

RACIREA

**APLICATII IN
INDUSTRIA ALIMENTARA
SI BIOTEHNOLOGII**

APLICATII ALE OPERATIILOR DE RACIRE:

- **Controlul reactiilor exoterme;**
- **Controlul reactiilor care se desfasoara la temperaturi scazute;**
- **Conditionarea aerului;**
- **Lichefierea gazelor;**
- **Uscarea la temperaturi joase;**
- **Conservarea produselor alimentare;**
- **Blocarea sau incetinirea unor procese biochimice sau microbiologice.**

PROCEDEE DE RACIRE:

1. La temperaturi superioare celor la care exista agentul racitor disponibil;
2. La temperaturi inferioare temperaturii la care se gaseste substanta care produce racirea (= agentul frigorific);
3. Racirea mecanica prin procedeele precedente, in instalatii astfel alcatuite incat agentul frigorific, devenit purtator de caldura, circula continuu prin instalatie in circuit inchis.

1. RACIREA LA TEMPERATURI SUPERIOARE CELOR LA CARE EXISTA AGENTUL RACITOR DISPONIBIL

- Se bazeaza pe transferul termic (conductiv, convectiv, radiant) de la corpul cald (care trebuie racit) la corpul rece (agentul de racire);
- **EXAMPLE:**
 - ❄ Racirea cu apa rece;
 - ❄ Racirea cu aer;
 - ❄ Racirea cu gheata;
 - ❄ Racirea cu dioxid de carbon solid;
 - ❄ Racirea cu aer lichid.

2. LA TEMPERATURI INFERIOARE TEMPERATURII LA CARE SE GASESTE SUBSTANTA CARE PRODUCE RACIREA

- Proceddeul implica un proces **ENDOTERM**



Fizic (transformare de stare)



Chimic (reactie chimica)

- Caldura necesara procesului este absorbita din spatiul care trebuie racit;

- **EXAMPLE:**



Racirea cu amestecuri refrigerente;



Racirea prin evaporare in aer;



Racirea prin destindere, cu sau fara productie de lucru mecanic.

3. RACIREA MECANICA

- Agentul frigorific (purtatorul de caldura) circula continuu prin instalatie in circuit inchis;
- Racirea se face continuu, cu consum de energie:
 - ☼ mecanica
 - ☼ termica
- Instalatiile de racire functioneaza prin:
 - ☼ Comprimare;
 - ☼ Absorbție;
 - ☼ Adsorbție.

RACIREA CU APA

- Modul obisnuit de racire in industrie;
- Temperatura apei = f (natura sursei):
 - 💧 Apa de adancime (puturi, fantani):
T constanta tot timpul anului: 10-15 °C
 - 💧 Apa de suprafata (rauri, lacuri):
T variabila: 0 °C (iarna) ÷ 18-25 °C (vara)
- RACIRE INDIRECTA: serpentine, manta, teci, schimbatoare de caldura;
- RACIRE DIRECTA: introducerea apei in mediul care trebuie racit (condensatoarele de amestec, de exemplu).

RACIREA CU GHEATA

- Contactul direct cu gheata permite racirea pana la $T = 2 \div 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Pentru o racire rapida gheata este sfaramata in granule cu $\varnothing \approx 10 \text{ mm}$ (creste astfel suprafata de transfer termic);
- $\Delta H_{\text{topire gheata}} = 332,5 \text{ kJ/kg}$

RACIREA CU DIOXID DE CARBON SOLID

- CO_2 solid (zapada carbonica, gheata carbonica, gheata uscata) sublimeaza la $T = -79\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- $\Delta H_{\text{sublimare}} = 574\text{ kJ/kg}$;
- Cu solventi organici (eter, acetona, CCl_4 , CHCl_3 , benzina usoara) in care se introduce treptat CO_2 solid se obtine o temperatura constanta de $\approx -79\text{ }^{\circ}\text{C}$.

RACIREA CU AMESTECURI FRIGORIFICE

- Sunt amestecuri de apa (gheata) cu saruri avand $\Delta H_{\text{dizolvare}} < 0$ (cu dizolvare endoterma);
- Temperatura minima (punctul criohidric) se atinge cu amestecuri sare + gheata de compozitia eutecticului.
- Gheata eutectica - se obtine prin congelarea sub punctul criohidric a solutiilor frigorigene. Prin topire absoarbe caldura latentă de topire la $T = \text{ct.}$ (temp. punctului criohidric).

AMESTECURI FRIGORIFICE

EUTECTICE

Substanta	Concentratie [g subst. la 100 g gheata]	Punct criohidric [°C]	ΔH_{topire} [kJ/kg]
NH ₄ Cl	22,7	-15,8	72,8
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	100	-16	-
NH ₄ NO ₃	45	-16,7	68,4
NaCl	30,7	-21,2	56,4
CH ₃ -CH ₂ -OH	105	-30	-
MgCl ₂ ·2H ₂ O	84	-33,6	-
H ₂ SO ₄ + H ₂ O	91	-37	-
CaCl ₂ ·6H ₂ O	143	-55	50,8

RACIREA PRIN VAPORIZAREA UNUI LICHID INTR-UN GAZ

- La contactul G-L, o parte din L se vaporizeaza, pana la saturarea G;
- Caldura necesara vaporizarii lichidului (proces endoterm) este furnizata de L sau de G, pana la stabilirea unui echilibru termic:

$$T_{[]g} = T_{[]l}$$

- Efectul care intereseaza: **racirea lichidului.**
- Procedul este mult utilizat pentru racirea apei prin contact cu aerul.

RACIREA APEI PRIN VAPORIZARE PARTIALA IN AER

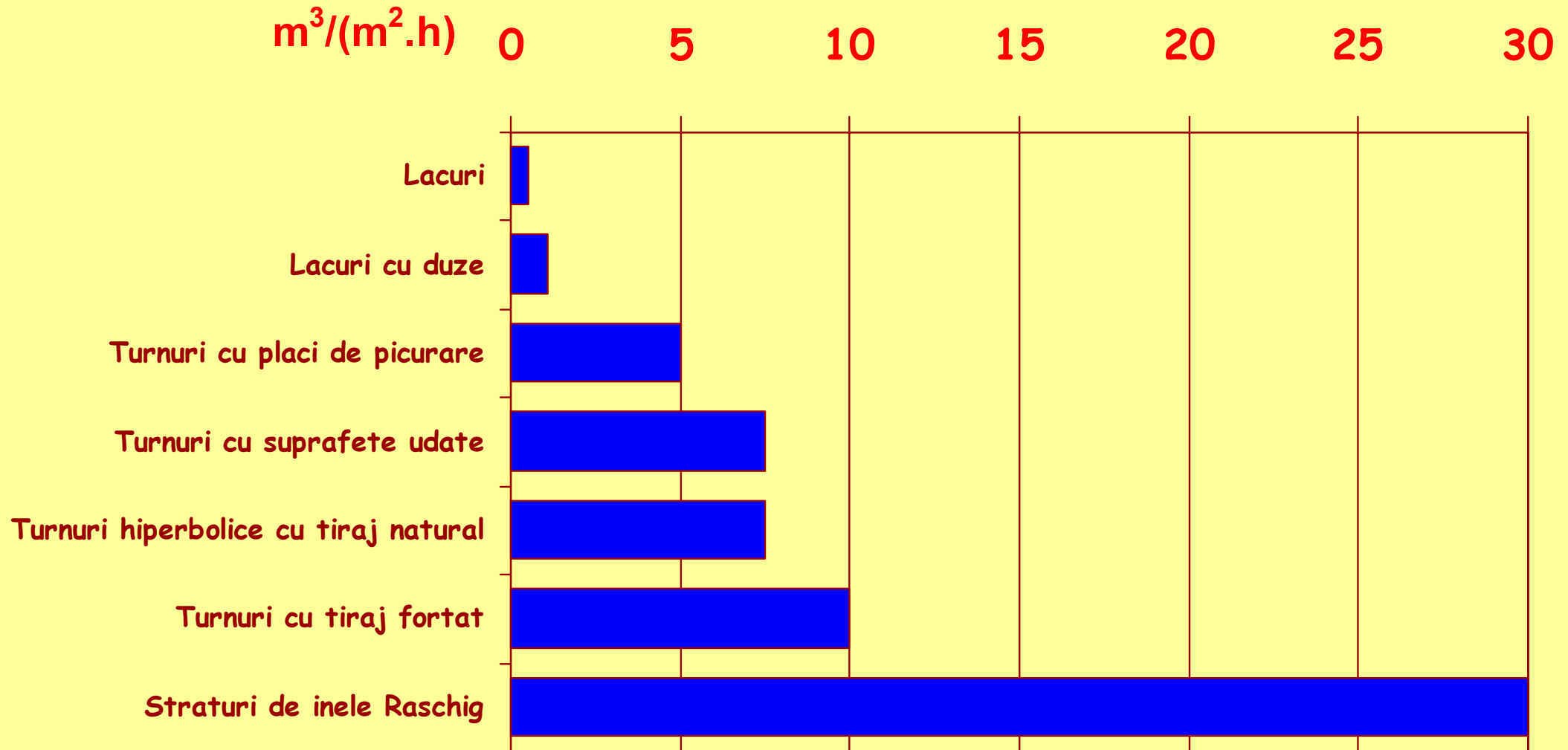
CONDITII FAVORIZANTE PENTRU RACIREA APEI:

- Suprafata de contact aer - apa mare (bazine intinse, stropire fina);
- Timp de contact aer - apa mare (expunere indelungata a lichidului stationar, curgere peste gratare sau umpluturi);
- Viteza mare intre aer si apa pentru indepartarea vaporilor care tind sa satureze aerul;
- Debit de aer mare (micsorarea rezistentelor care se opun circulatiei aerului).

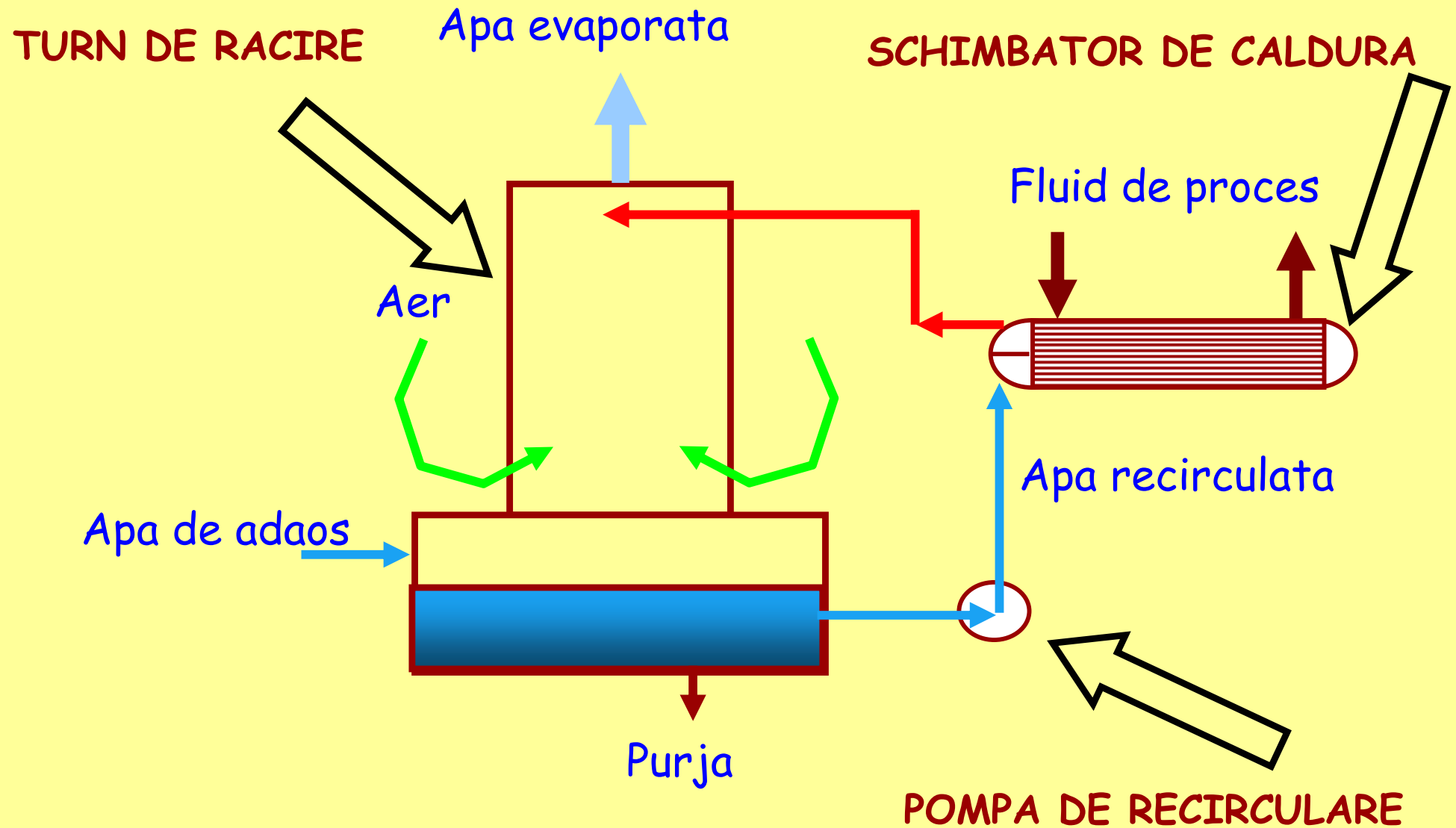
INSTALATII INDUSTRIALE PENTRU RACIREA APEI PRIN EVAPORARE IN AER

1. Bazine si lacuri de racire;
2. Bazine si lacuri de racire cu duze de stropire;
3. Turnuri de racire;
4. Straturi de inele Raschig.

DEBITUL DE APA CARE POATE FI RACITA PE 1 m² DE TEREN, PRIN EVAPORARE IN AER



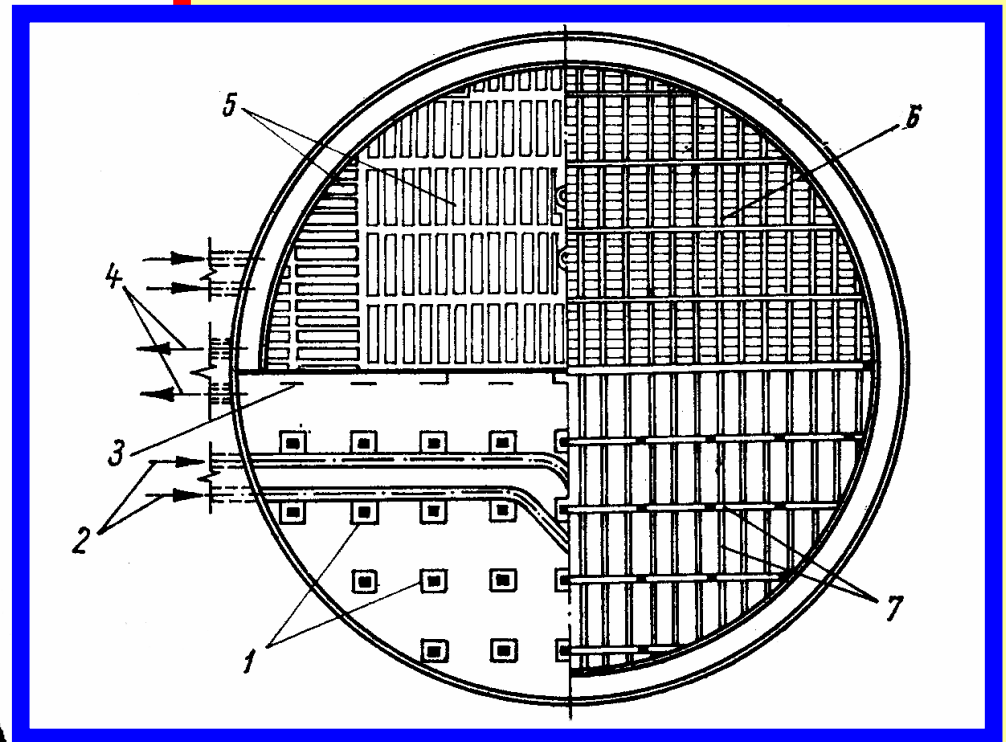
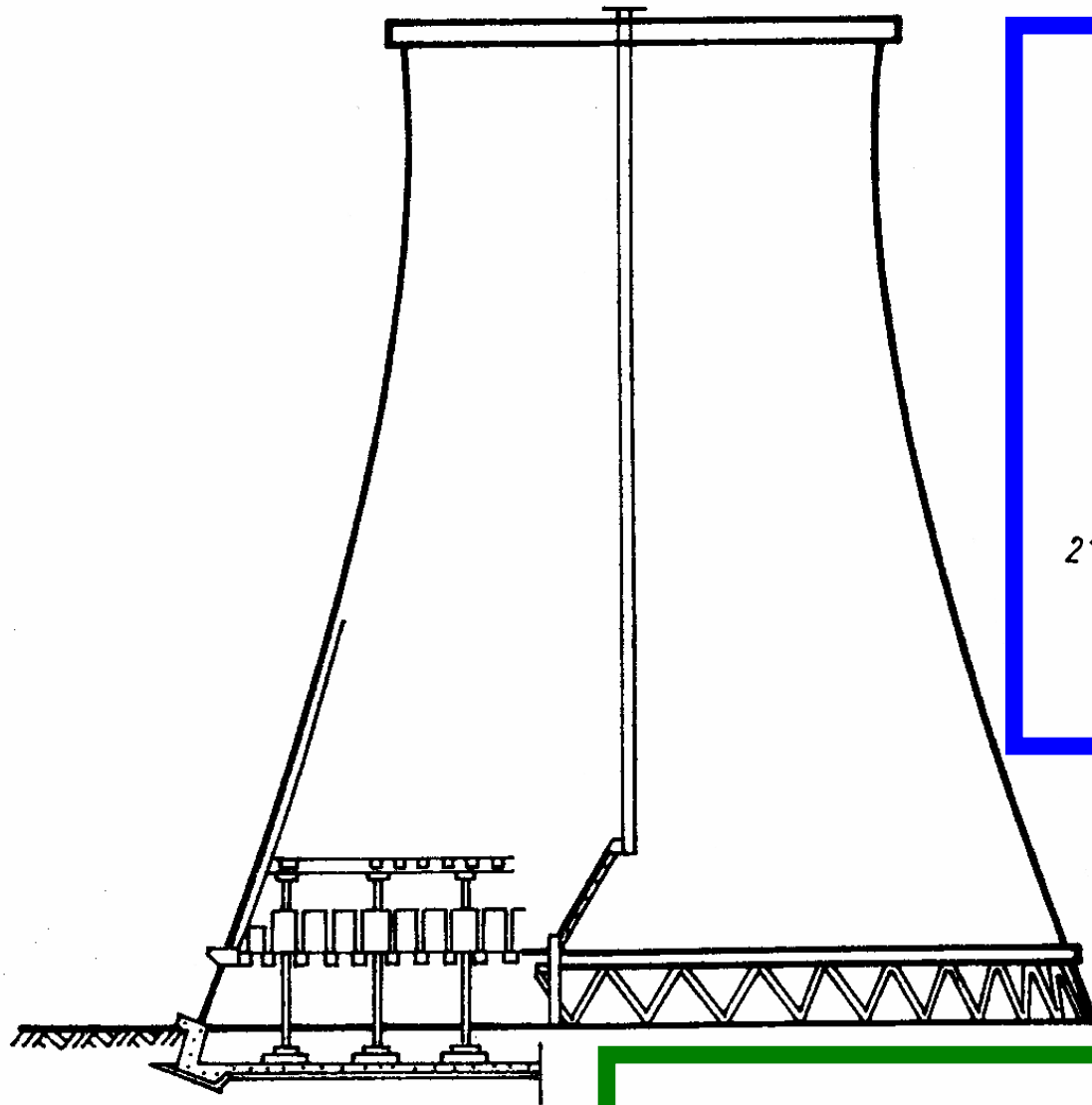
SCHEMA DE PRINCIPIU A UNEI INSTALATII CU TURN DE RACIRE



CLASIFICARE TURNURILOR DE RACIRE

- Cu tiraj natural
- Cu tiraj fortat:
 - ➔ cu circulatie fortata a aerului
 - ➔ cu circulatie indusa a aerului:
 - ➔ in contracurent
 - ➔ in curent incrucisat

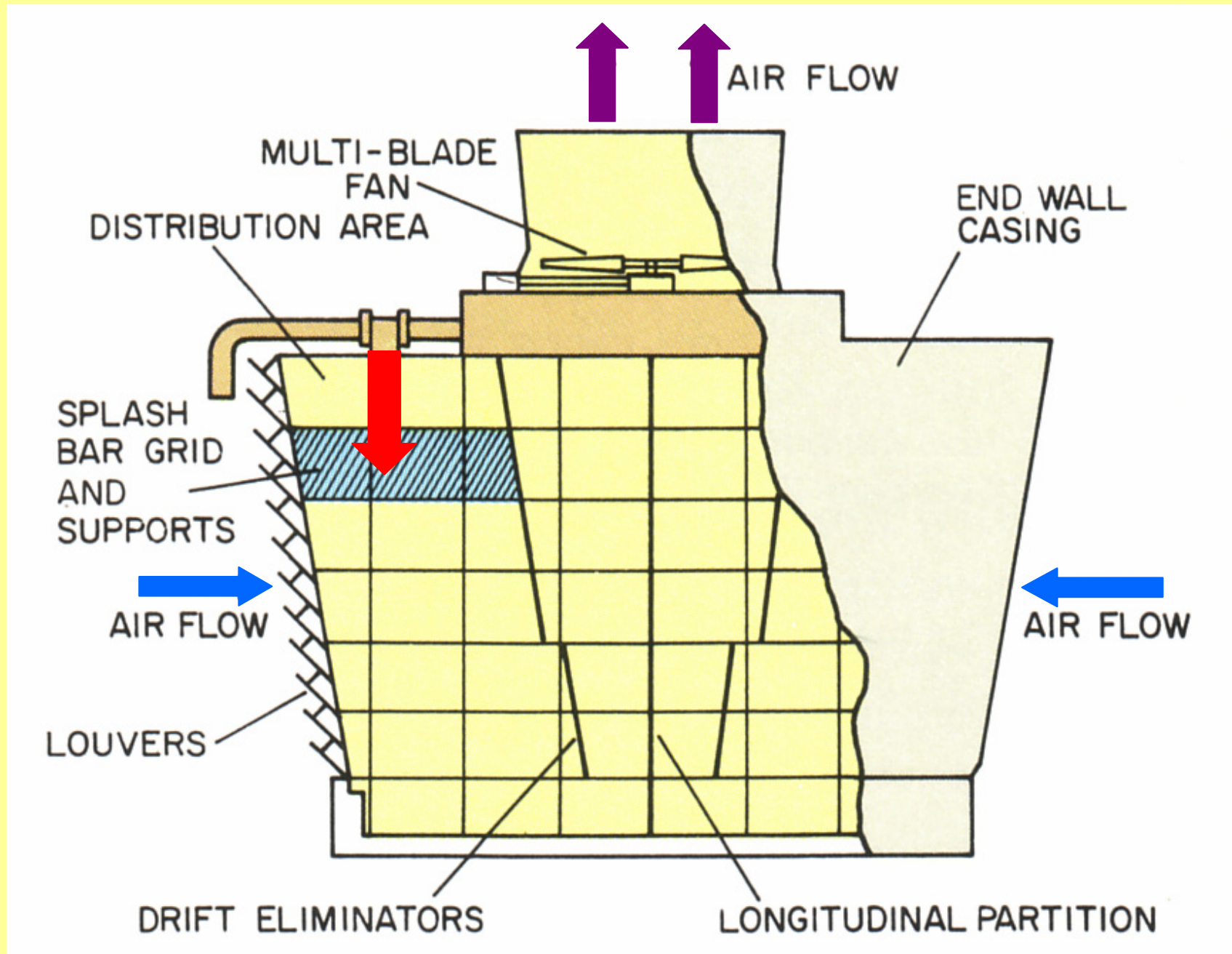
TURNURI DE RACIRE CU TIRAJ NATURAL



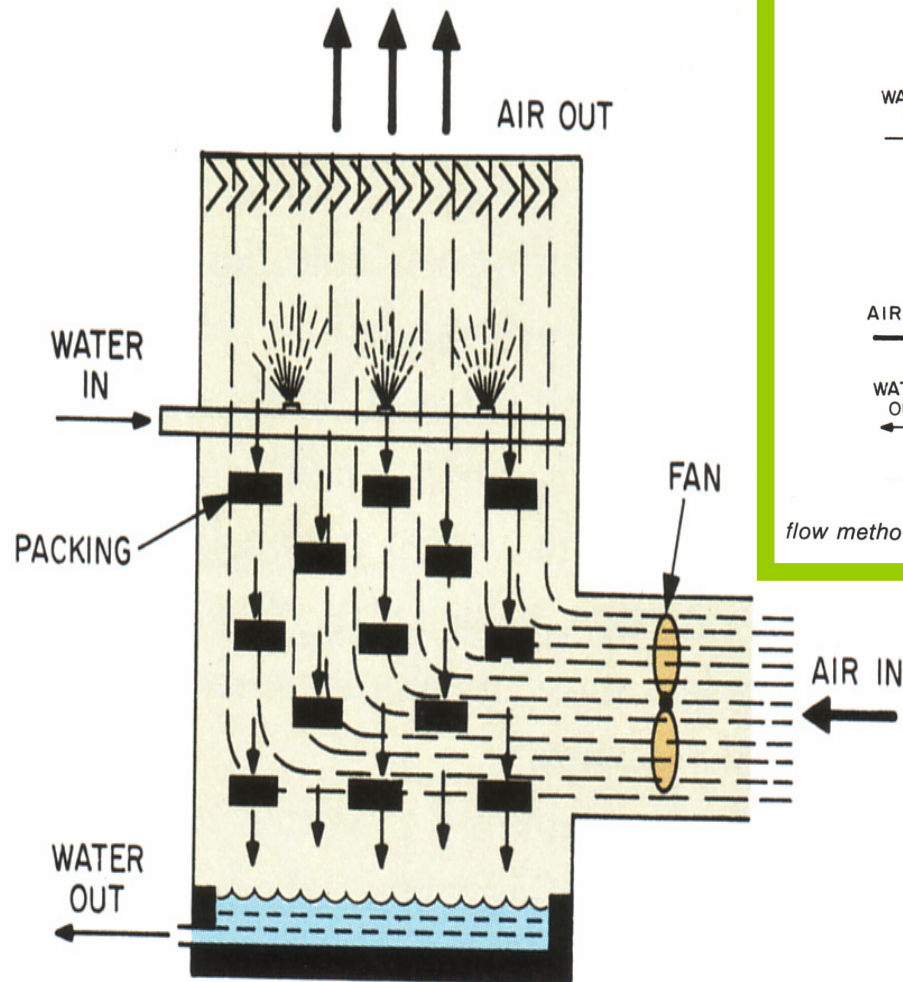
Turn cu tiraj natural cu manta sub formă de hiperboloid de revoluție, cu suprafața de stropire de 1520 m^2 :

1 — suporturi sub carcasa stropitorului; 2 — intrarea apei; 3 — perete despărțitor; 4 — evacuarea apei; 5 — distribuția apei; 6 — panourile stropitorului; 7 — grinzile stropitorului (sistemul de răcire).

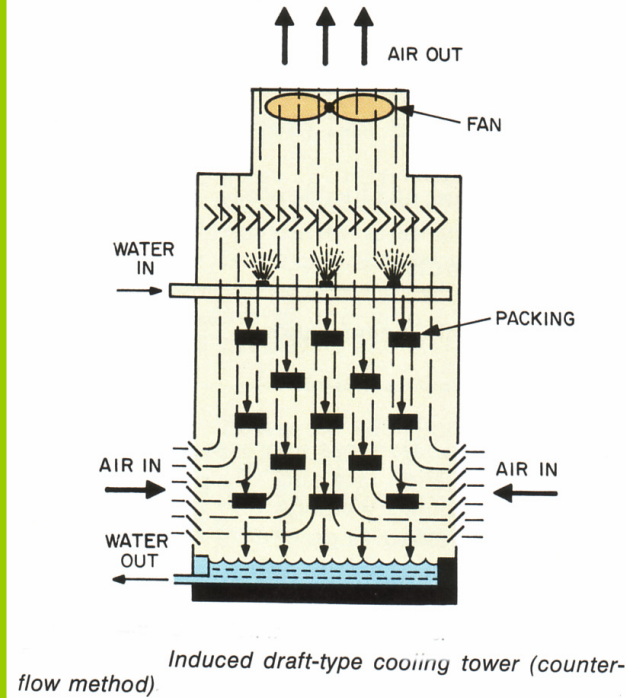
TURNURI DE RACIRE CU TIRAJ FORTAT



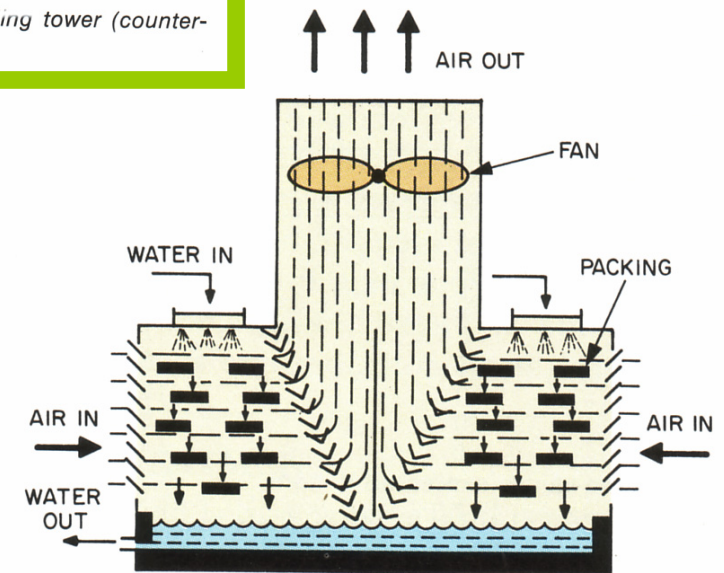
TURNURI DE RACIRE CU TIRAJ FORTAT



Forced draft-type cooling tower

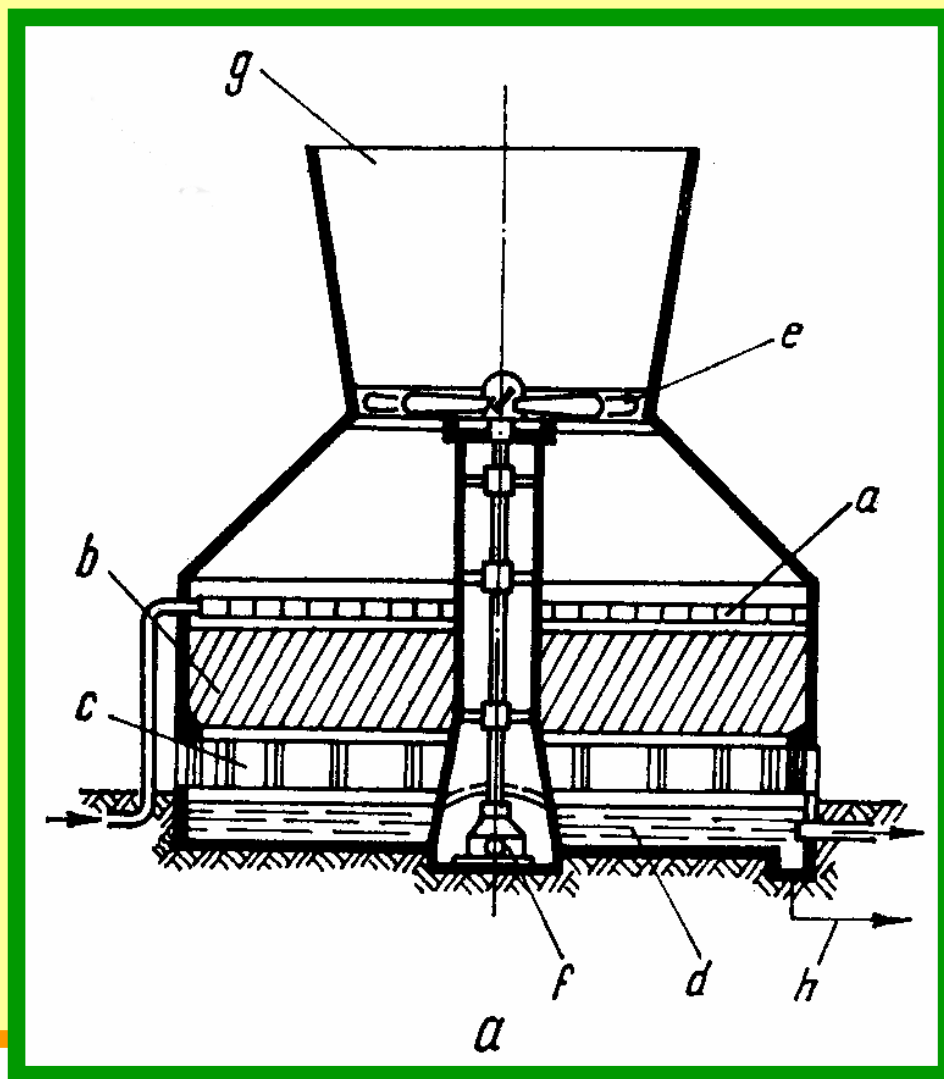


Induced draft-type cooling tower (counter-flow method)



Induced draft-type cooling tower (cross flow method).

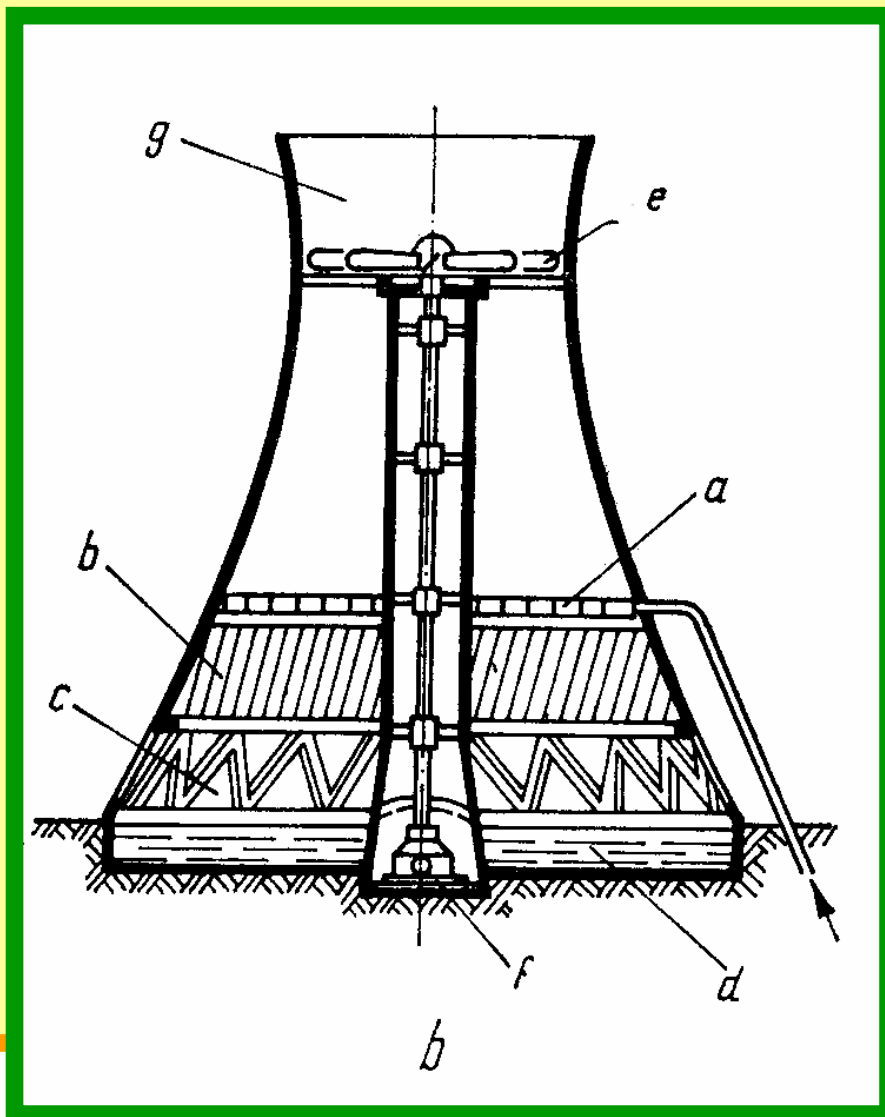
TURNURI DE RACIRE – TIPURI CONSTRUCTIVE PREDOMINANTE



CILINDRIC-CONIC
Predominant in Germany

a — dispozitiv de distribuție a apei;
b — dispozitive de stropire; *c* — intrarea aerului; *d* — bazin de colectare; *e* — ventilatoare; *f* —
agregate de antrenare; *g* — difuzor de evacuare; *h* — purjare.

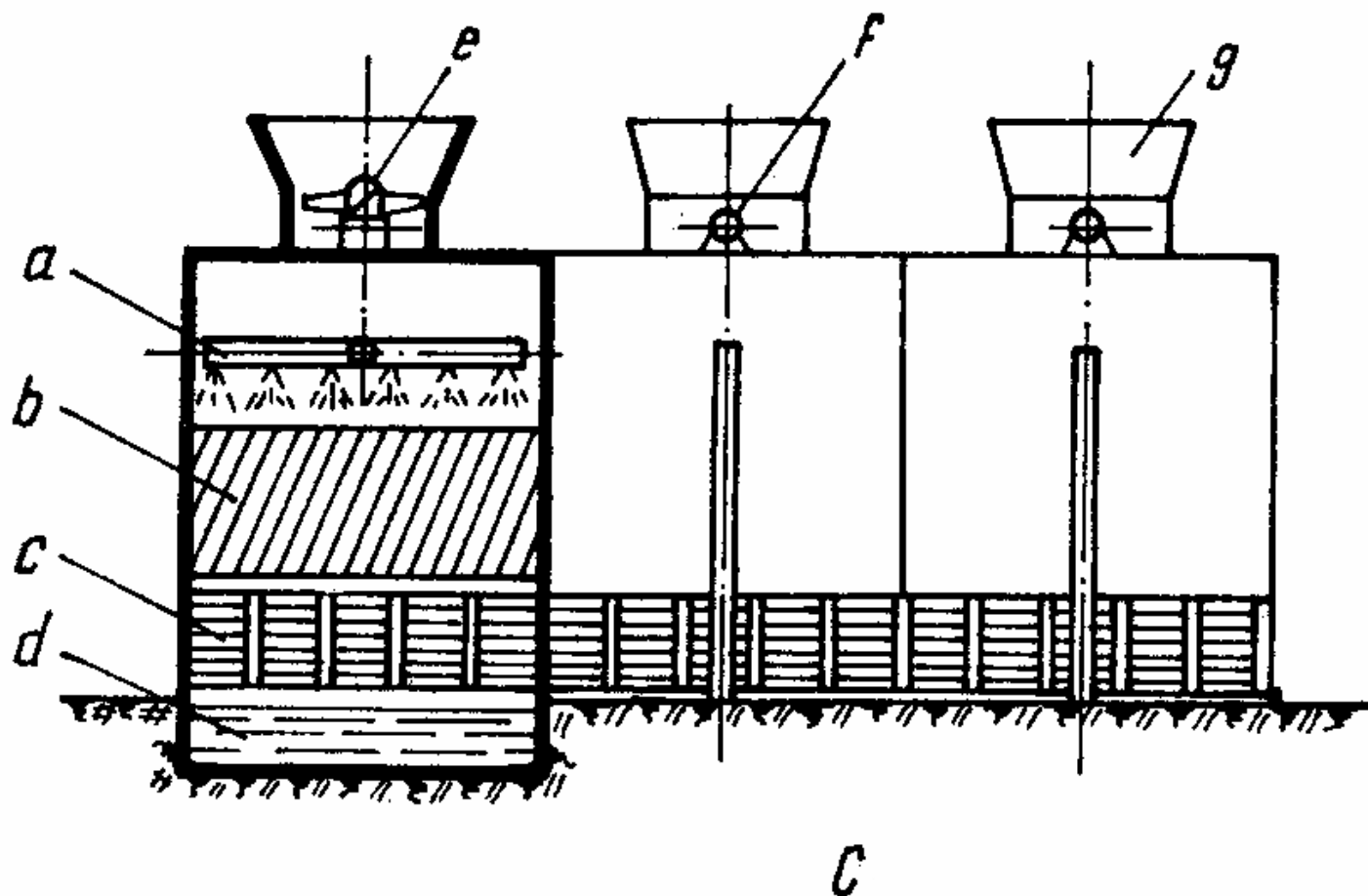
TURNURI DE RACIRE – TIPURI CONSTRUCTIVE PREDOMINANTE



HIPERBOLIC
Predominant in Anglia

a — dispozitiv de distribuție a apei;
b — dispozitive de stropire; *c* — intrarea aerului; *d* — bazin de colectare; *e* — ventilatoare; *f* — agregate de antrenare; *g* — difuzor de evacuare; *h* — purjare.

TURNURI DE RACIRE – TIPURI CONSTRUCTIVE PREDOMINANTE



CELULAR
Predominant
in SUA

a — dispozitiv de distribuție a apei;
b — dispozitive de stropire; *c* — intrarea aerului; *d* — bazin de colectare; *e* — ventilatoare; *f* —
 agregate de antrenare; *g* — difuzor de evacuare; *h* — purjare.

COMPARATIE:

TIRAJ FORTAT – TIRAJ NATURAL

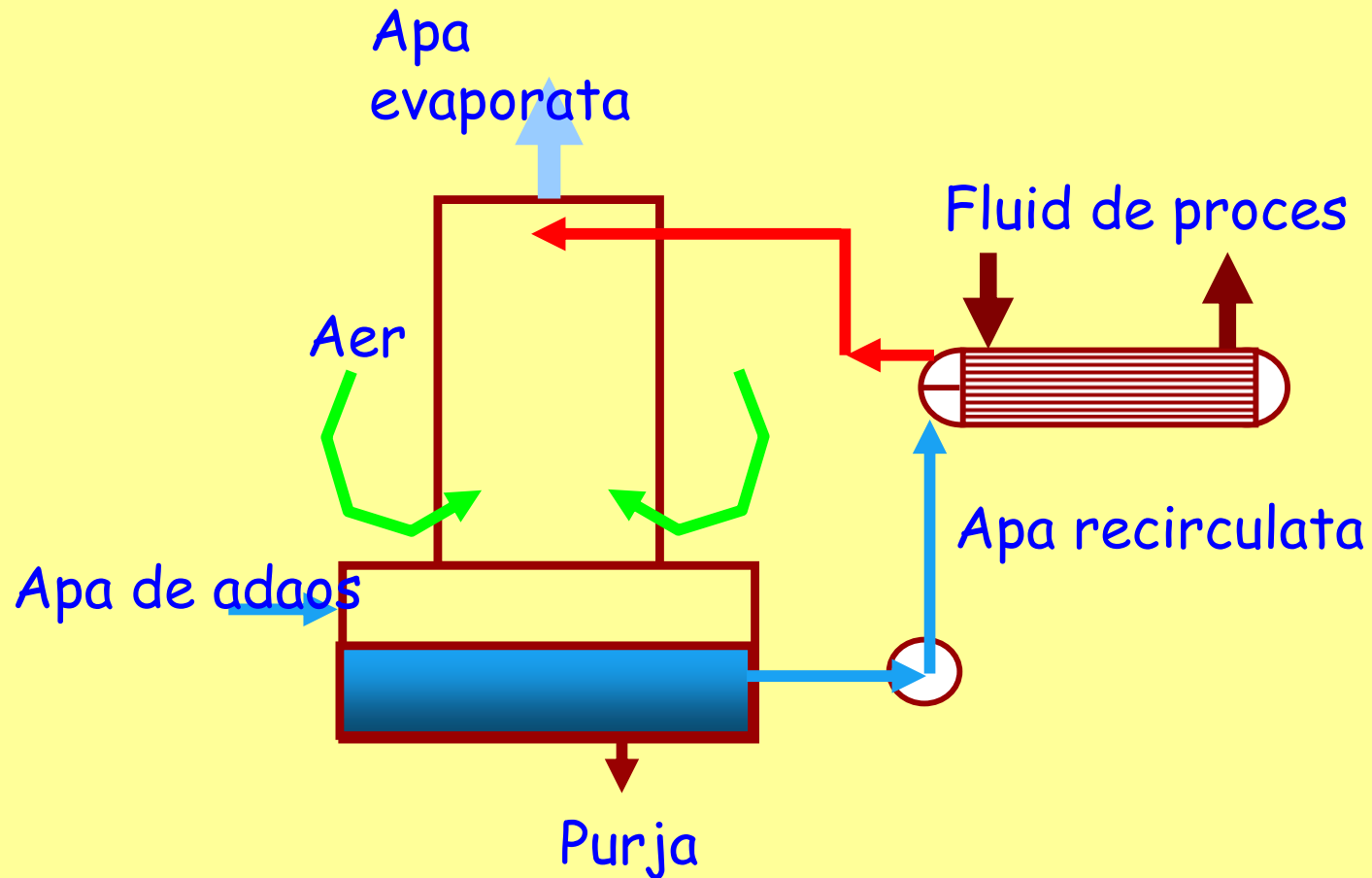
Tipul turnului ($\Delta T = 10^{\circ}C$, $T_{aer} = 12^{\circ}C$, $\varphi_{aer} = 70\%$)		Debit apa [mc/h]	Incarcare specifica [kg/(mp.s)]	Temp. termo- metru umed [$^{\circ}C$]	Temp. apa racita [$^{\circ}C$]
Tiraj natural	Hiperbolic cu picurare	10500	1,91	20	33,0
	Hiperbolic pelicular	16200	1,80	17	29,8
Tiraj fortat	Cu ventilator si prelingere	11500	2,66	20	25,2
	Monoventila- tor tip Hamon	20000	3,60	17	26,2

COMPARATIE:

TIRAJ FORTAT – TIRAJ NATURAL

- Consum energetic suplimentar pentru ventilatoare
 - Costuri de investitii mai reduse (turnuri cu geometrii simple si inaltimi reduse)
 - Asigura $\Delta T \approx 10 \text{ K}$
- Consum energetic mai redus
 - Costuri de investitii ridicate (turnuri hiperbolice din BA cu $H \approx 100 \text{ m}$)
 - Asigura $\Delta T \approx 7 \text{ K}$

BILANTUL APEI



$$\text{Apa de adaos} = \text{Apa evaporata} + \text{Purja}$$

BILANTUL APEI

Apa de adaos = Apa evaporata + Purja

Pentru a mentine constanta concentratia sarurilor in sistem:

$$Q_{AA} \cdot C_{SAA} = Q_{PJ} \cdot C_{SPJ} \quad \{1\}$$

Unde: Q_{AA} - debitul apei de adaos [mc/sec]
 Q_{PJ} - debitul apei purjate [mc/sec]
 Q_{AR} - debitul apei recirculate [mc/s]
 C_{SAA} - concentratia sarurilor in apa de adaos [mg/L]
 C_{SPJ} - concentratia sarurilor in apa de purja [mg/L]
 C_{SAR} - concentratia sarurilor din apa recirculata [mg/L]

In regim de functionare continuu si stationar:

$$C_{SPJ} = C_{SAR} \quad \{2\}$$

BILANTUL APEI

- Factorul de concentrare (N_c):

$$N_c = \frac{Q_{AA}}{Q_{PJ}} = \frac{C_{SPJ}}{C_{SAA}} = \frac{Q_{PJ} + Q_{EV}}{Q_{PJ}} = 1 + \frac{Q_{EV}}{Q_{PJ}}$$

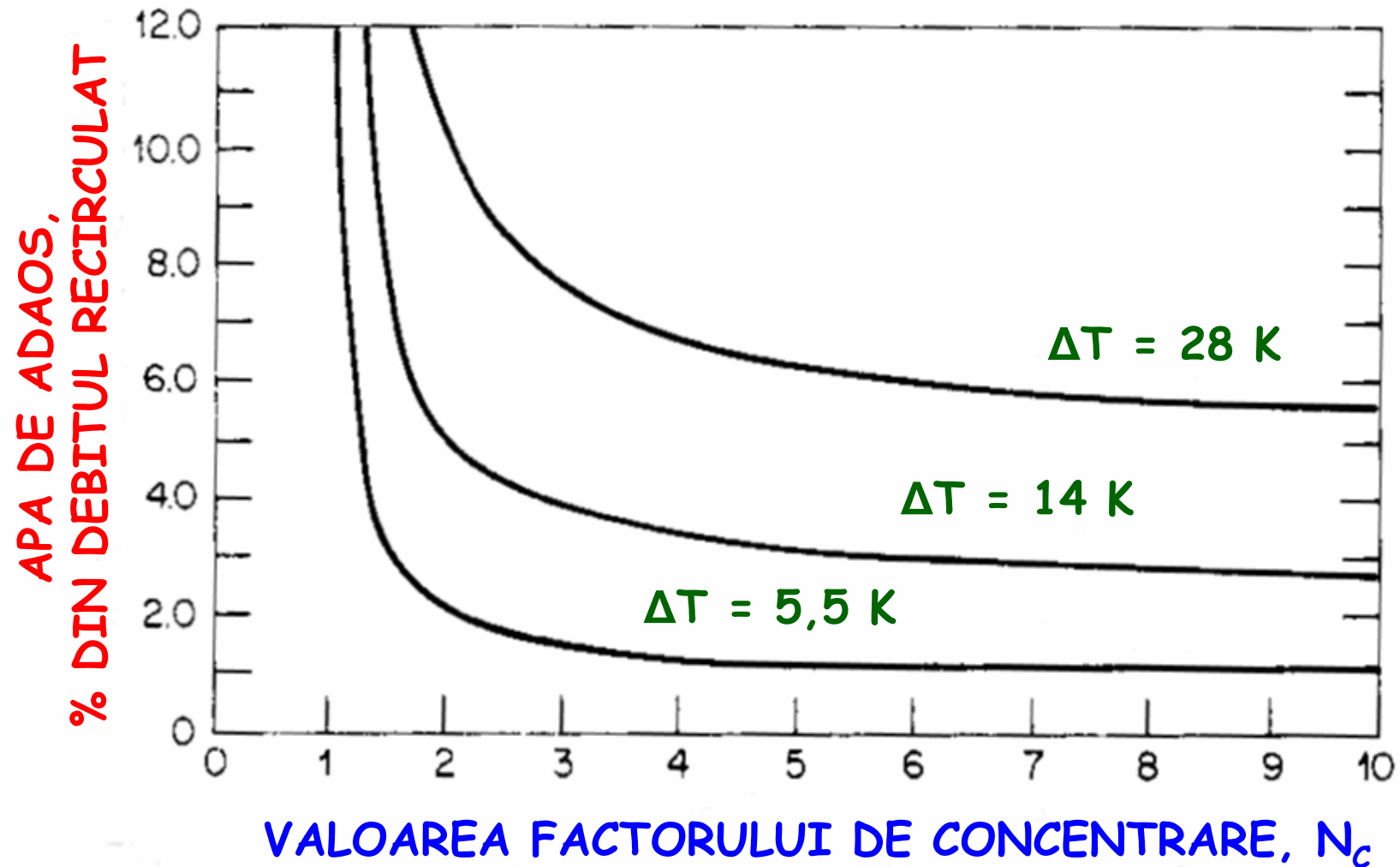
- Cunoscand N_c si debitul de apa evaporata (Q_{EV}), se poate calcula purja sistemului:

$$Q_{PJ} = \frac{Q_{EV}}{N_c - 1}$$

CHIMISMUL APEI DE RACIRE

Componenti	Apa de adaos	Apa recirculata	
		$N_c = 2$	$N_c = 3$
Duritate totala, mg/L CaCO_3	60	120	180
Calciu, mg/L CaCO_3	50	100	150
Magneziu, mg/L CaCO_3	10	20	30
Alcalinitate "p", mg/L CaCO_3	0	0	10
Alcalinitate "m", mg/L CaCO_3	50	100	150
Sulfati, mg/L SO_4	40	80	120
Cloruri, mg/L Cl	10	20	30
Silice, mg/L SiO_2	5	10	15
pH	7,0	7,3	8,3
pH de saturatie (la 60°C)	7,8	7,3	6,8
Indice de saturatie Langelier	-0,8	0,0	+1,5
Indice de stabilitate Ryznar	8,6	7,3	5,3
Caracterul apei	neincrustant	neincrustant	incrustant

CONSUMUL DE APA DE ADAOS



RACIREA PRIN DESTINDERE

- o Destinderea unui gaz:
 - Fara producere de lucru mecanic
 - Cu producere de lucru mecanic

RACIREA PRIN DESTINDERE FARA PRODUCERE DE LUCRU MECANIC

- Procesul decurge la entalpie constanta:

$$H_2 = H_1, \text{ respectiv } dH = 0$$

- Variatia entalpiei cu P si T:

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P dT + \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP$$

adica:

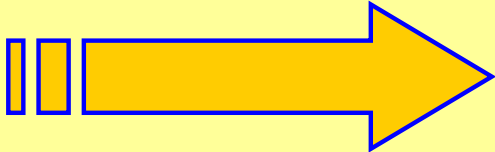
$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P dT + \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_H dP$$

sau:

$$dH = c_p \cdot dT - c_p \cdot \mu \cdot dP \quad \text{unde:} \quad \mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_H$$

Coeficientul efectului differential Joule-Thomson

RACIREA PRIN DESTINDERE FARA PRODUCERE DE LUCRU MECANIC

- Gaze ideale: destinderea se face fara consum de lucru mecanic 
- Desinderea gazelor ideale are loc la $T = \text{constant}$
- Gaze reale: destinderea se face cu consum de lucru mecanic pentru invingerea fortelor de atractie dintre molecule.

RACIREA PRIN DESTINDERE FARA PRODUCERE DE LUCRU MECANIC

- Efectul Joule-Thomson integral:

$$\mu_i \cdot (P_1 - P_2) = \int_{P_1}^{P_2} dP$$

Efectul Joule - Thomson pentru aer (P finala = 0,1 MPa)

Temp. initiala		Racirea aerului [K] la P initiala:		
[°C]	[K]	5 MPa	10 MPa	20 MPa
+15	288	11,6	22,5	39,0
-20	253	16,0	30,8	55,0
-50	223	21,4	42,7	71,5

RACIREA PRIN DESTINDERE CU PRODUCERE DE LUCRU MECANIC

- La aceleasi caderi de presiune se obtin raciri mult mai importante daca gazele sunt fortate sa produca nu numai lucru mecanic pentru invingerea fortelor interne (intermoleculare), dar si lucru mecanic extern, intr-o masina cu piston (detentor) sau turbodetentor.

RACIREA PRIN DESTINDERE CU PRODUCERE DE LUCRU MECANIC

- Destinderea este politropa, apropiata de destinderea adiabatica:
- Temperatura finala a gazului se determina din ecuatie:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

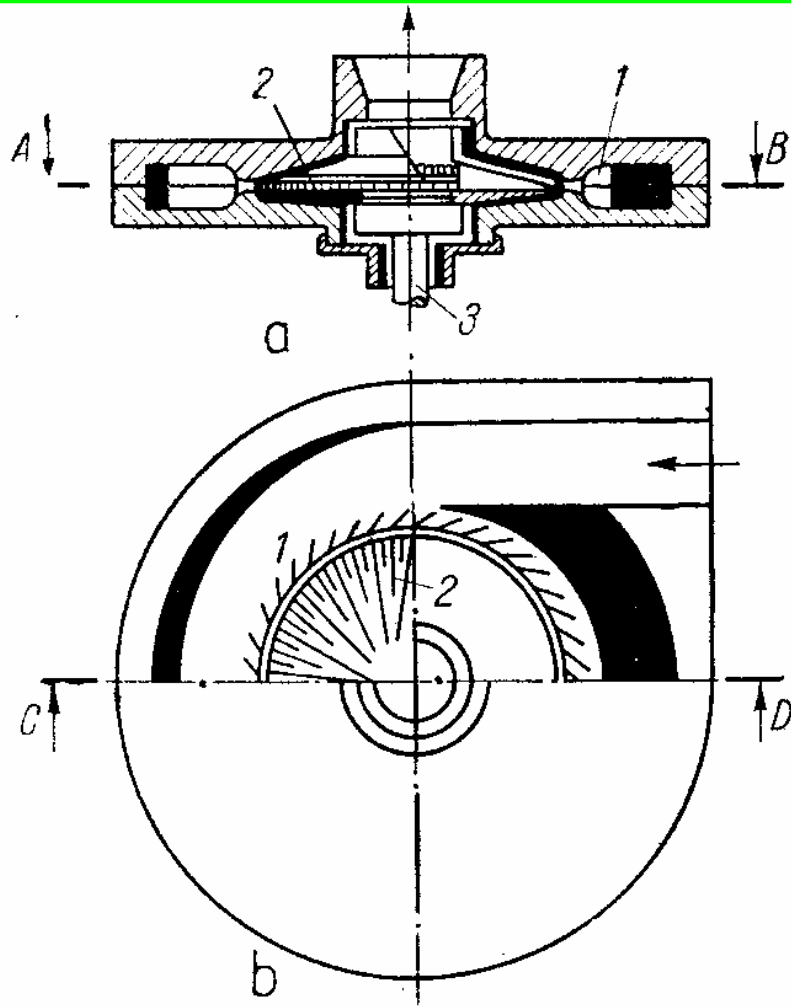
in care "n" este exponentul politropic.

RACIREA PRIN DESTINDERE CU PRODUCERE DE LUCRU MECANIC

TURBODETENTOARE

Turbodetentorul Kapitza

- Expandare de la presiuni relativ joase a unor debite mari de aer;
- Diametre mici: 8 cm;
- Turatii mari: 40 000 rot/min;
- Randament: 79 - 83 %;
- Masa: 250 g.



Turbodetentorul Kapitza:

a — secțiunea CD; b — secțiunea AB;
1 — stator; 2 — rotor; 3 — arbore.

RACIREA MECANICA PRIN:

- ★ Comprimare;
- ★ Absorbție;
- ★ Adsorbție.

SE STUDIAZA IN CADRUL
CURSULUI DE
TEHNICA FRIGULUI