

# USCAREA



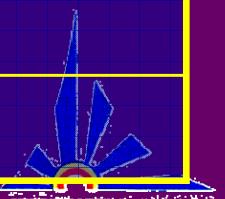
# USCAREA

- o Materialele naturale si produsele fabricate contin proportii variabile de umiditate:
  - Din contactul cu apa lichida;
  - Din contactul cu vaporii din atmosfera;
  - Rezultata in urma unor reactii.
- o Reducerea sau indepartarea - parțiala sau totală a apei este necesara din rătăciuni de:
  - Prelucrare;
  - Depozitare;
  - Transport;
  - Conservare;
  - Conveniente de utilizare.



# OPERATII PENTRU INDEPARTAREA APEI

Clasificarea operatiilor	Starea fizica initiala a materirei prime		
	SOLIDA	LICHIDA	GAZOASA
MECANICE		SEDIMENTARE	
		CENTRIFUGARE	
	FILTRARE		
	PRESARE		
FIZICO - CHIMICE	MATERIALE HIGROSCOPICE		
		ADSORBTIE	
		EXTRACTIE	ABSORBTIE
TERMICE	USCARE		RACIRE
	SUBLIMARE	VAPORIZARE	
		DISTILARE	
		RECTIFICARE	



# **USCAREA - definitie**

- o **USCAREA** - operatia prin care apa din materiale solide sau lichide este indepartata cu ajutorul aerului care are rolul:
  - De a aduce (integral sau partial) caldura necesara vaporizarii umiditatii;
  - De a evacua vaporii de apa rezultati prin incalzire.
- o In sens larg, **USCAREA** este operatia de indepartare a unui lichid (nu neaparat apa) dintr-un material solid, o suspensie sau o pasta, folosind ca agent de uscare un gaz oarecare (nu numai aer sau gaze de ardere).



# USCAREA

- o Materialul supus uscarii se poate prezenta ca:
  - Solutii, Paste, Granule, Pulberi, Foi, Placi, Bulgari.
- o Cand materia prima contine multa apa, este rational ca in prima faza sa se eliminate cat mai multa apa prin procedee mecanice.
- o In procesul de uscare, presiunea parciala a vaporilor de apa din faza gazoasa este mai mica decat presiunea la care are loc operatia.



# FACTORI CARE INFLUENTEaza USCAREA

## o REFERITORI LA PRODUSUL SUPUS USCARII:

- Cantitatea (debitul);
- Forma: pulbere, granule, placi, foi etc.;
- Umiditatea si forma sub care se gaseste;
- Sensibilitatea termica si la oxigen (aer);
- Friabilitatea si abraziunea;
- Agresivitatea, toxicitatea, inflamabilitatea;
- Densitatea in vrac.



# FACTORI CARE INFLUENTEAZA USCAREA

## o REFERITORI LA AGENTUL DE USCARE:

- Natura agentului de uscare;
- Modul de obtinere;
- Temperatura;
- Umiditatea;
- Debitul;
- Impuritati;
- Presiunea.



# FACTORI CARE INFLUENTEaza USCAREA

## o REFERITORI LA PRODUS (MATERIALUL USCAT):

- Umiditatea finală;
- Temperatura;
- Granulometria;
- Deformari;
- Degradarea chimică și organoleptică;
- Impurificarea.

# **FACTORI CARE INFLUENTEaza USCAREA**

## **o REFERITORI LA OPERATIA DE USCARE:**

- Temperatura maxima admisa in timpul uscarii;
- Durata uscarii;
- Modul de operare: continua sau discontinua;
- Prafuirea si recuperarea prafului;
- Recuperarea solventului;
- Evacuarea aerului rezidual (dupa uscare).



# **FORME SUB CARE SE GASESTE UMIDITATEA IN MATERIALELE SOLIDE**

## **1. APA LEGATA CHIMIC:**

- Apa de cristalizare din hidratii cristalini;
- Indepartarea ei produce modificarea proprietatilor fizice ale substantei.

## **2. APA LEGATA ADSORBTIV:**

- Apa legata prin forte intermoleculare (tip van der Waals) si electrostatice (coulombiene);
- Legarea este insotita de un efect termic ( $\Delta H_{ads}$ ) care descreste cu cresterea cantitatii de apa adsorbita.



# **FORME SUB CARE SE GASESTE UMIDITATEA IN MATERIALELE SOLIDE**

## **3. APA LEGATA OSMOTIC:**

- Exista in materialele celulare cu membrane semipermeabile;
- Legarea apei este insotita de umflarea materialului, fara efect termic sensibil;

## **4. APA LEGATA STRUCTURAL:**

- Apa continuta in geluri, care pot contine pana la 99% apa si 1% material solid;

## **5. APA LEGATA MECANIC:**

1. PRIN FORTE DE CAPILARITATE
2. PRIN FORTE DE ADEZIUNE LA SUPRAFATA MATERIALULUI



# **STATICA USCARII**

- o Stabileste legatura dintre parametrii initiali si finali ai substantelor care participa la uscare;
- o Legatura se stabileste prin intermediul ecuatiilor de bilant de masa si de bilant termic;
- o Statica uscarii permite determinarea:
  - Compozitiei materialului;
  - Consumului de agent de uscare;
  - Consumului de caldura.

# Exprimarea umiditatii gazelor (aerului)

## o UMIDITATEA ABSOLUTA:

- Masa vaporilor de apa dintr-un metru cub de gaz umed;
- Este egala cu densitatea vaporilor de apa din amestec,  $\rho_V$  [kg/m<sup>3</sup>].

## o UMIDITATEA RELATIVA:

- Raportul dintre masa vaporilor de apa dintr-un metru cub de gaz umed ( $\rho_V$ ) si masa lor maxima (la saturatie) care poate fi continuta in acelasi volum, la aceeasi presiune totala si temperatura,  $\rho_s$ .



# Umiditatea relativă a aerului

- o Se exprima procentual:

$$\varphi = \frac{p_v}{p_s} \cdot 100$$

- o  $p_v$  - presiunea parțială a vaporilor de apă continuti in aerul umed;
- o  $p_a$  - presiunea parțială a aerului uscat;
- o  $p = p_a + p_v$  (cf. legii Dalton)
- o Aplicand amestecului de aer si vaporii de apă ecuația de stare a gazelor ideale, se obtine  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{p_v \cdot R_v \cdot T_0}{p_s \cdot R_v \cdot T_0} = \frac{p_v}{p_s}$$

# Umiditatea relativă a aerului

o Continutul de umiditate al aerului:

- Masa vaporilor de lichid (apa) raportata la masa gazului uscat (aer):

$$x = \frac{m_v}{m_a} \left[ \frac{\text{kg apa}}{\text{kg aer uscat}} \right]$$

- Ambele componente ocupă același volum și au aceeași temperatură:

$$p_a \cdot V = R_a \cdot T_0 \text{ pentru } 1 \text{ kg aer uscat;}$$

$$p_v \cdot V = x \cdot R_v \cdot T_0 \text{ pentru "x" kg apa asociată.}$$

- $R_a$  și  $R_v$  reprezintă respectiv constantele gazului ideal pentru aer uscat și vaporii de apă raportate la 1 kg;

# Umiditatea relativă a aerului

$$x = \frac{R_a \cdot p_v}{R_v \cdot p_a} = 0,622 \frac{p_v}{p_a} = 0,622 \frac{p_v}{p - p_v}$$

o Tinând cont de umiditatea relativă:

$$x = 0,622 \frac{\varphi p_s}{p - \varphi p_s}$$

o Continutul de umiditate la saturatie:

$$x_s = 0,622 \frac{p_s}{p - p_s}$$

# Umiditatea relativă a aerului

## o GRADUL DE SATURATIE:

- Raportul dintre continutul de umiditate și continutul maxim de umiditate (la saturatie):

$$\psi = \frac{x}{x_s} = \varphi \frac{p - p_s}{p - \varphi p_s} = \varphi \frac{p - p_s}{p - p_v}$$

# Entalpia gazului (aerului) umed

- o Se determina prin suma entalpiei gazului uscat si a vaporilor de apa care se gasesc in acesta.
- o Entalpia amestecului format din 1 kg aer uscat si  $x$  kg vapori de apa:

$$i = i_a + x \cdot i_v = C_{pa} \cdot T + x \cdot (r + C_{pv} \cdot T)$$

- $i_a$  - entalpia a 1 kg aer uscat;
- $i_v$  - entalpia a 1 kg vapori de apa (supraincalziti la temperatura  $T$ );

# Entalpia gazului (aerului) umed

- o Pentru calcule tehnice se pot introduce urmatoarele simplificari referitoare la entalpia aerului umed:
  - Caldura specifica a aerului ( $c_{pa}$ ) se considera constanta si egala cu 1 kJ/(kg.K);
  - Entalpia vaporilor se calculeaza considerand ca vaporizarea se face la 0 °C; caldura de vaporizare a apei la 0 °C este 2500 kJ/kg;
  - Caldura specifica a vaporilor ( $c_{pv}$ ) se considera constanta si egala cu 2 kJ/(kg.K).



# Entalpia gazului (aerului) umed

o Cu simplificările efectuate, entalpia aerului umed poate fi calculată cu relațiile:

$$i = T + x \cdot (2500 + 2T)$$
$$i = (1 + 2x) \cdot T + 2500x$$

## Punctul de roua

- o Un gaz umed cu continut constant de umiditate este racit treptat pana la temperatura la care gazul devine saturat iar vaporii de apa incep sa condenseze formand picaturi.
- o Temperatura la care gazul devine saturat = temperatura de saturatie = temperatura de roua.
- o Pentru aerul umed, presiunea (temperatura) de saturatie se obtine pentru  $\varphi = 1$ :

$$p_s = \frac{x \cdot p}{0,622 + x}$$

- o Temperatura corespunzatoare presiunii de saturatie este tabelata.



# Temperatura termometrului umed

- o Un gaz adus in contact cu un lichid, in conditii adiabatice, se satureaza cu vaporii lichidului, racindu-se la entalpie constanta.
- o Racirea gazului are loc pana la o temperatura corespunzatoare saturatiei sale complete ( $\phi = 1$ ).
- o Temperatura la care gazul, racindu-se izentalp, devine saturat = temperatura limitei de racire a corpurilor umede = temperatura termometrului umed.
- o Temperatura termometrului umed se poate determina din diagrama i - x.

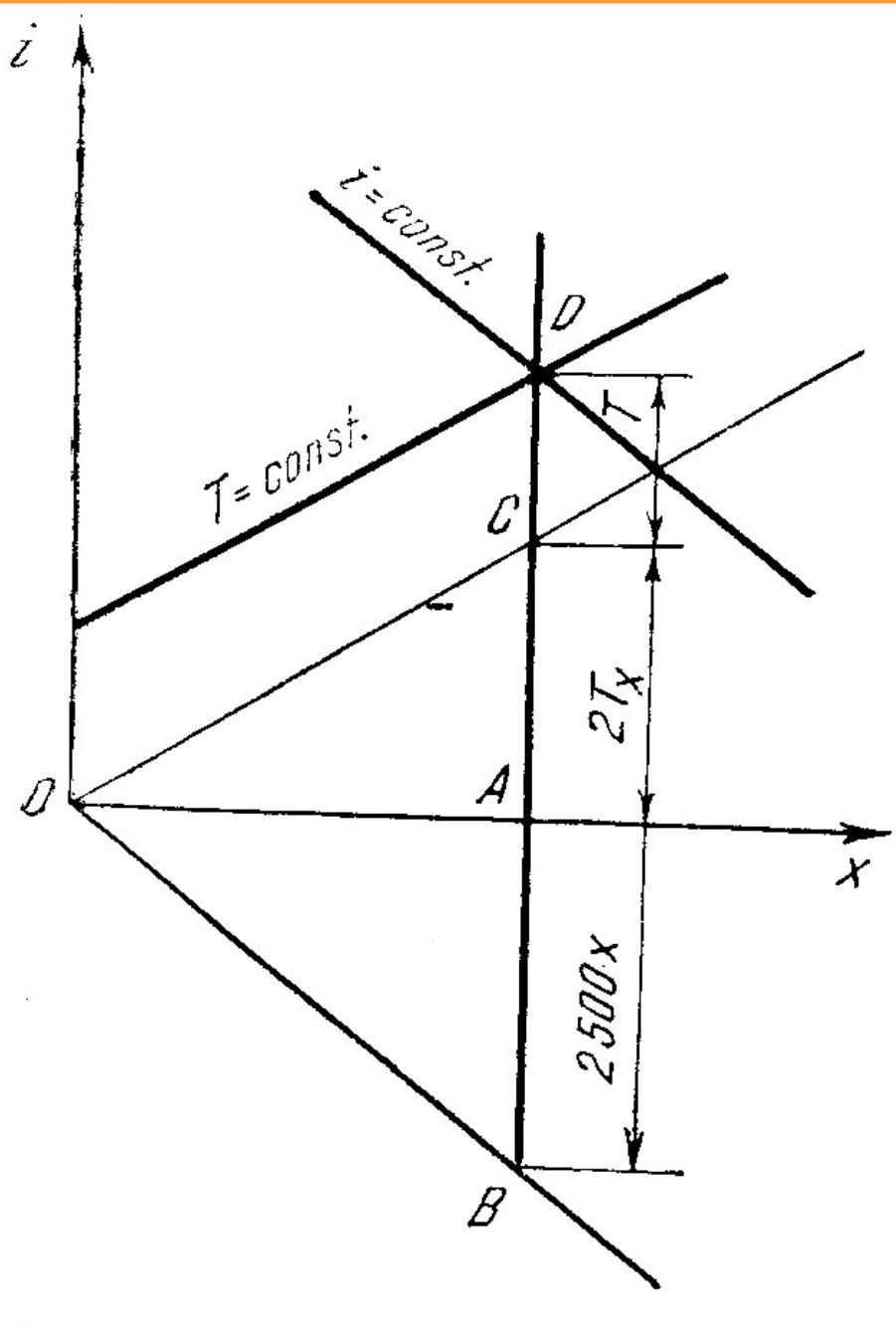


# Diagrama de stare a aerului umed (i – x)

- o Aerul umed este caracterizat de 3 variabile de stare independente:
  - Presiunea;
  - Temperatura;
  - Continutul de umiditate.
- o Diagrama de stare a aerului umed (diagrama Mollier, diagrama i - x) reda variația entalpiei ( $i$ ) funcție de continutul de umiditate ( $x$ ), de temperatură ( $T$ ) și de umiditatea relativă ( $\phi$ ).
- o Este reprezentarea grafică a ecuației:

$$i = T + x \cdot (2500 + 2T)$$

# Diagrama de stare a aerului umed ( $i - x$ )



- o Axa  $Ox$  - axa continutului de umiditate;
- o Liniile de umiditate constantă ( $x = \text{ct.}$ ) sunt perpendiculare pe axa absciselor;
- o Perpendiculara  $AD$  se prelungeste pana in  $B$  a.i.:  $AB = 2500x$  kJ/kg;
- o  $BD = \text{entalpia aerului umed la temp. izotermei care trece prin } D, \text{ la o umiditate corespunzatoare abscisei } x \text{ a punctului } D.$
- o Liniile de entalpie ct. sunt drepte echidistante paralele cu axa  $OB$ ;
- o Izotermele sunt drepte cu panta  $2T$  care se intersecteaza intr-un pct. Situat pe abscisa negativa.

# Diagrama de stare a aerului umed (i – x)

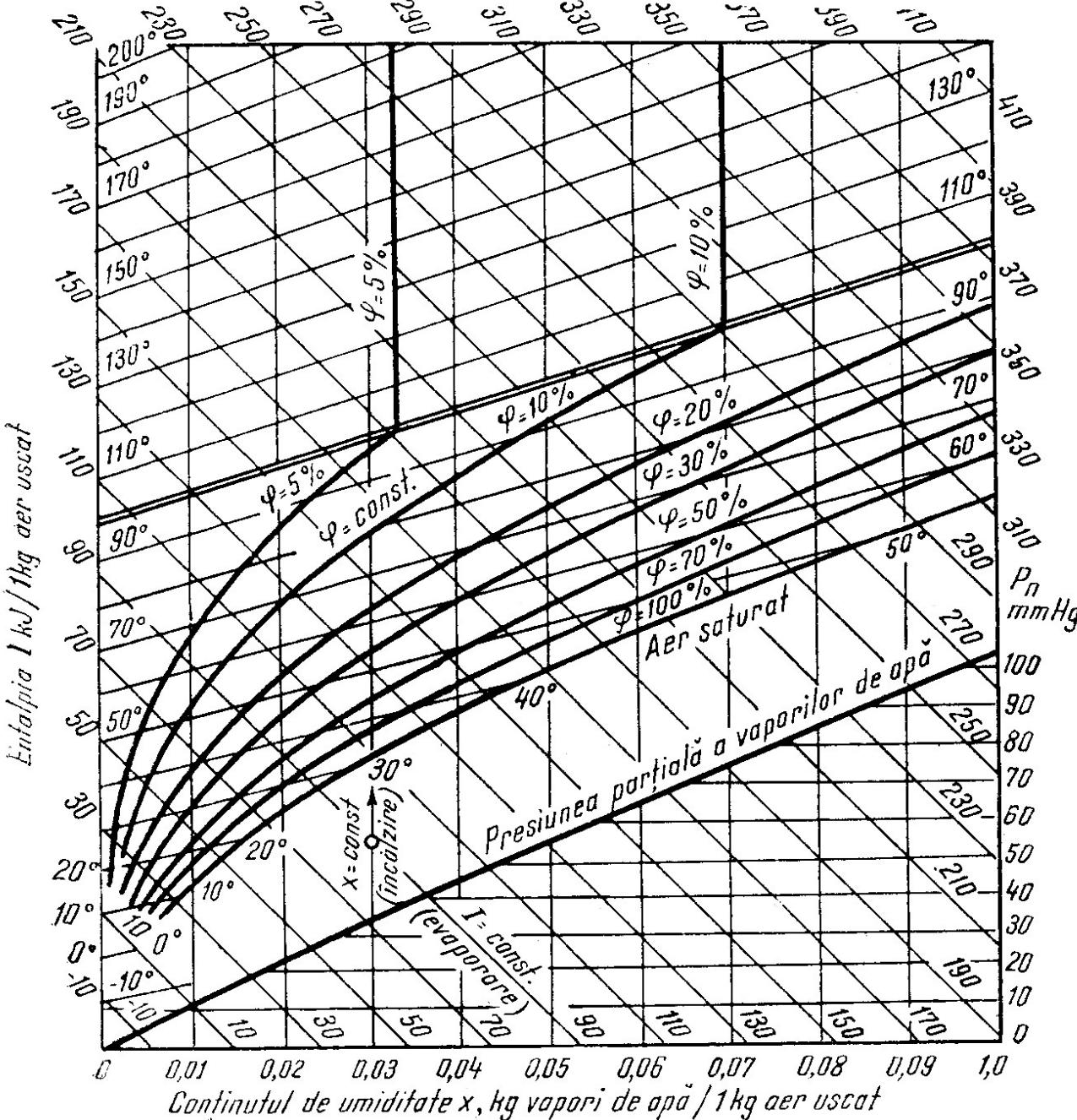


Diagrama este construită pt.  
 $p = 745 \text{ mm Hg}$ ;  
 La aceasta presiune, la  
 $T > 99,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$   
 presiunea vaporilor de apă din aer este egala cu presiunea totală:  
 $p_v = p$  și:

$$x = 0,622 \frac{\varphi}{1 - \varphi}$$

# Diagrama de stare a aerului umed ( $i - x$ )

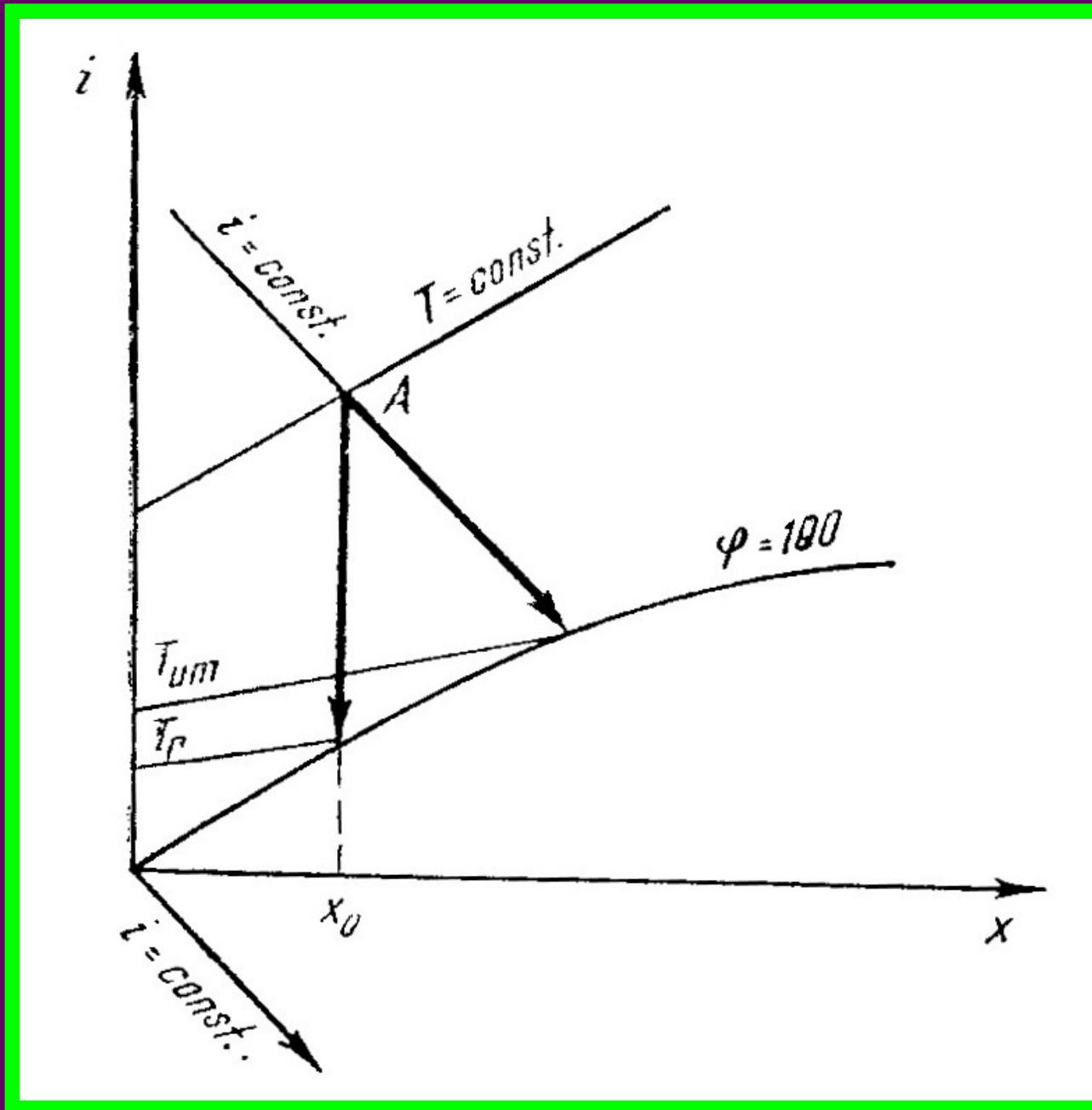
- o Pentru  $T > 99,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ , umiditatea aerului ramane constanta.
- o Linia  $\varphi = 100 \leftrightarrow$  aerul este saturat complet cu vapori de apa la o temperatura data:
  - Deasupra liniei: regiunea aerului umed nesaturat;
  - Sub linie: regiunea de condensare parțială a vaporilor de apa din aer.
- o În diagrama  $i - x$ ,  $p_v$  se determină prin pct. de intersecție al curbei presiunii parțiale cu liniile  $x = \text{ct}$ . Valorile  $p_v$  sunt date pe ordonata din dreapta diagramei.



# Diagrama de stare a aerului umed ( $i - x$ )

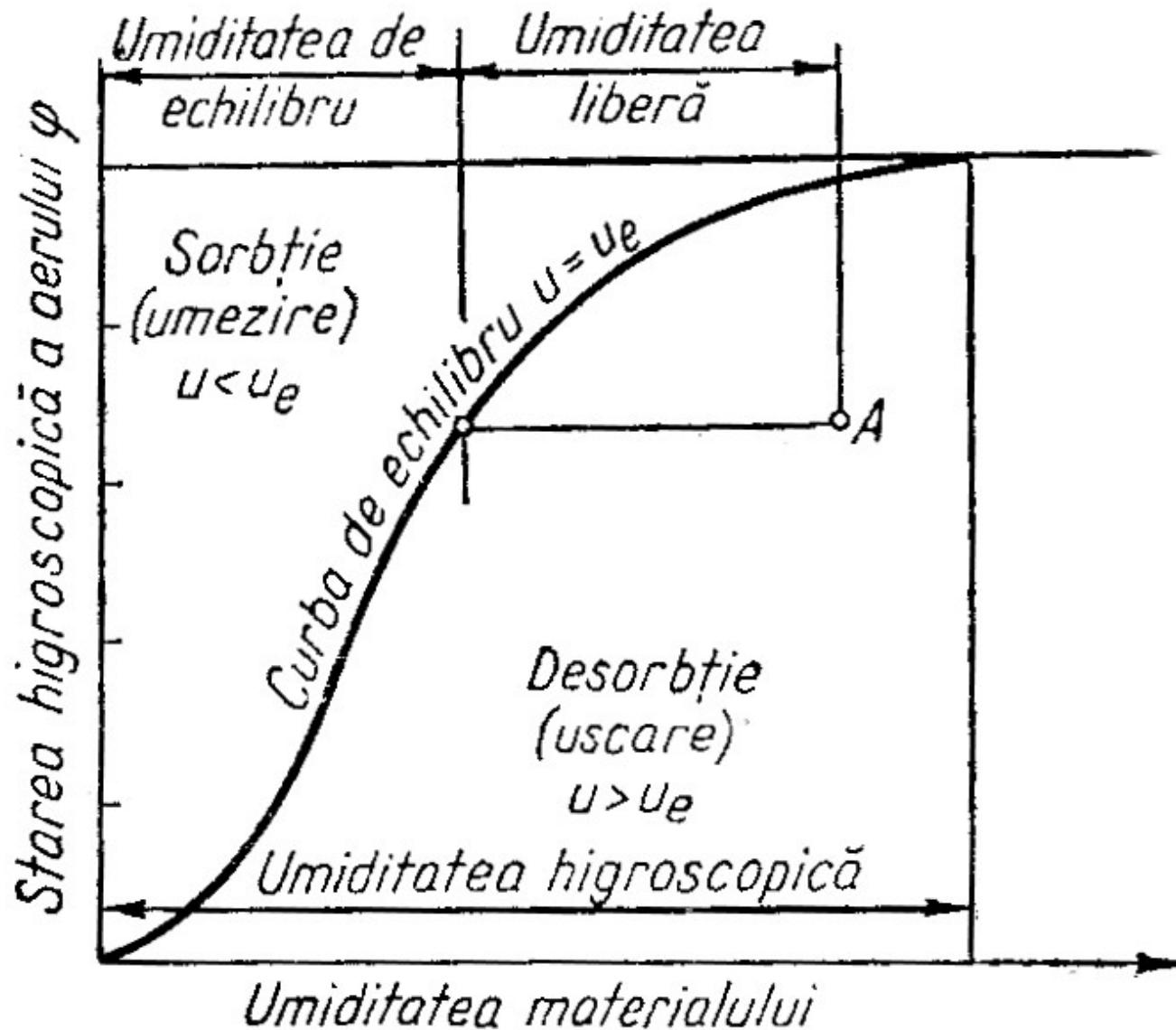
- o Pt a reprezenta starea aerului in diagrama  $i - x$  este necesara cunoasterea a 2 din cei 4 parametri:
  - Continut de umiditate ( $x$ );
  - Temperatura ( $T$ );
  - Entalpie ( $i$ );
  - Umiditate relativă ( $\varphi$ )

# Diagrama de stare a aerului umed ( $i - x$ )



Determinarea temperaturii de rouă ( $T_r$ ) și a temperaturii termometrului umed ( $T_{um}$ ) pentru aerul umed ai căruia parametrii ( $T, i$ ) sunt corespunzători punctului A din diagrama  $i - x$ .

# Echilibrul aer – material umed



Interdependența dintre umiditatea aerului înconjurator și umiditatea unui material după un contact suficient de indelungat pentru atingerea stării de echilibru.

# Echilibrul aer – material umed

- o Umiditatea de echilibru cand aerul este saturat ( $\varphi = 1$ ) se numeste umiditate higroscopica.
- o Daca  $u > u_e$  materialul pierde umiditate (desorbtie, uscare);
- o Daca  $u < u_e$  materialul absoarbe umiditate din mediul inconjurator (sorbtie, umezire);
- o Umiditatea libera:  $u_l = u - u_e$  este umiditatea care poate fi indepartata prin uscare.
- o Ecuatia lui Lîkov da dependenta dintre umiditatea de echilibru si umiditatea relativă a aerului:

$$u_e = \frac{a \cdot \varphi}{b - \varphi}$$

- o a si b sunt caracteristici materialului si temperaturii.

# Echilibrul aer – material umed

**Umiditatea de echilibru, în %, în funcție de umezeala relativă a aerului la 25°C, după Lîkov**

Materialul	Umezeala relativă a aerului $\phi$									Constantele	
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	a	b
Făină	2,2	3,9	5,0	6,9	8,5	10,1	12,6	15,8	19,0	—	5,0
Pâine albă	1,0	2,0	3,1	4,6	6,5	8,5	11,4	13,9	18,9	—	2,0
Săpun	2,4	3,9	5,2	6,8	8,4	10,8	13,7	17,8	23,8	—	10,0
Clei	3,4	5,0	6,0	7,0	7,8	8,4	9,9	11,0	12,4	—	-0,4
Gelatină	—	1,6	2,8	3,8	4,9	6,1	7,6	9,3	12,4	—	2,0
Lemn	3,0	4,4	6,0	7,6	9,3	11,3	13,9	17,5	21,0	—	—
Hîrtie	3,2	4,2	5,0	5,6	6,2	6,9	8,2	10,4	14,0	—	—
Azbest, fibre	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,75	0,8	—	—
Caolin	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	—	—
Argilă	1,7	2,4	3,0	3,4	4,0	4,8	6,0	7,7	10,0	—	—

# Echilibrul aer – material umed

Constantele  $a$  și  $b$  pentru determinarea umidității de echilibru la  $t = 25^\circ\text{C}$

Materialul	$a$	$b$	Materialul	$a$	$b$
Amidon	22,50	-1,00	Grâu dur	114,00	5,00
Cînepă — semințe	55,00	5,00	In — semințe	252,0	20,00
Clei de oase	-15,60	-0,40	Macaroane	-28,40	-0,63
Făină de grâu	80,00	5,00	Mere	12,10	1,05
Foaie de plăcintă	144,00	3,33	Piine albă	17,70	2,00
Floarea soarelui — semințe	252,00	20,00	Soia — semințe	16,23	1,82
Gelatină	15,0	2,00	Tutun în foi	-341,50	-5,00

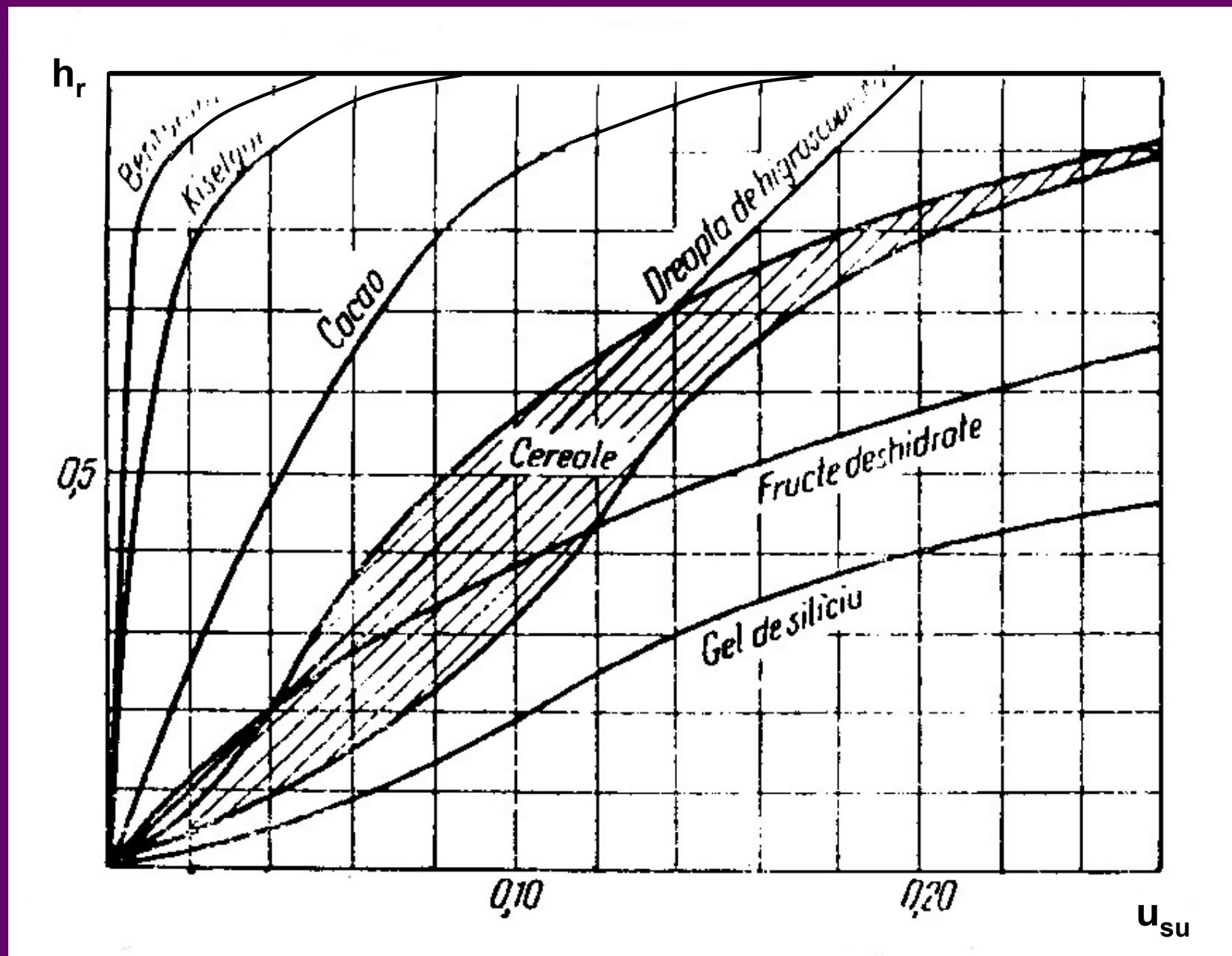


# Echilibrul aer – material umed

Umiditatea de echilibru  $u_{ed}$  a unor produse la diferite valori a umezelii relative a aerului

Materialul	Umezala relativă a aerului, %							
	20	30	40	50	60	65	70	75
Amidon	3,80	5,20	6,40	7,40	8,30	—	9,20	—
Cînepă — semințe	—	—	5,00	5,90	7,17	—	8,40	—
Făină	3,90	5,05	6,90	8,50	10,08	11,50	12,60	13,80
Floarea soarelui — semințe	—	—	5,30	6,30	7,40	—	8,50	—
Poale de plăcintă	2,55	3,50	4,00	5,05	6,90	7,60	8,70	9,85
Gelatină	1,60	2,80	3,80	4,90	6,10	—	7,60	—
Griu — boabe	—	9,30	—	—	13,00	—	—	16,40
In — semințe	—	—	5,40	6,30	7,60	—	8,50	—
Macaroane	7,10	8,76	10,60	12,20	13,75	15,00	16,60	17,45
Mere	—	5,00	—	11,00	18,00	—	25,00	—

# Curbe de echilibru ale uscarii pentru diverse materiale



# Bilantul de materiale al uscatorului

- o  $x_1$  - umiditatea aerului la intrare [kg apa/kg au];
- o  $x_2$  - umiditatea aerului la iesire [kg apa/kg au];
- o  $L$  - debitul de aer absolut uscat [kg aer/h];
- o  $G_1$  - debitul de material la intrare [kg/h];
- o  $G_2$  - debitul de material la iesire [kg/h];
- o  $u_1$  - umiditatea absoluta a materialului la intrare [kg apa/kg mat. umed];
- o  $u_2$  - umiditatea absoluta a materialului la iesire [kg apa/kg mat. umed];
- o  $W$  - cantitatea de apa indepartata din material [kg apa/h].

# Bilantul de materiale al uscatorului



- Ecuatia generala de bilant (1):

$$G_1 = G_2 + W$$

- Ecuatia de bilant a umiditatii din material (2):

$$G_1 \cdot u_1 = G_2 \cdot u_2 + W$$

- Ecuatia de bilant a materialului absolut uscat (3):

$$G_1 \cdot (1 - u_1) = G_2 \cdot (1 - u_2)$$

# Bilantul de materiale al uscatorului

- o Cantitatea de apa indepartata din material:

$$W = G_1 \cdot u_1 - G_2 \cdot u_2 = G_1 \cdot \left( u_1 - \frac{1-u_1}{1-u_2} \right)$$

- o Ecuatia de bilant a umiditatii din uscator:

$$\begin{aligned} L \cdot x_1 + G_1 \cdot u_1 &= L \cdot x_2 + G_2 \cdot u_2 \\ L \cdot (x_2 - x_1) &= G_1 \cdot u_1 - G_2 \cdot u_2 = W \end{aligned}$$

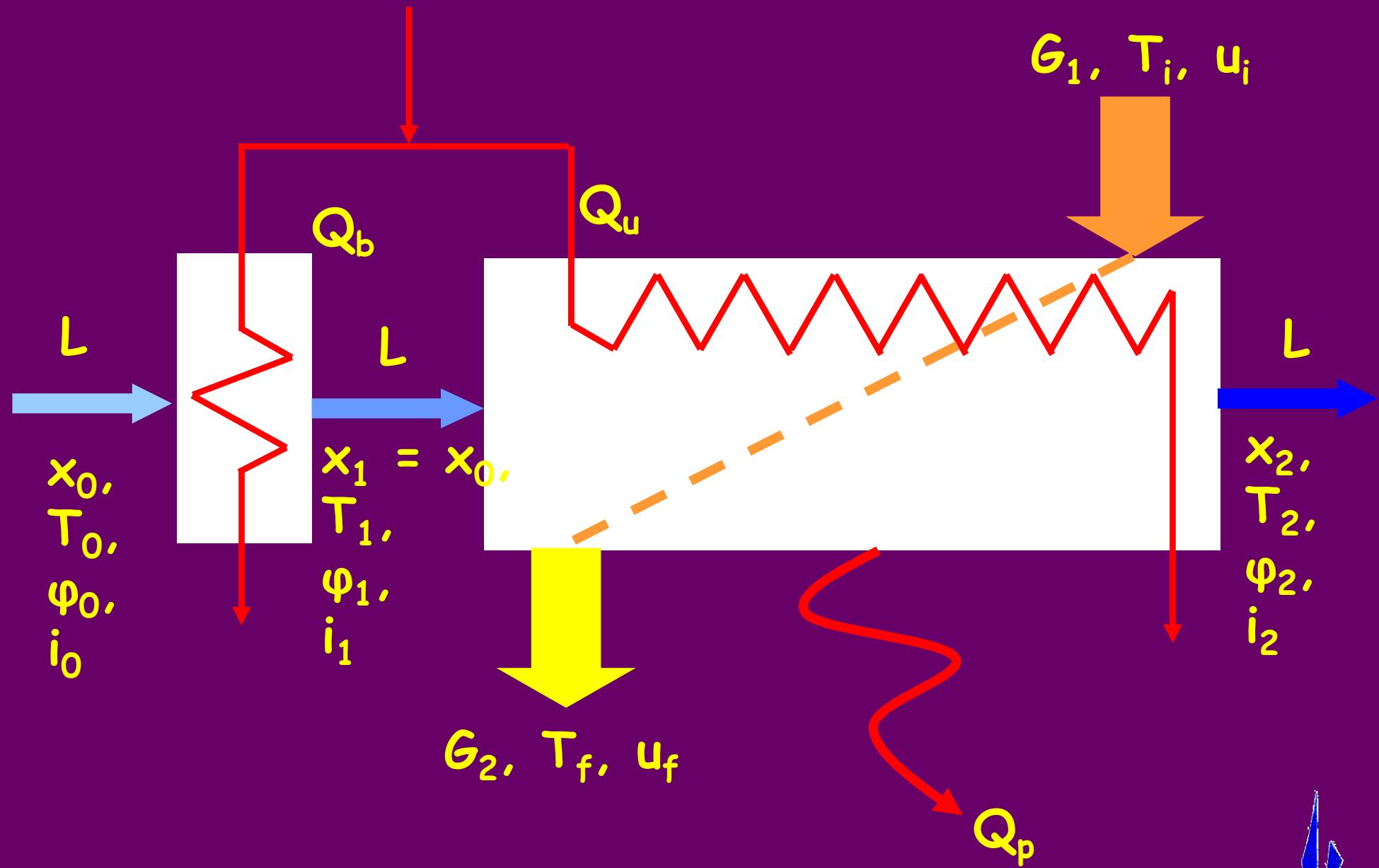
- o Necessarul de aer:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1}$$

- o Consumul specific de aer:

$$I = \frac{L}{W} = \frac{1}{x_2 - x_1} \quad [\text{kg aer au/kg apa indepartata}]$$

# Bilantul termic al uscatorului



# Bilantul termic al uscatorului

- o Caldura intrata cu materialul umed:

$$G_2 \cdot c_{pf} \cdot T_i + W \cdot c_{papa} \cdot T_i$$

- o Caldura intrata cu aerul necesar uscarii:

$$L \cdot i_0$$

- o Caldura intrata cu dispozitivele de transport:

$$m_t \cdot c_{pt} \cdot T_i$$

- o Caldura intrata prin bateria de incalzire a aerului:

$$Q_b$$

- o Caldura intrata prin caloriferul din uscator:

$$Q_u$$

# Bilantul termic al uscatorului

o Caldura iesita cu materialul uscat:

$$G_2 \cdot c_{pf} \cdot T_f$$

o Caldura iesita cu aerul umed:

$$L \cdot i_2$$

o Caldura iesita cu dispozitivele de transport:

$$m_t \cdot c_{pt} \cdot T_f$$

o Caldura pierduta in mediu:

$$Q_p$$

# Bilantul termic al uscatorului

- o Cantitatea de caldura necesara uscarii:

$$Q_{nec} = Q_b + Q_u = G_2 \cdot c_{pf} \cdot (T_f - T_i) + L \cdot (i_2 - i_0) + m_t \cdot c_{pt} \cdot (T_f - T_i) + Q_p - W \cdot c_{papa} \cdot T_i$$

- o Consumul specific de caldura necesar:

$$q_{nec} = \frac{Q_{nec}}{W} = q_b + q_u = q_G + l \cdot (i_2 - i_0) + q_t + q_p - c_{papa} \cdot T_i$$

- o Cum  $l = L/W$ , rezulta:

$$q_b = l \cdot (i_1 - i_0) = \frac{i_1 - i_0}{x_2 - x_0}$$

- o Si:

$$q_{nec} = q_G + \frac{i_2 - i_1}{x_2 - x_0} + q_t + q_p - c_{papa} \cdot T_i$$

# Bilantul termic al uscatorului

$$\frac{i_2 - i_1}{x_2 - x_0} = q_{nec} + C_{papa} \cdot T_i - (q_G + q_t + q_p) = \Delta$$

- o  $\Delta$  - excesul de caldura introdus in uscator:
  - Daca  $i_2 > i_1 \Rightarrow \Delta > 0$ ; Uscatoare reale
  - Daca  $i_2 < i_1 \Rightarrow \Delta < 0$ ;
  - Daca  $i_2 = i_1 \Rightarrow \Delta = 0$ ; uscare la  $i = \text{ct}$ . (**uscator ideal**)

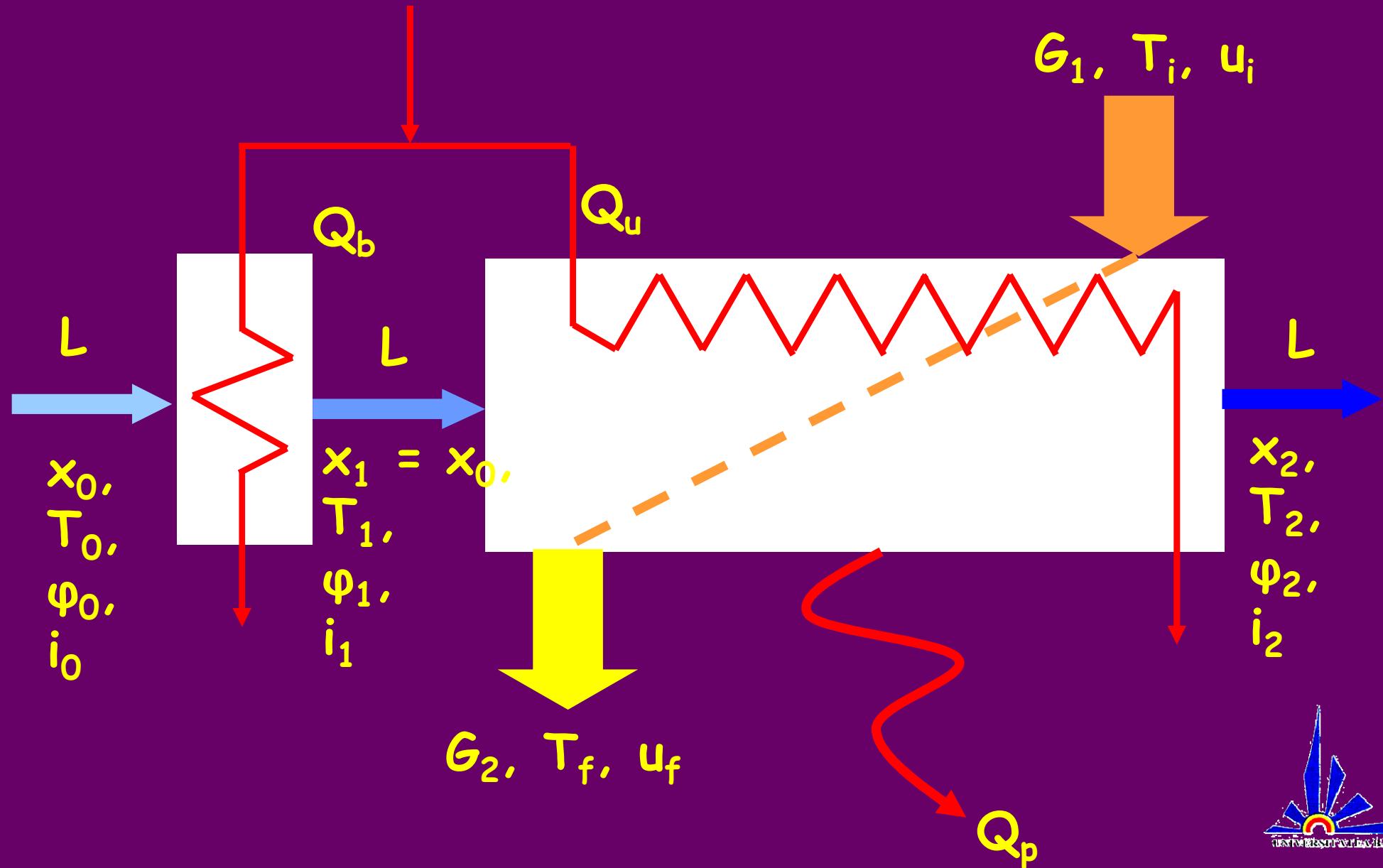
# Variante ale procesului de uscare

- o In procesul de uscare, aerul poate fi trecut:
  - O singura data peste material
  - De mai multe ori, cu incalzire intermediara;
  - O parte din aer poate fi recirculat in uscator, prin amestecare cu aer proaspat.

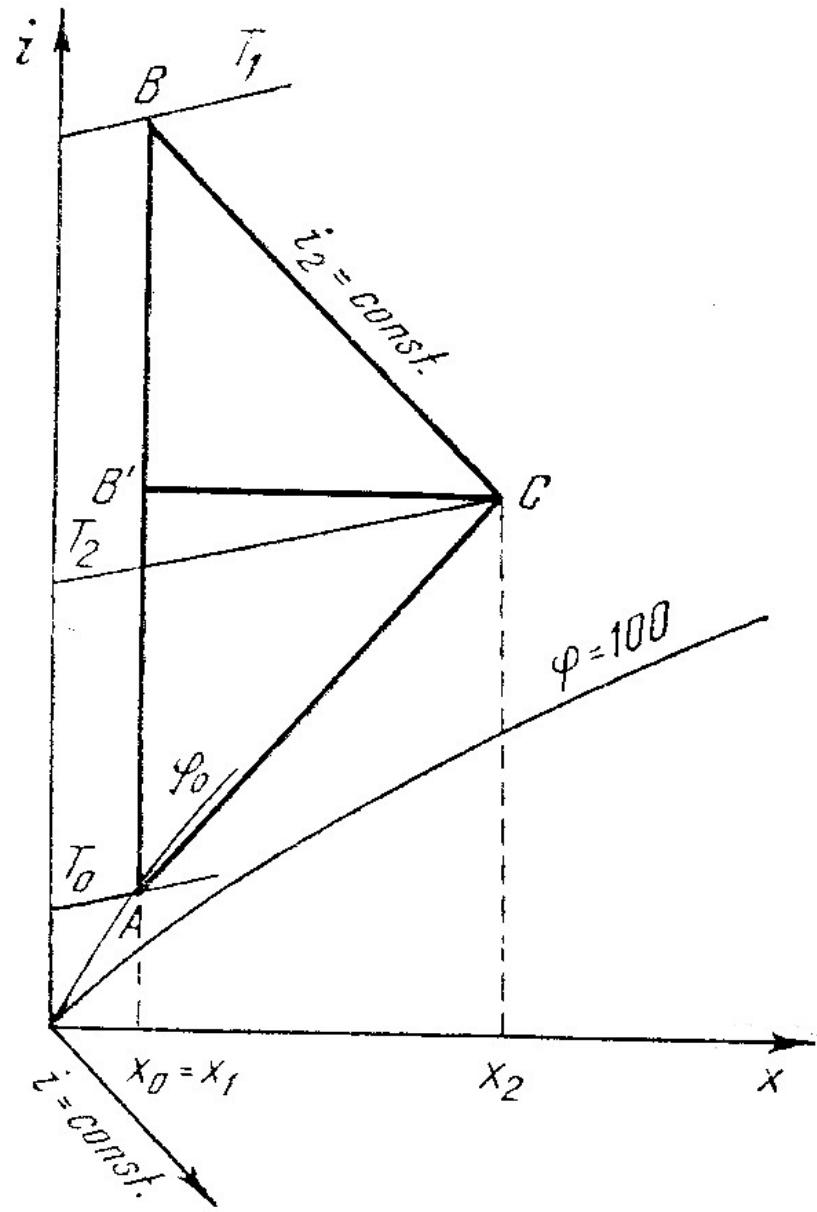


# Varianta normală (principală)

- o Aerul este trecut o singura data prin uscator;
- o Q necesara uscarii se poate da in caloriferul principal, in caloriferul secundar sau in ambele.

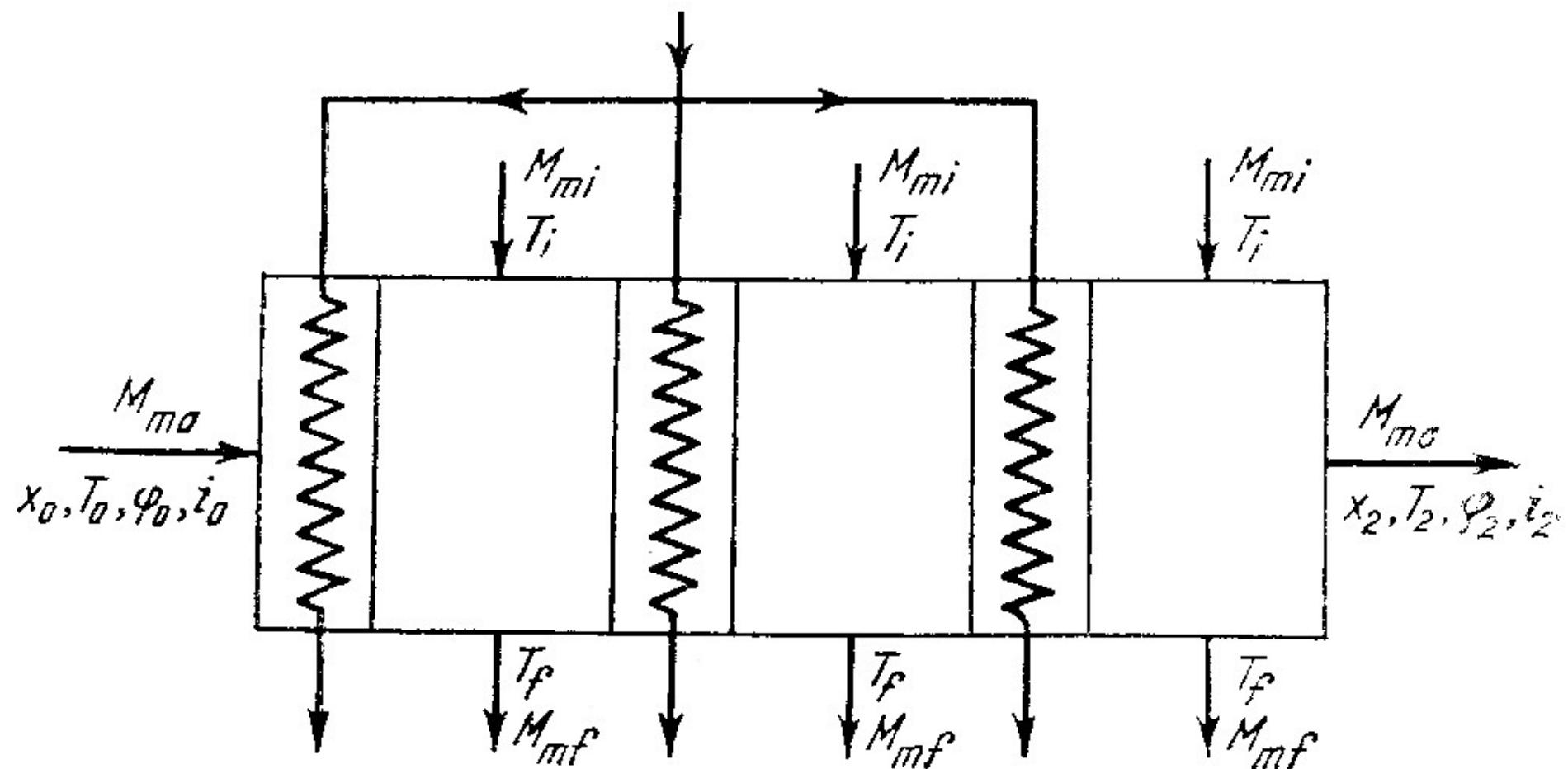


# Varianta normală (principală)

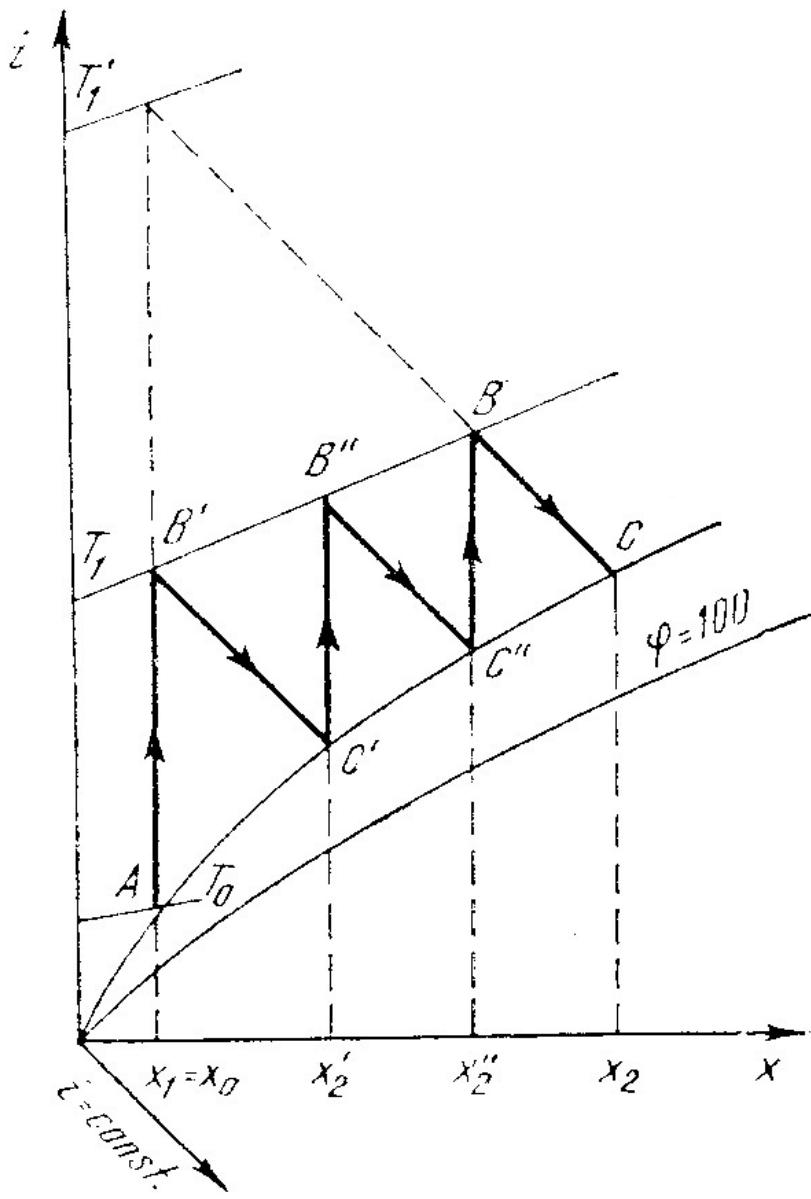


- o Toata caldura se da in caloriferul principal: **ABC**;
- o Toata caldura se da in caloriferul suplimentar: **AC**;
- o Caldura se repartizeaza in ambele calorifere: **AB'C**

# Varianta cu incalzire intermediara a aerului

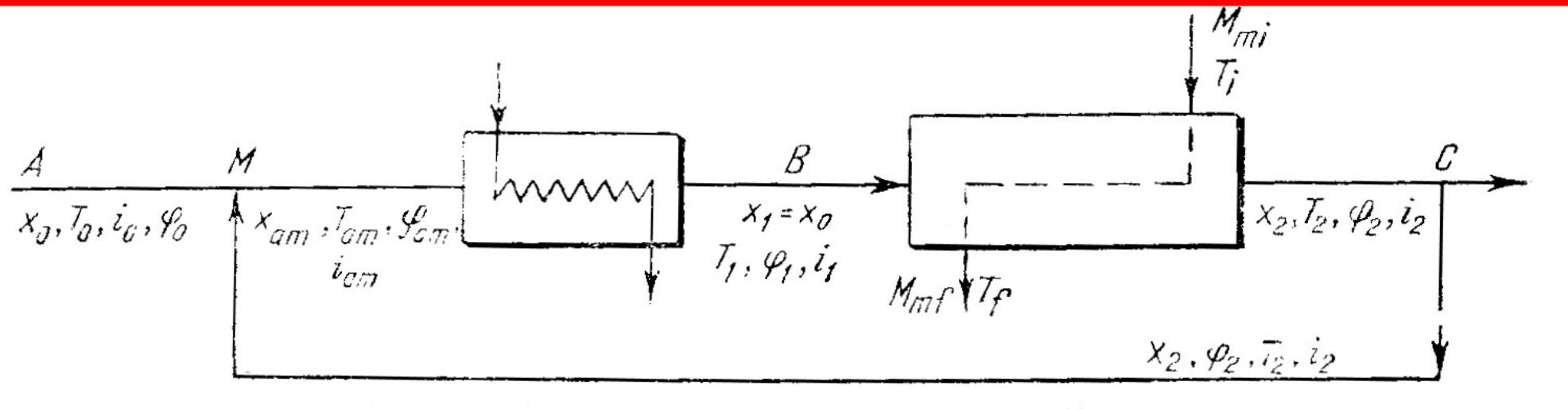


# Varianta cu incalzire intermediara a aerului



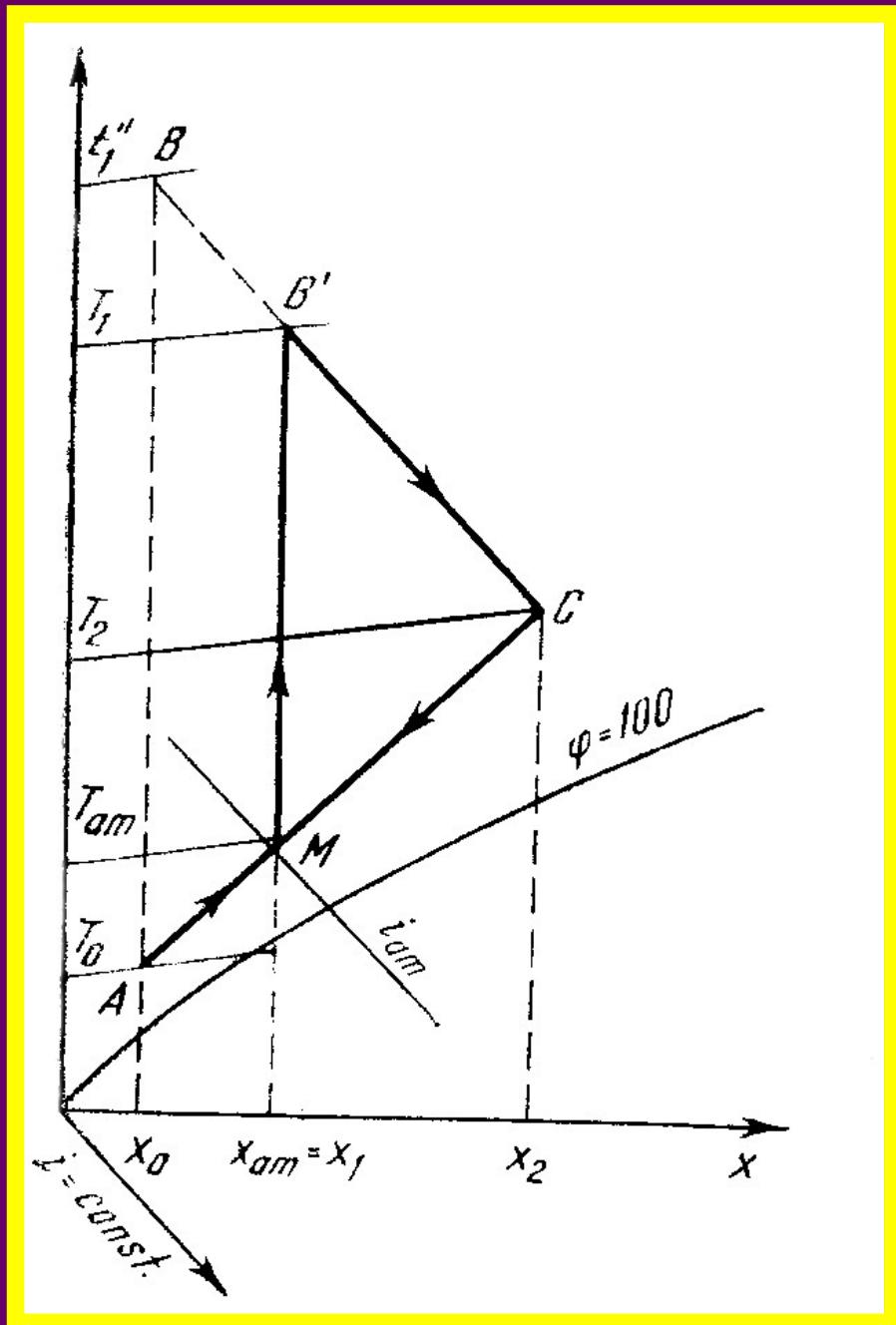
- o Cand se urmarest obtinerea de temperaturi scazute in camera de uscare;
- o Se considera cunoscute starea initiala si finala a aerului, impunandu-se temperaturile de incalzire dupa fiecare calorifer, sau starea aerului dupa fiecare zona de uscare.

# Varianta cu recircularea aerului



- o Cand uscarea trebuie efectuata la umiditati mari ale agentului de uscare;
- o Se cunoaste starea aerului proaspat (A) si a celui utilizat care rezulta din camera de uscare (C);
- o Din bilantul termic si al umiditatii se defineste starea aerului amestecat inainte de intrarea in calorifer (M).

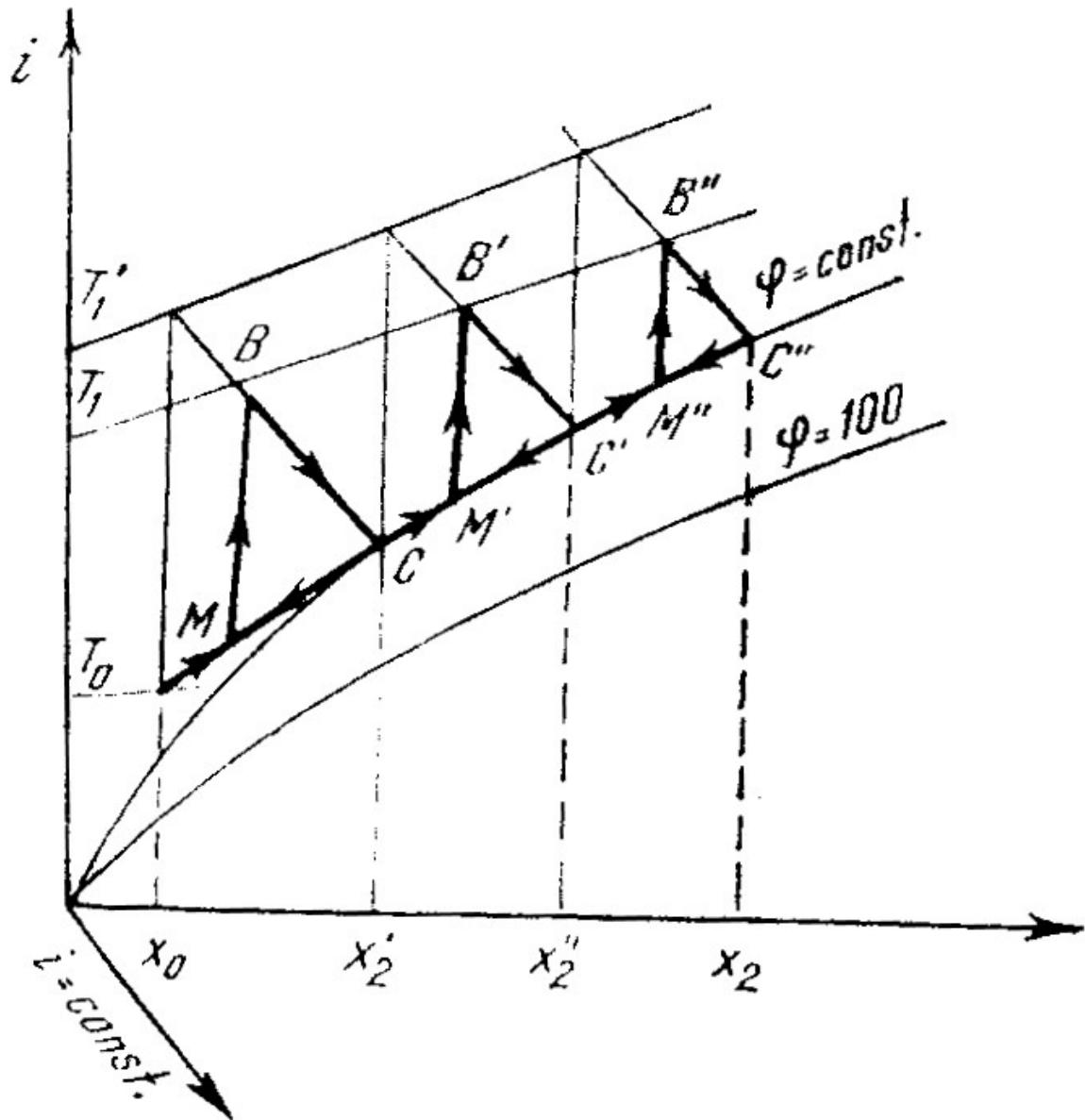
# Varianta cu recircularea aerului



$$i_{am} = \frac{i_0 + n \cdot i_2}{1 + n};$$

$$x_{am} = \frac{x_0 + n \cdot x_2}{1 + n}$$

# Variante combinate



- o Se utilizeaza si variante obtibute prin combinarea celor anterioare.
- o VARIANTA CU INCALZIRE INTERMEDIAR A SI CU RECIRCULAREA AERULUI UTILIZAT IN FIECARE ZONA

# CINETICA USCARII

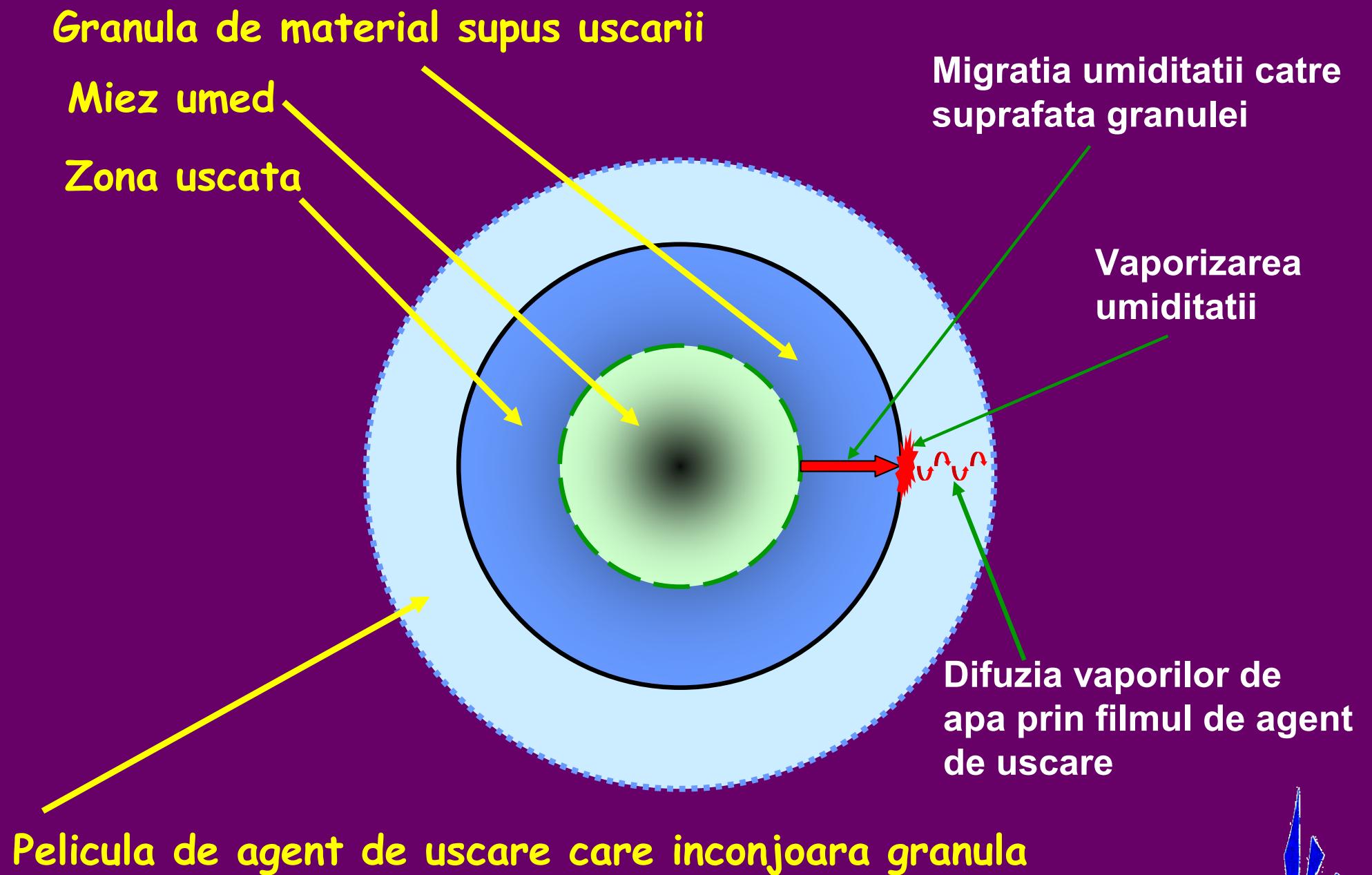
- o Stabileste legatura dintre variatiile umiditatii materialului in timp si parametrii procesului:
  - Proprietatile si structura materialului;
  - Dimensiunile materialului;
  - Condiitiile hidrodinamice ale invaluirii materialului de catre agentul de uscare;
- o Ecuatiile cinetice permit:
  - calculul duratei de uscare;
  - determinarea regimului de uscare.



# Mecanismul uscarii

- o USCAREA este ansamblul a doua procese distincte care decurg simultan:
  - Transferul apei prin material (proces complicat de difuzie internă);
  - Vaporizarea exterioara cu ajutorul aerului (difuzie externă).
- o VITEZA PROCESULUI DE USCARE este viteza procesului cel mai lent dintre cele două procese simultane.

# Mecanismul uscarii



# Mecanismul uscarii

- o Transportul apei (umiditatii) prin materialul care se usuca decurge dupa mai multe mecanisme, functie de:
  - Modul in care este legata apa;
  - Cauza care provoaca transportul.
- o Transportul apei poate avea loc prin:
  - Capilaritate;
  - Difuziune in stare lichida;
  - Difuziune in stare de vapori;
- o Apa existenta initial la suprafata materialului sau venita din interior trece in aerul inconjurator prin difuziune.



# Viteza procesului de uscare

- o Cantitatea de umiditate indepartata de pe unitatea de suprafață a materialului supus uscării, în unitatea de timp:

$$w = \frac{dW}{A \cdot dt}$$

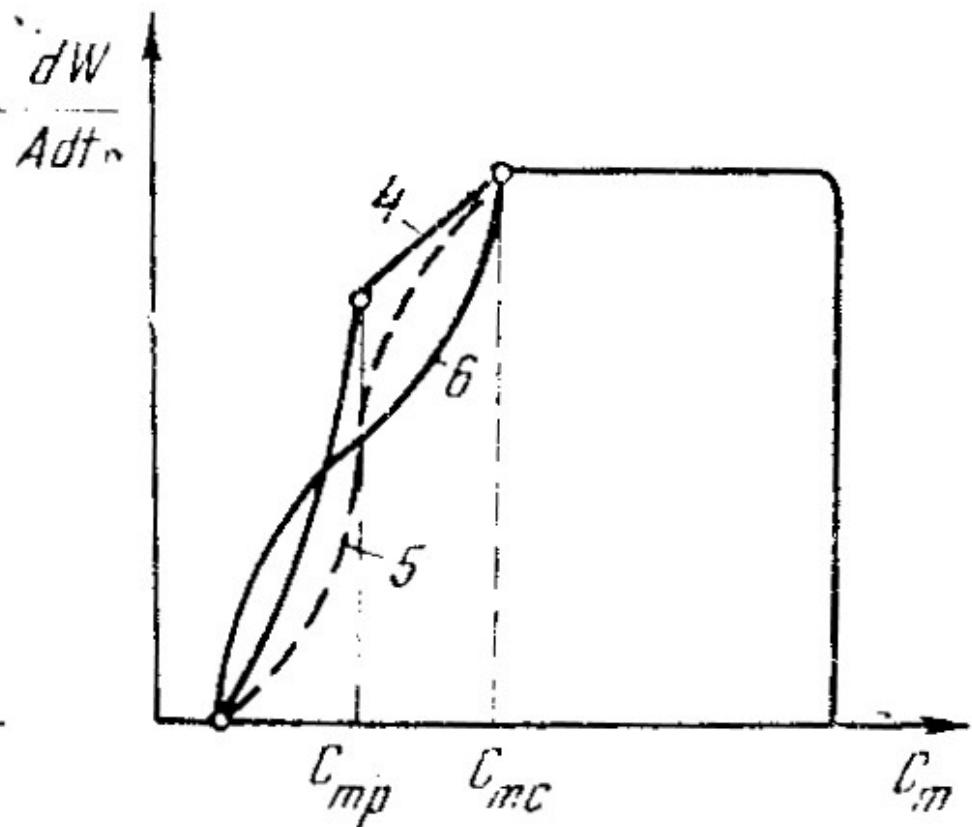
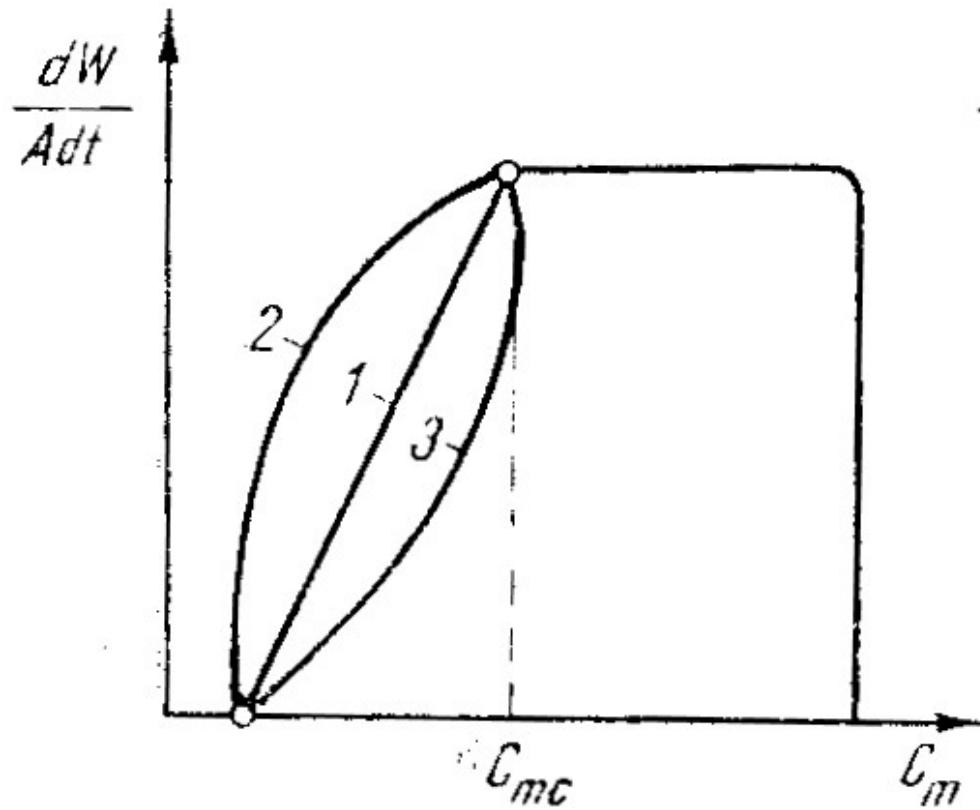
- o Ecuatiile deduse teoretic pentru viteza de uscare sunt complicate și dificil de aplicat;
- o Se apelează la date experimentale obținute la scara de laborator transpuse la scara industrială.

# Viteza procesului de uscare

- o CURBA DE USCARE: reprezentarea grafica a varitiei in timp a umiditatii materialului;
- o CURBA VITEZEI DE USCARE: relatia grafica intre viteza de uscare si umiditate;
- o Dupa forma curbelor, procesul de uscare se imparte in doua etape:
  - Perioada cu viteza de uscare constanta;
  - Perioada cu viteza descrescatoare de uscare.
- o In perioada cu viteza descrescatoare, exista 6 tipuri de baza de curbe.



# Viteza procesului de uscare



- Forma diferita a curbelor se explica prin:
  - modul in care este legata umiditatea cu materialul;
  - mecanismul diferit de indepartare a umiditatii

# Perioada de uscare cu viteza constantă

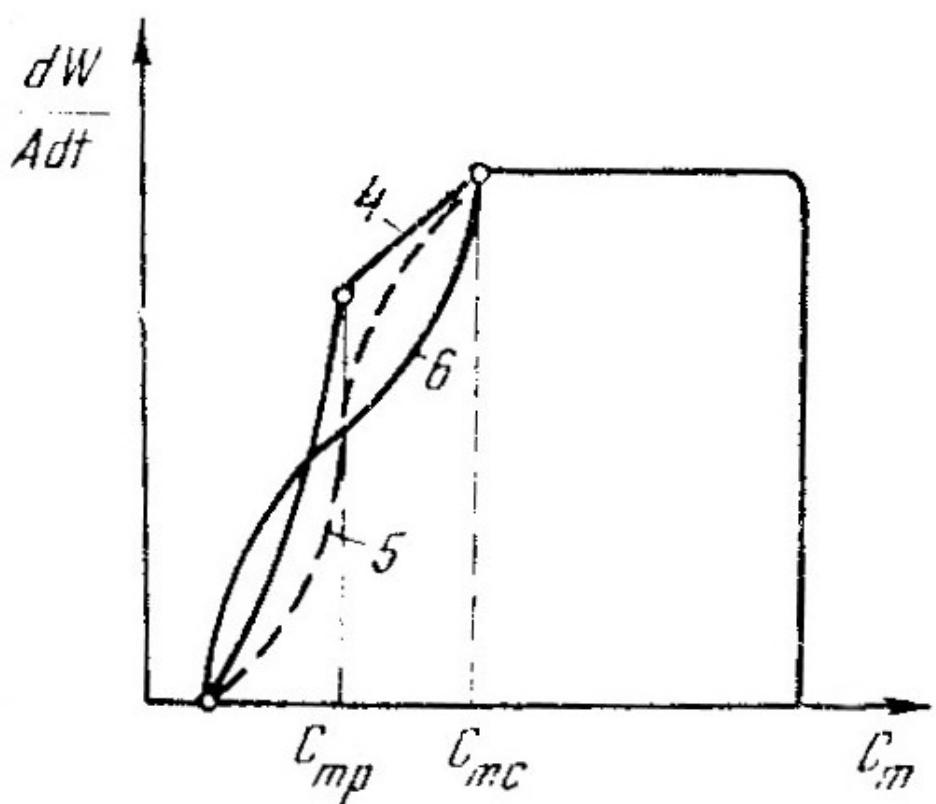
- o Uscarea are loc prin difuzia vaporilor de la suprafata saturata a materialului prin flilmul limita din exteriorul materialului;
- o Viteza de migrare a umiditatii lichide din interior spre suprafata este mai mare decat viteza de evaporare la suprafata.
- o Determinant de viteza este procesul e **EVAPORARE** si **DIFUZIA EXTERNA** a vaporilor prin stratul limita exterior.



# **Perioada de uscare cu viteza constantă**

- o Presiunea de vapori de deasupra suprafetei materialului este egală cu presiunea de vapori de deasupra lichidului pur.
- o Temperatura la suprafața materialului ramane constantă, marimea ei depinzând de intensitatea transferului termic.
- o **VITEZA DE USCARE NU DEPINDE DE:**
  - Grosimea stratului de material;
  - Umiditatea initială a materialului;
- o **VITEZA DE USCARE DEPINDE NUMAI DE:**
  - Parametrii agentului de uscare;
  - Condițiile hidrodinamice.

# Perioada de uscare cu viteza descrescatoare



Chiar daca parametrii agentului de uscare se mentin constanti, parametrii care caracterizeaza produsul sunt variabili.

La unele materiale, perioada descrescatoare a vitezei de uscare se poate imparti in:

- Prima perioada de scadere a vitezei de uscare;
- A doua perioada de scadere a vitezei de uscare.

## Perioada de uscare cu viteza descrescatoare

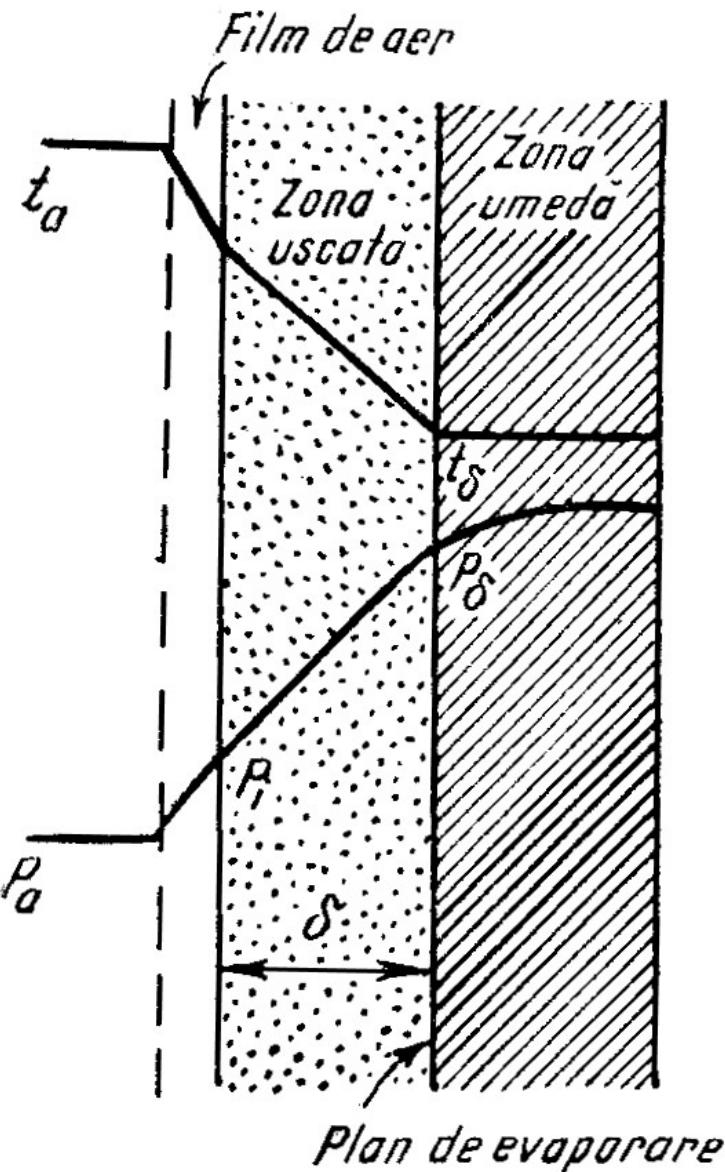
- o In prima etapa de scadere a vitezei de uscare, umiditatea scade de la  $c_{mc}$  la  $c_{mp}$ .
  - Viteza transferului de masa scade si este mai mica decat viteza de evaporare la suprafata.
  - Evaporarea are loc in interiorul materialului solid.
  - Stadiul care controleaz viteza de uscare este rezistenta la transferul de masa:
    - prin filmul de aer de la suprafata materialului;
    - prin stratul de material in care umiditatea se transfera in stare de vapori.



## Perioada de uscare cu viteza descrescatoare

- o În a doua etapa de scadere a vitezei de uscare, umiditatea scade sub  $c_{mp}$ .
- o Ea incepe în momentul în care continutul de umiditate a suprafeței se reduce și atinge concentrația umidității de echilibru.
- o Aceasta valoare se atinge cand umiditatea produsului egaleaza umiditatea relativă a agentului de uscare.

# Perioada de uscare cu viteza descrescatoare



Model schematic pentru perioada a doua de scadere a vitezei de uscare

- Suprafata de evaporare continua sa se deplaceze in interiorul materialului;
- In material apar 2 zone, una umeda si una uscata;
- Evaporarea are loc la limita dintre cele doua zone;
- Vaporii ajung la suprafata prin difuziune prin zona uscata;
- Grosimea zonei uscate creste pe masura ce procesul de uscare avanseaza;
- Uscarea se considera incheiata cand umiditatea la baza materialului atinge umiditatea de echilibru.

# Durata uscarii

- o Dimensionarea uscatoarelor necesita cunoasterea:
  - Vitezei de uscare;
  - Duratei de uscare;
- o Cand se cunoaste viteza de uscare, durata uscarii se determina prin integrarea ecuatiei:

$$w = \frac{dW}{A \cdot dt} \longrightarrow t = \int \frac{dW}{A \cdot w}$$

# CLASIFICAREA USCATOARELOR

## o Regimul de functionare:

- Functionare in sarje - regim nestationar;
- Functionare continua - regim stationar.

## o Forma materialului:

- Pulbere;
- Granule;
- Bucati;
- Placi;
- Foi;
- Panze;
- Paste;
- Solutii.

## o Sensibilitatea termica si la oxigen a materialului:

- Insensibil la temperatura;
- Sensibil la temperatura in stare umeda;
- Sensibil la temperatura in stare uscata;
- Insensibil la oxigen;
- Sensibil la oxigen in stare umeda;
- Sensibil la oxigen in stare uscata.



# CLASIFICAREA USCATOARELOR

- o Agentul de uscare:
  - Aer;
  - Gaze de ardere;
  - Amestec de aer si gaze de ardere;
  - Abur supraincalzit.
- o Miscarea agentului de uscare in raport cu materialul:
  - Echicurent;
  - Contracurrent;
  - Current incruisat;
  - Current mixt.
- o Circulatia agentului de uscare:
  - Circulatie naturala;
  - Circulatie fortata.
- o Incalzirea agentului de uscare:
  - Incalzitoare de aer incalzite cu abur;
  - Incalzitoare incalzite cu foc;
  - Amestecare cu gaze de ardere calde;
  - Cu incalzire electrica.
- o Recircularea agentului de uscare:
  - Fara recirculare;
  - Cu recirculare paritala;
  - Cu recirculare totala.

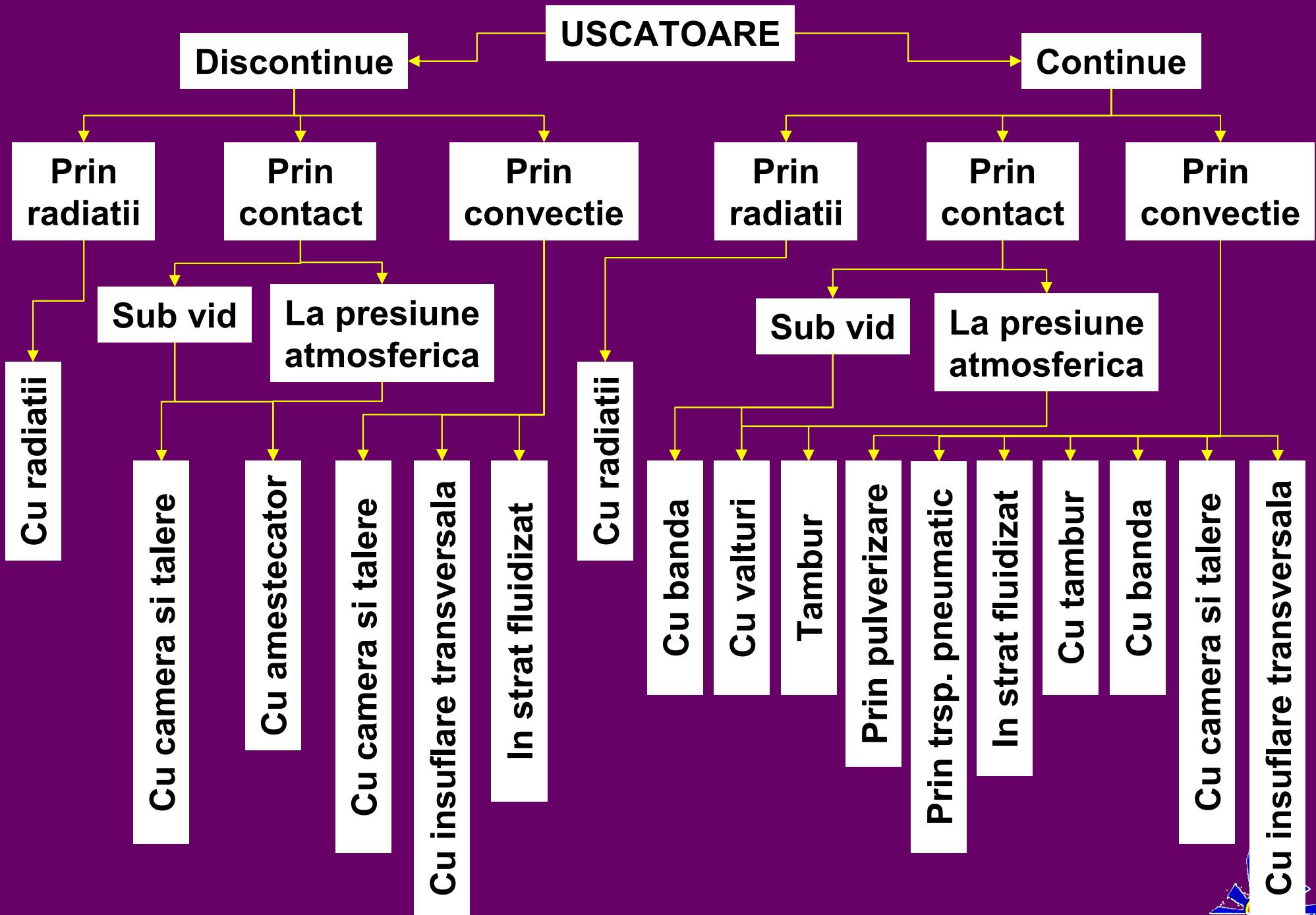


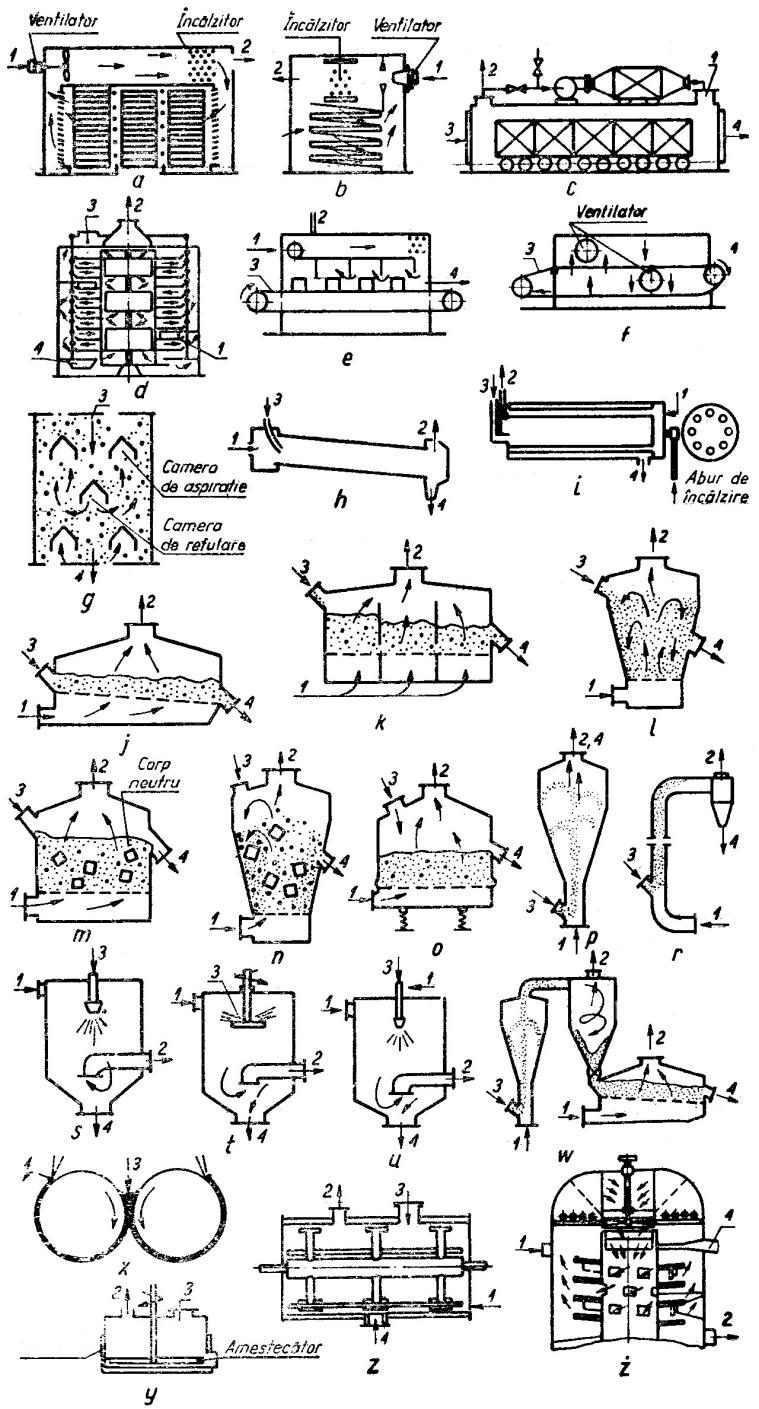
# CLASIFICAREA USCATOARELOR

- o Indepartarea umiditatii din uscator:
  - Evacuarea agentului de uscare;
  - Prin condensare;
  - Prin absorbtie chimica;
  - Prin adsorbtie.
- o Incalzirea materialului:
  - Convecție (caldura agentului de uscare);
  - Conductie (contact cu suprafete incalzite);
  - Radiatie (uscare cu radiatii IR);
  - Incalzire mixta;
  - Curenti de inalta frecventa (microunde)
- o Presiunea in uscator:
  - Presiune atmosferica;
  - Depresiune (vid).
- o Constructia uscatorului:
  - Camera;
  - Tunel;
  - Cu banda transportoare;
  - Turbina;
  - Rotativ (tubular);
  - Cu agitare mecanica (transportor elicoidal);
  - Pneumatic;
  - Prin pulverizare;
  - In strat fluidizat.



# CLASIFICAREA USCATOARELOR (Strumillo, 1984)





# Tipuri principale de uscatoare

a - cu camera cu insuflare paralela; b - cu camera cu insuflare transversala; c - cu tunel; d - cu turbina - talere; e - banda cu circulatia agentului deasupra materialului; f - banda cu circulatia agentului prin material; g - cu coloana; h - cu tambur cu incalzire directa; i - cu tambur cu incalzire indirecta; j - strat fluidizat cu 1 treapta; k - strat fluidizat mai multe trepte; l - strat strapuns; m - strat fluidizat cu suport de material inert; n - strat strapuns cu suport de material inert; o - strat vibrofluidizat; p - in suspensie; r - transport pneumatic; s - pulverizare sub presiune; t - pulverizare cu disc; u - pulverizare pneumatica; v - combinat; x - cu valturi; y - cu talere si amestecator; z - orizontal cu amestecator; z' - vibrat.