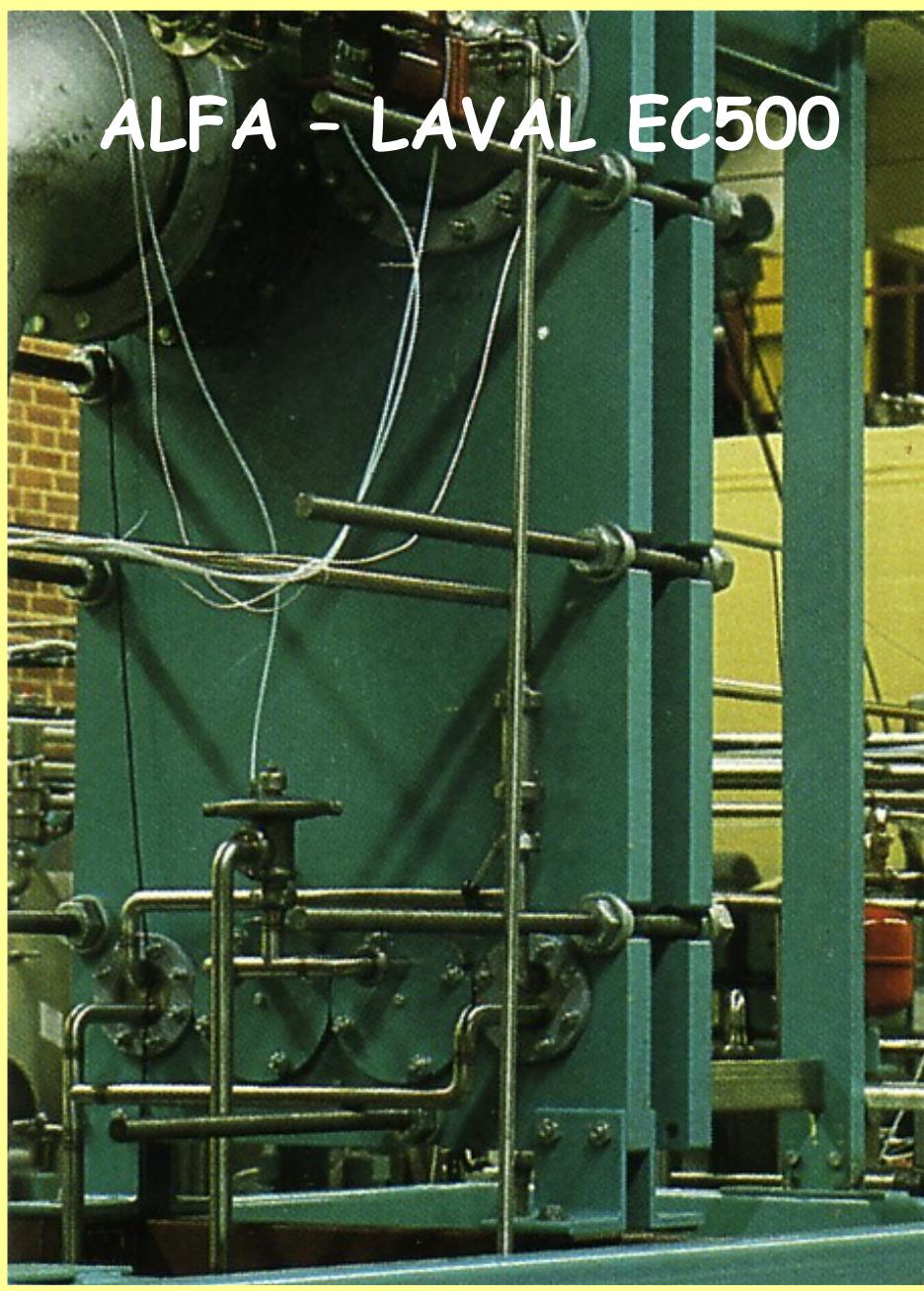
Evaporated water up to 7000 kg/h

Relative steam consumption

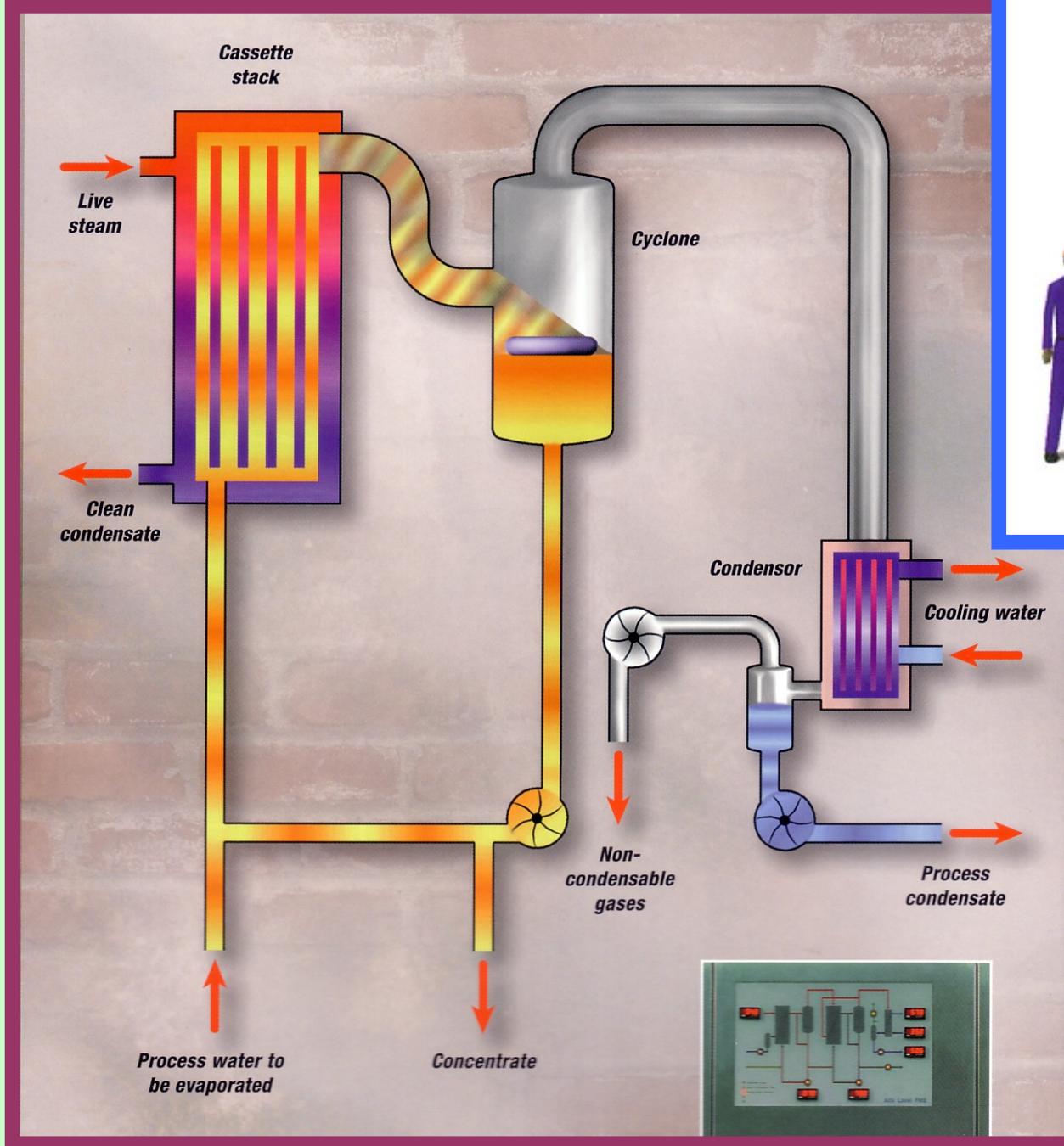
0.25-0.30 steam/kg evaporated water

Concentration ratio 10-72°Bx

# EVAPORATOARE CU PLACI



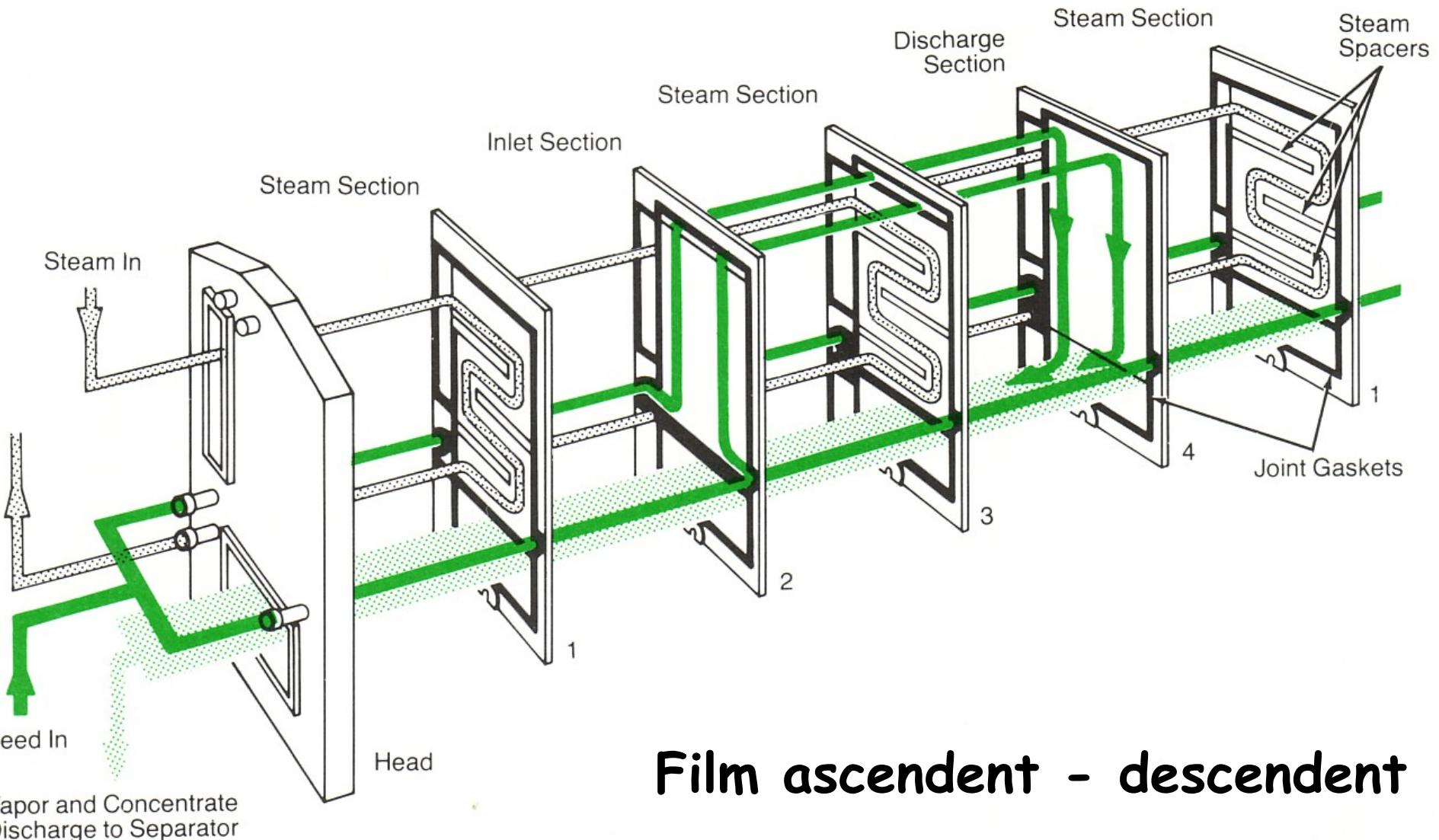
# EVAPORATOARE CU PLACI



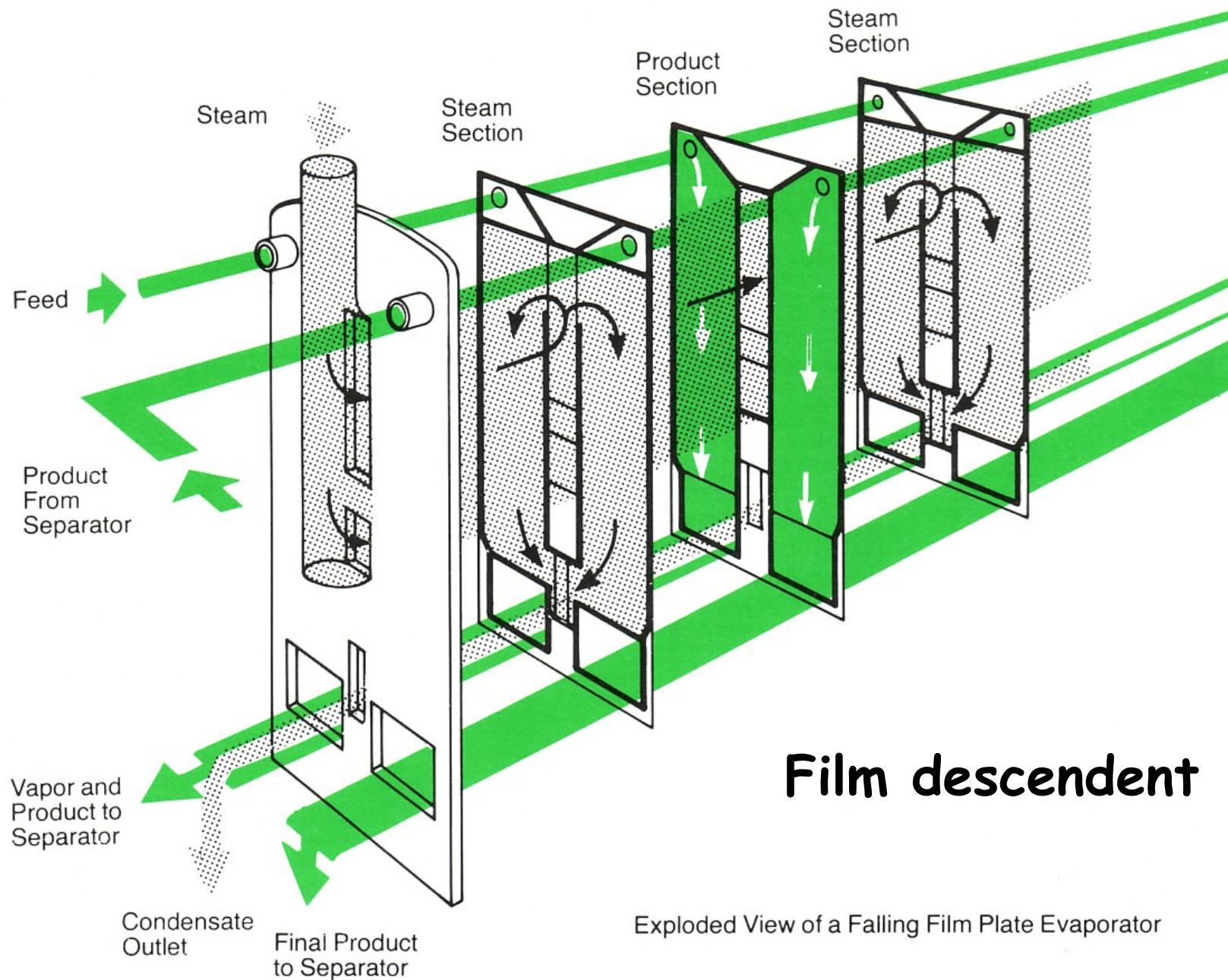
ALFA - LAVAL  
AlfaVap

Pt. fluide lipicioase  
de natura animala

# EVAPORATOARE CU PLACI



# EVAPORATOARE CU PLACI

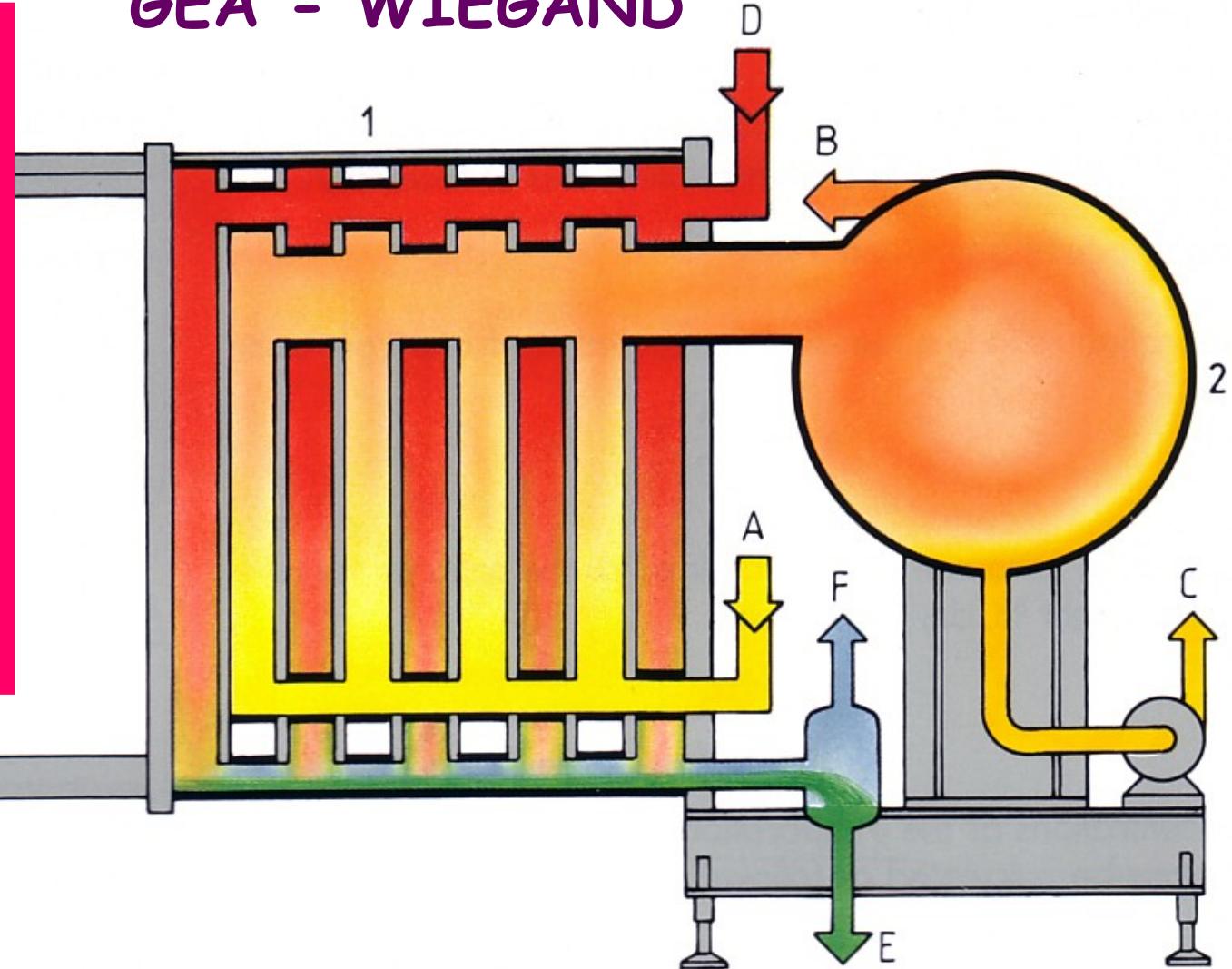


# EVAPORATOARE CU PLACI



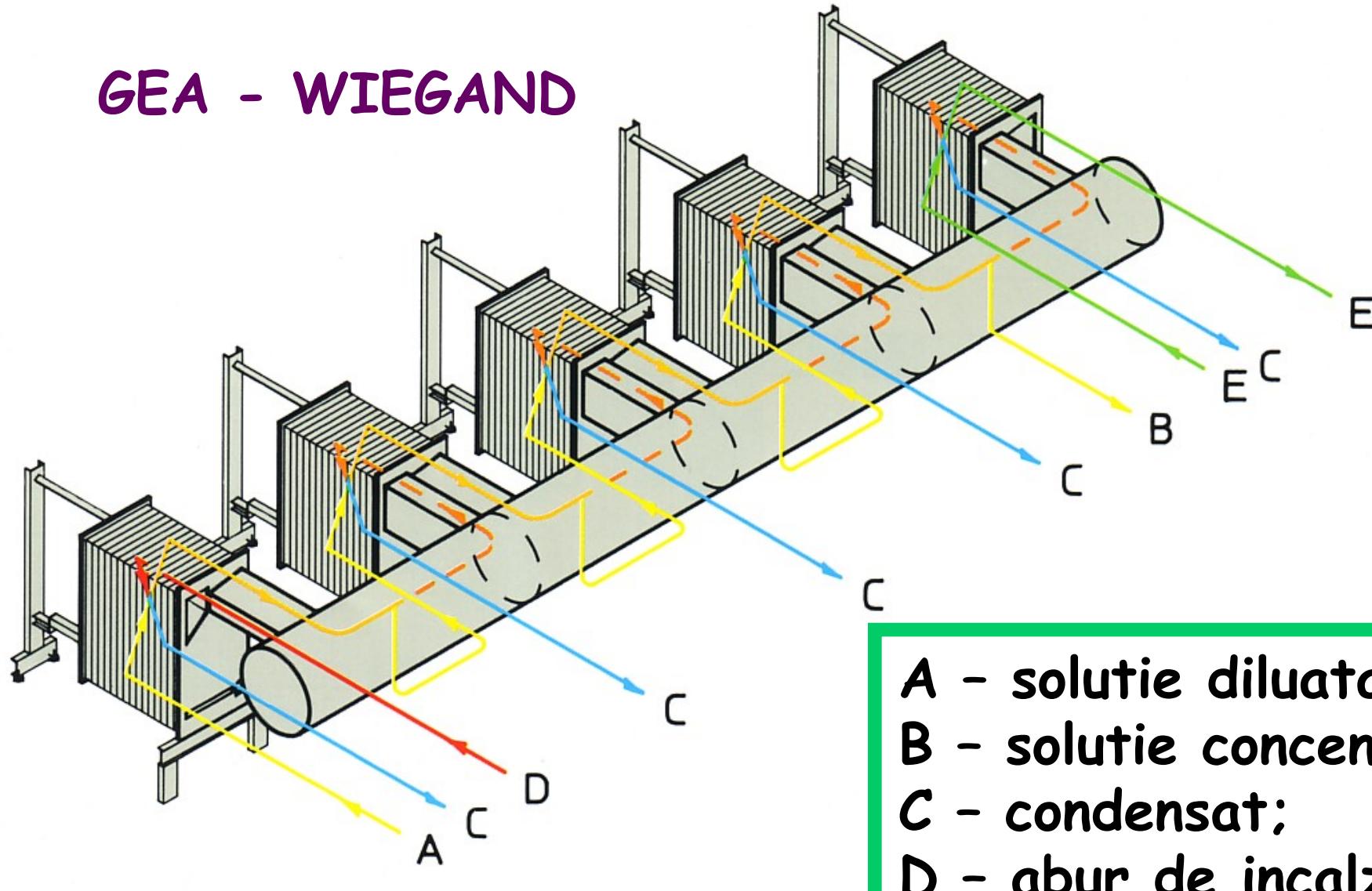
GEA - WIEGAND

A - Solutie diluata;  
B - Vapori;  
C - Solutie concentrata;  
D - Abur de incalzire;  
E - Condensat;  
1 - Evaporator;  
2 - Separator.



# EVAPORATOARE CU PLACI

GEA - WIEGAND



- A - solutie diluata;
- B - solutie concentrata;
- C - condensat;
- D - abur de incalzire;
- E - apa de racire.

# EVAPORATOARE CU PLACI

GEA - WIEGAND



GEA - WIEGAND

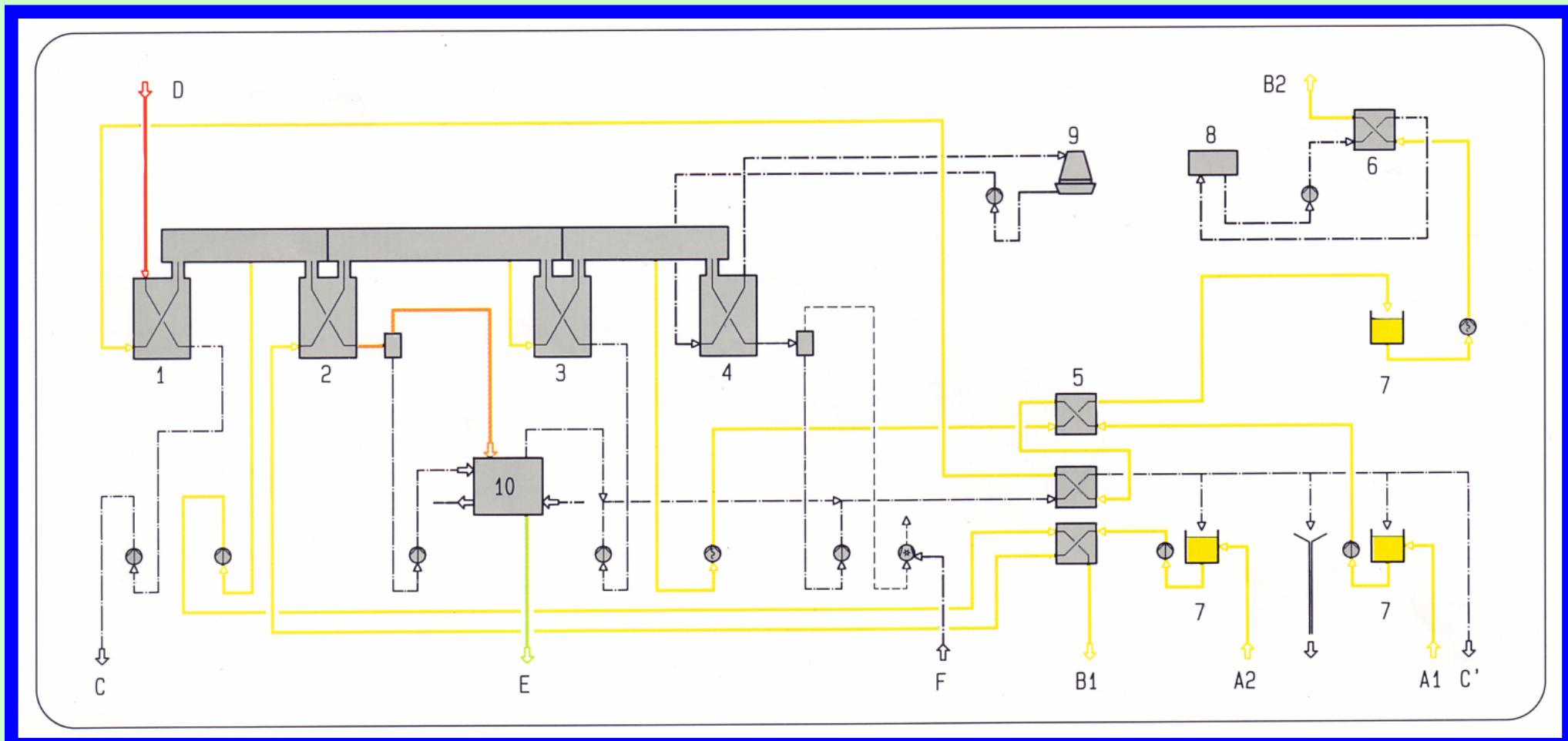
5 efecte, recuperare aroma,  
concentrare suc de mere  
cu pulpa, 13 t/h apa evaporata



# EVAPORATOARE CU PLACI

GEA - WIEGAND

1-3	Evaporators
4	Condenser
5	Product preheater
6	Concentrate cooler
7	Feed tank
8	Chiller
9	Cooling tower
10	Aroma recovery unit
A1	Pulpy juice
A2	Clear juice
B1	Stripped juice
B2	Concentrate
C	Steam condensate
C'	Vapour condensate
D	Live steam
E	Aroma concentrate
F	Water



# EVAPORATOARE CU PLACI



**Fig. 5 and 6**  
Multiple effect plate evap-  
porator with intermediate  
depectinisation, integrated  
partial aroma recovery unit,  
concentrate cooling, and  
evaporative cooling tower,  
concentrating 15,000 kg/h of  
apple juice from 11 to 72 % TS

# EVAPORATOARE CU PLACI



**Fig. 7 and 8**  
**Multiple effect plate evaporator with high concentrator for 4 different special sugars**



**GEA - WIEGAND**

**Water evaporation rate:  
16,000 kg/h**

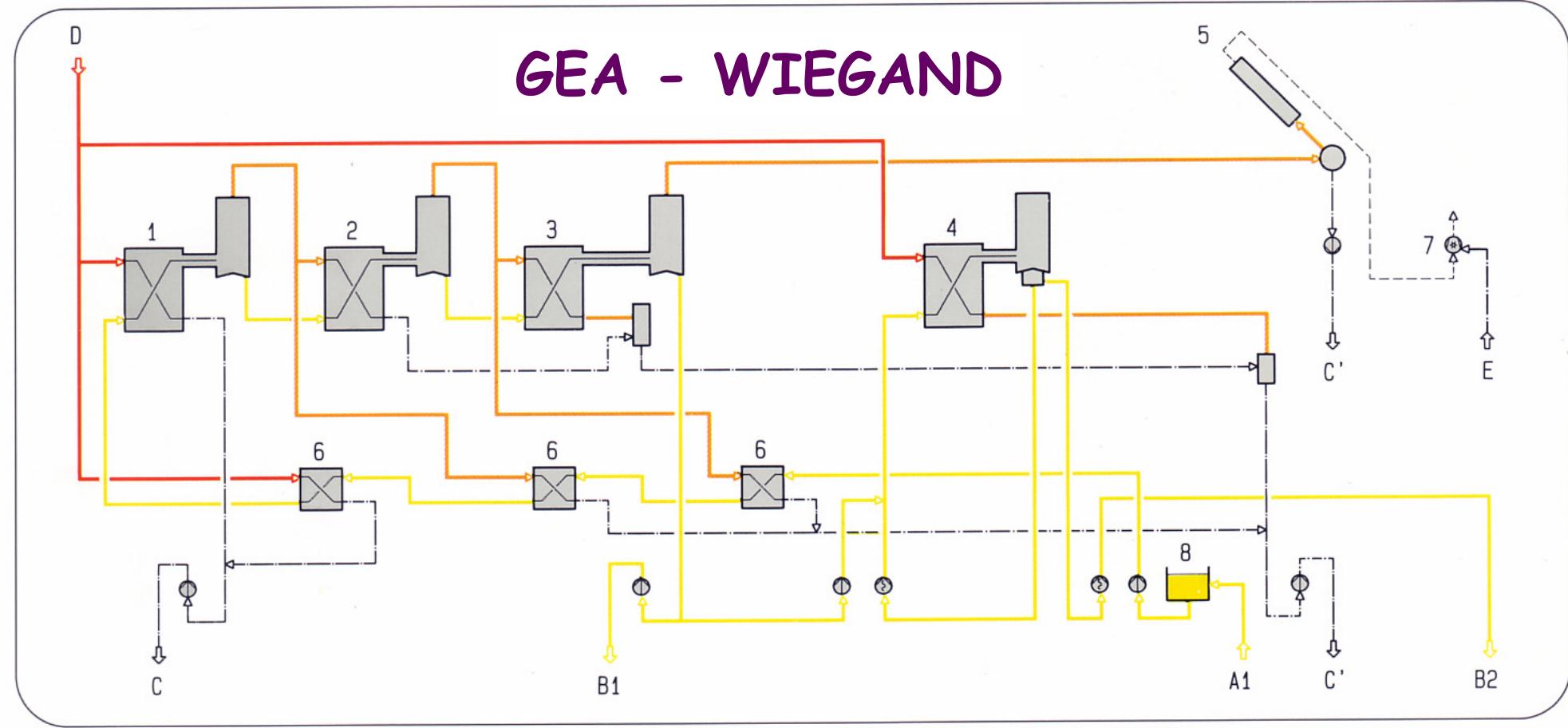
**Capacity range: 55 to 100 %  
of the evaporation rate**

**Final concentration:  
30 to 80 % TS depending on  
the product (no measurable  
colour change of the  
product)**

# EVAPORATOARE CU PLACI



## GEA - WIEGAND



1-3 Pre-evaporators  
4 High concentrator  
5 Air cooled condenser  
6 Product preheater  
7 Vacuum pump  
8 Feed tank

A1 Dilute product  
B1 Intermediate concentrate  
B2 Concentrate  
C Steam condensate  
C' Vapour condensate  
D Live steam

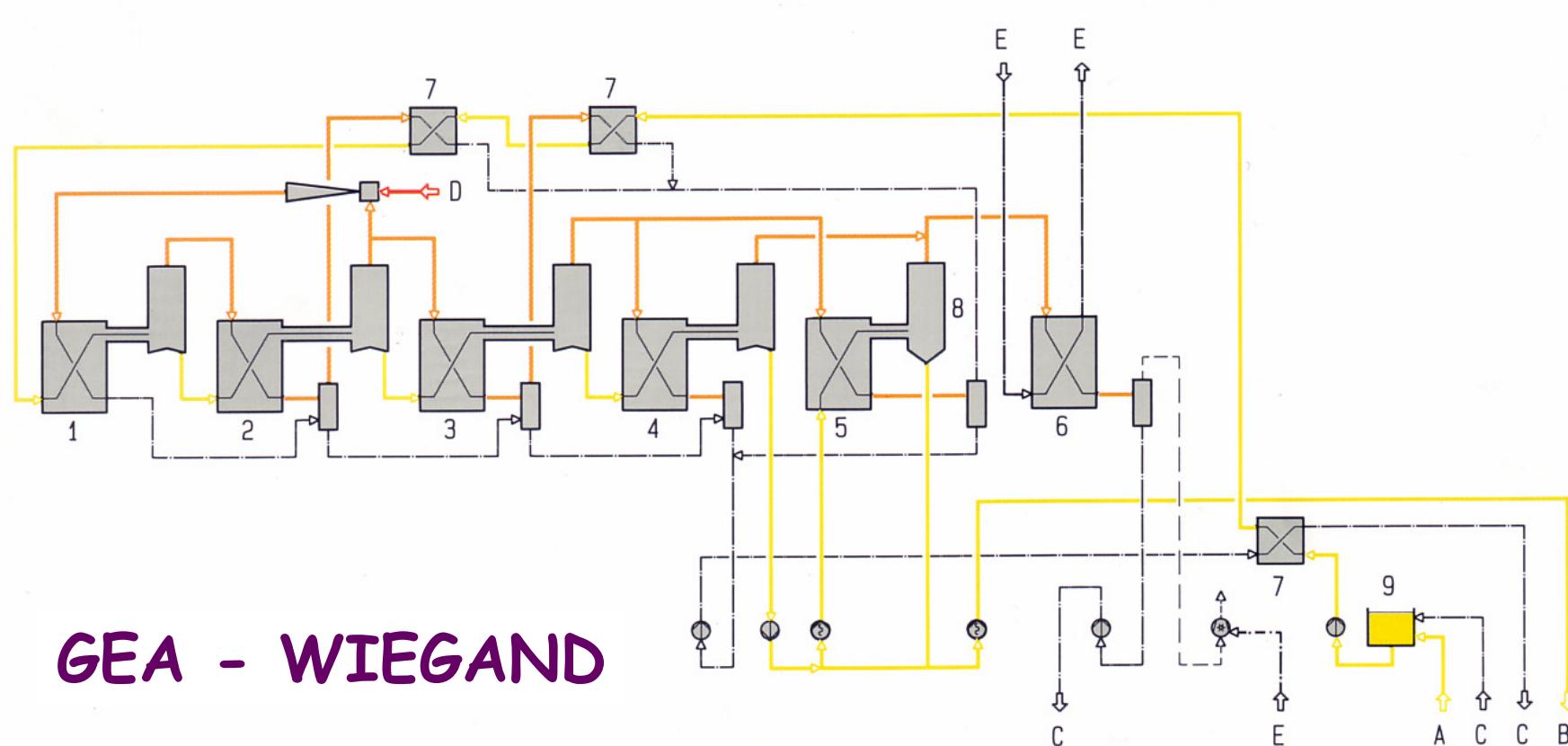
# EVAPORATOARE CU PLACI



**Multiple effect plate evaporator for high grade gelatine from 4 to 30 % TS max.  
Water evaporation rate:  
7,500 kg/h**

**GEA - WIEGAND**

# EVAPORATOARE CU PLACI



GEA - WIEGAND

1-4 Pre-evaporators  
5 High concentrator  
6 Plate condenser  
7 Product preheater

8 Flash vessel  
9 Feed tank

A Product  
B Concentrate  
C Vapour condensate  
D Live steam  
E Cooling water

# EVAPORATOARE CU PLACI

- o Instalatie pilot
- o 3 efecte
- o Diferite produse
- o 3t apa evap./h
- o Operare in vid si la presiuni pana la 0,3 MPa.



# EVAPORATOARE CU PLACI

- o Instalație compactă;
- o 2 efecte;
- o Hidrolizate proteice;
- o Condensator cu placi;
- o 1,5 t apa evap./h



# EVAPORATOARE CENTRIFUGALE

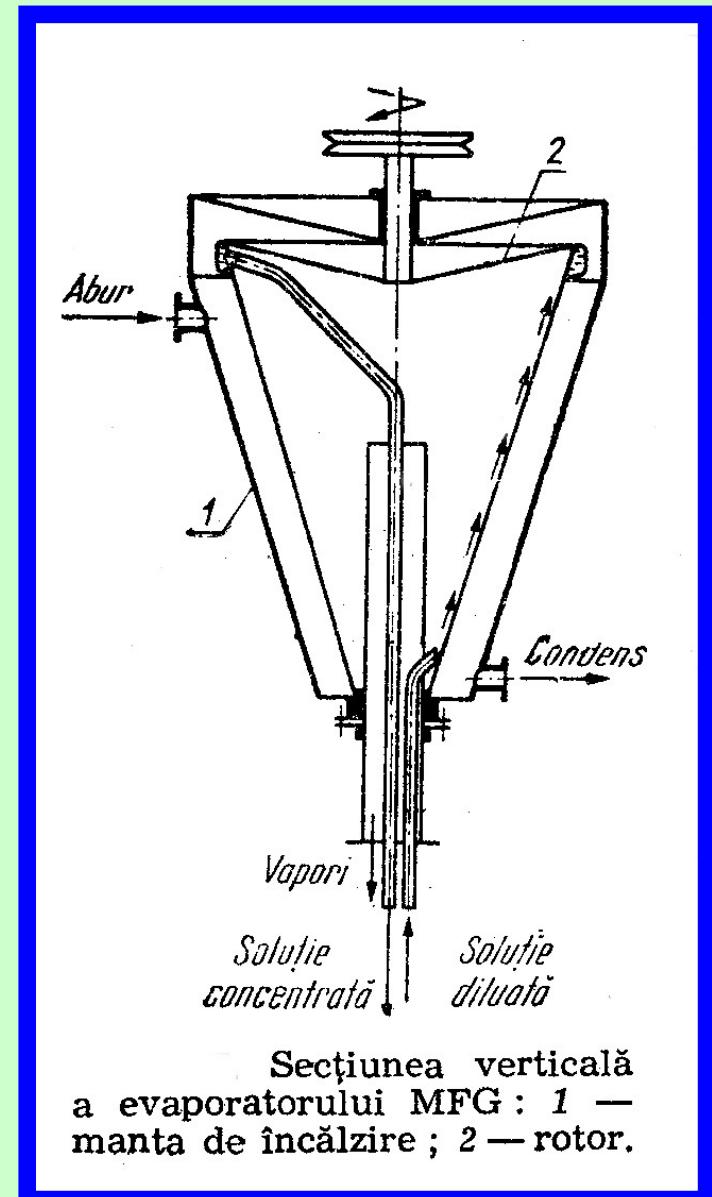


- o Folosesc forta centrifuga pentru a forma pelicula de lichid care este supus evaporarii pe un tambur rotativ;
- o Se asigura un transfer termic foarte bun, in special in lichide cu viscozitate ridicata;
- o au avantajul obtinerii cu usurinta a stratului subtire, chiar in cazul lichidelor foarte viscoase;

# EVAPORATOARE CENTRIFUGALE

## EVAPORATORUL MFG

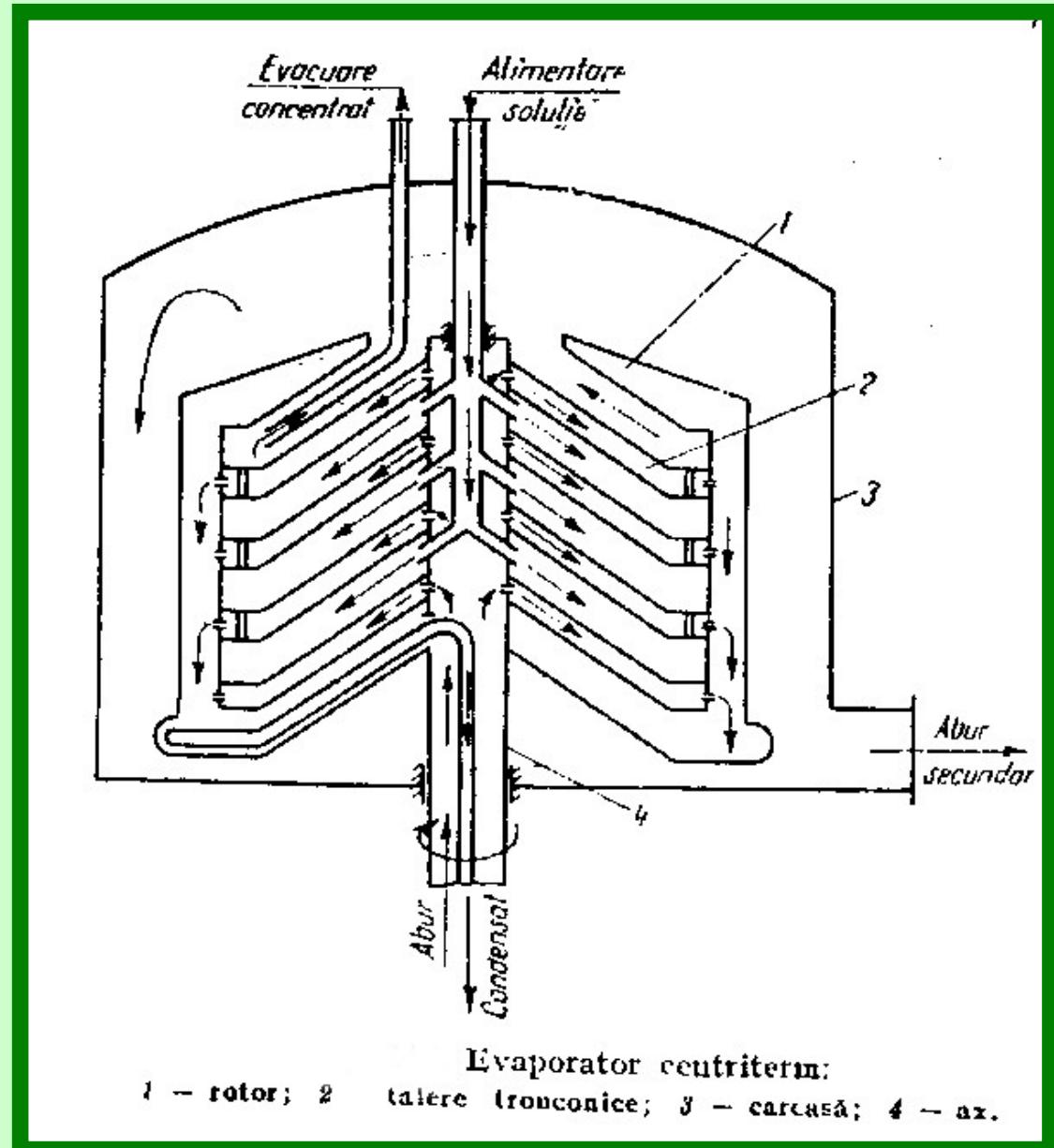
- Sub actiunea  $F_C$  solutia diluata urca pe suprafata rotorului conic;
- Solutia conc. acumulata la partea superioara este evacuata printr-un colector:
  - Suprafata de incalzire: 2 mp;
  - Turatia rotorului: 720 rpm;
  - Unghiul de inclinare al conului: 18 - 90°;
  - Grosimea filmului: 0,01 - 0,2 mm;
  - Durata de stationare: max. 3 sec.
- **APLICATII:** concentrarea solutiilor termosensibile.



# EVAPORATOARE CENTRIFUGALE

## Evaportorul CENTRI-THERM (Alfa-Laval)

- o Supraf. de incalzire - set de conuri (6-9) cu pereti dubli;
- o Prin interiorul conurilor circula AP si C este evacuat centrifugal;
- o SD este alimentata pe fiecare con
- o SC urca de la periferia conurilor;



# EVAPORATOARE CENTRIFUGALE

## Evaportorul CENTRI-THERM (Alfa-Laval)

- o Productivitate maxima: 800 - 2500 kg apa evap./ora;
- o Consum abur: 1,1 - 1,2 kg/kg apa evap.;
- o Conc. maxima: 85% SU la o singura trecere;
- o Coeficient de transfer: 8120 W/(mp x K);
- o Temp. de vaporizare: 50 °C.

## AVANTAJE:

- o Constructie compacta
- o Curatire usoara
- o Siguranta in functionare

## APLICATII:

- o Butanol si alti alcooli
- o Gelatina
- o Uleiuri
- o Antibiotice
- o Insulina
- o Proteine
- o Solutii de vitamine

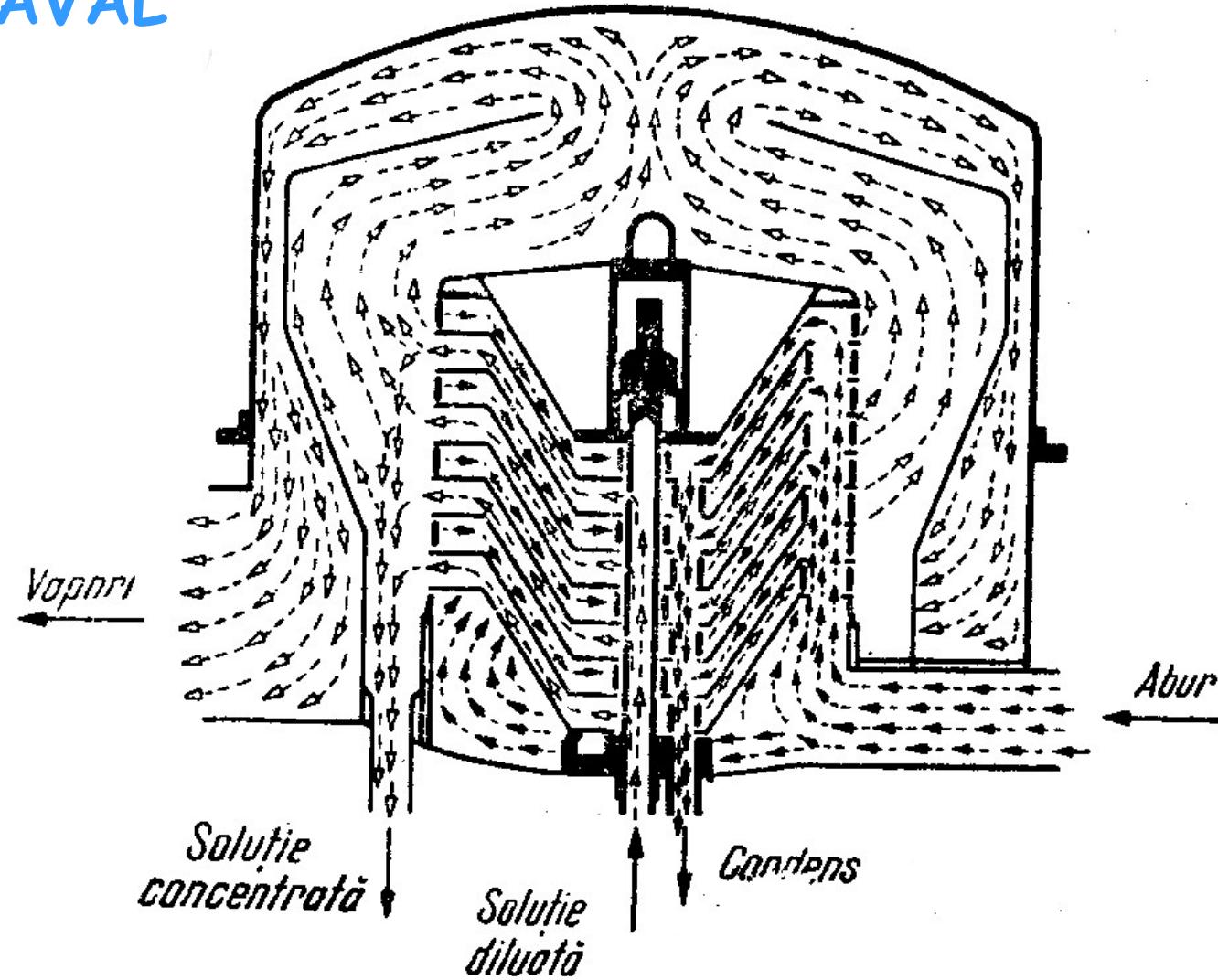
# EVAPORATOARE CENTRIFUGALE

## EXPANDING FLOW ALFA - LAVAL

- o Supraf. de incalzire: set de conuri fixate central separate intre ele prin garnituri de etansare;
- o In spatiul dintre conuri garniturile creeaza canale pentru solutie si pentru agentul termic;
- o AP trece de la periferie spre centrul conurilor, iar cond. se evacueaza la partea inf.;
- o SD intra pe la partea inf. Curgand din centru spre periferie;
- o SC se colecteaza pe fundul mantalei interioare, iar AS trece in mantaua exterioara.

# EVAPORATOARE CENTRIFUGALE

## EXPANDING FLOW ALFA - LAVAL



# EVAPORATOARE CENTRIFUGALE

## EXPANDING FLOW ALFA - LAVAL

- o Debit evap.: max. 7000 kg/h;
- o Visc. max. produs: 400 cP;
- o Durata de contact: 10 - 12 sec.;
- o Consum abur: 0,65 kg/kg apa evap.;
- o Grosimea filmului: 2 - 3 mm;
- o Coeficient total de transfer: 3500 - 4500 W/(mp x K)

### AVANTAJE:

- o Adaptarea capacității aparatului la cerințele procesului;
- o Costuri de instalare reduse;
- o Exploatare facilă;

### APLICATII:

- o Lapte smantanit 60% SU;
- o Sucuri de fructe;
- o Dextran;
- o Aminoacizi;
- o Zahar.

# **EVAPORATOARE CU GENERARE MECANICA A FILMULUI**

- o Evaporatoare cu film subtire agitat;
  - o Evaporatoare cu suprafata raclata;
- 
- Formarea filmului se realizeaza prin intermediul unui dispozitiv mecanic (uzual ax cu raclete)
  - Principiul constructiv si functional este identic cu acela al **SCHIMBATOARELOR DE CALDURA CU SUPRAFATA RACLATA**