

OPERATII SI PROCESE TERMICE IN INDUSTRIA ALIMENTARA SI BIOTEHNOLOGII

- Incalzirea
- Racirea
- Condensarea
- Pasteurizarea
- Sterilizarea
- Evaporarea
- Cristalizarea
- Uscarea
- Distilarea
- Rectificarea

INCALZIREA

APARATELOR SI REACTOARELOR

- **APARATE** – utilaje in care au loc procese de natura FIZICA (numai TRANSFER)
- **REACTOARE** – utilaje in care au loc procese de natura CHIMICA si/sau BIOCHIMICA (TRANSFORMARE + TRANSFER)

INCALZIREA

AGENTUL PURTATOR
DE CALDURA

(**AGENTUL TERMIC**)

- Preia ENERGIA
TERMICA de la o SURSA
DE ENERGIE:

- **CHIMICA** (ex.
Arderea
combustibilului)
- **NUCLEARA** (ex.
CNE)
- **MECANICA** (ex.
Pompa de caldura)
- **SOLARA**
- **Etc.**

Agent cald

The diagram illustrates a thermodynamic cycle on a dark blue background. A large red arrow, labeled 'Agent cald' in white italicized text, curves from the 'SURSA DE ENERGIE' (Energy Source) on the left to the 'PROCES TEHNOLOGIC' (Technological Process) on the right. A large light blue arrow, labeled 'Agent rece' in white italicized text, curves from the 'PROCES TEHNOLOGIC' back to the 'SURSA DE ENERGIE'. A yellow wavy arrow points downwards from the 'PROCES TEHNOLOGIC' area, labeled 'Pierderi de caldura' (Heat losses) in yellow text.

SURSA DE ENERGIE

PROCES TEHNOLOGIC

Agent rece

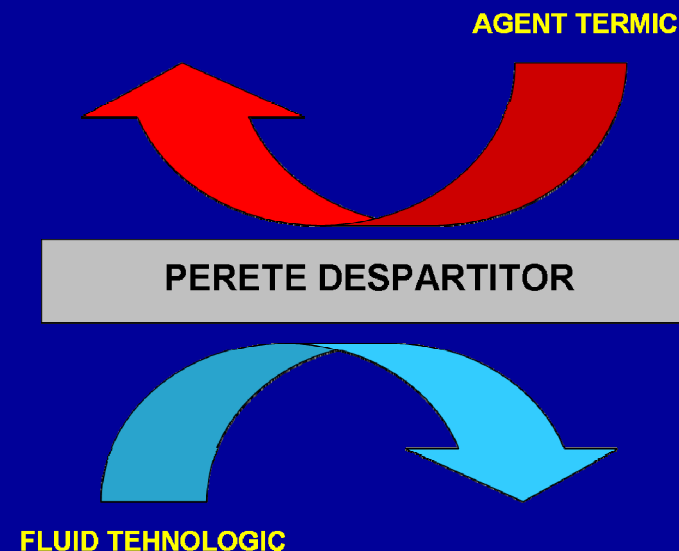
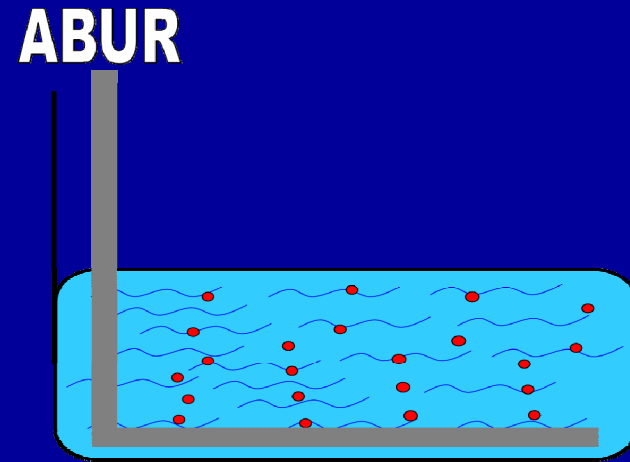
**Pierderi de
caldura**

PURTATORI DE CALDURA

- Gazosi (vapori): aer, gaze de ardere, abur
- Lichizi: apa, lichide organice, saruri topite
- Solizi: bile, granule

TIPURI DE INCALZIRE

- Incalzire **DIRECTA**
(ex: barbotare de abur in apa)
- Incalzire **INDIRECTA**
(ex: prin intermediul unui perete despartitor)

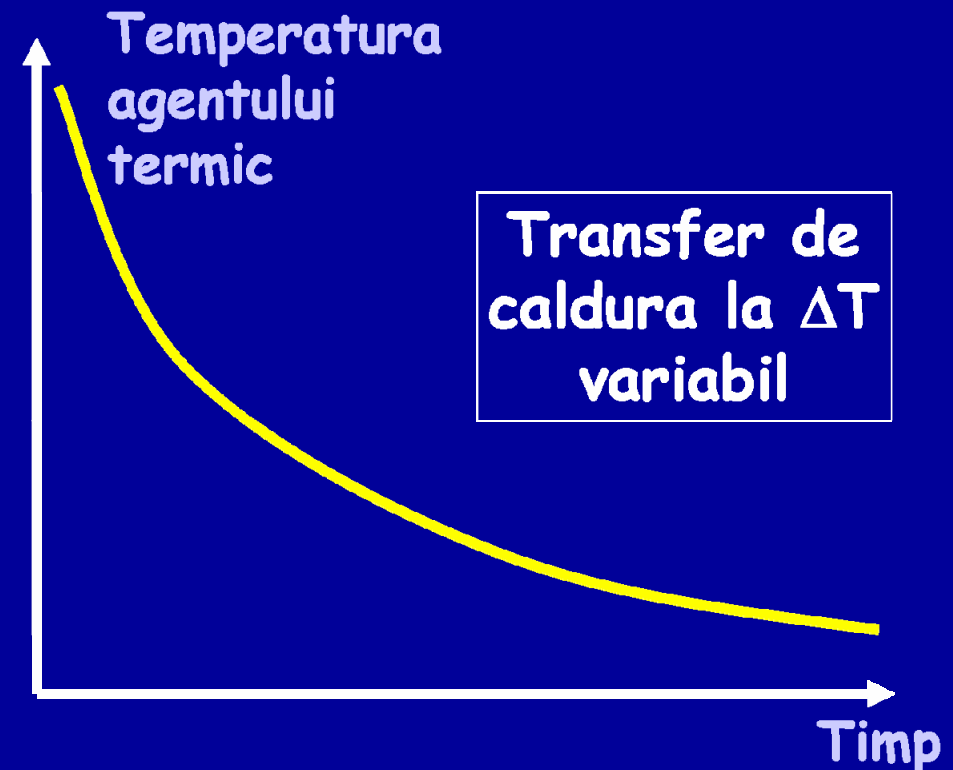


INCALZIREA CU AGENTI TERMICI IN STARE GAZOASA

- ❖ Agentul termic nu-si schimba starea de agregare - cedeaza numai **CALDURA SENSIBILA** (incalzire cu gaze permanente)
- ❖ Agentul termic isi schimba starea de agregare (vapori condenseaza) - cedeaza **CALDURA LATENTA** (incalzire cu vapori in condensare)

INCALZIREA CU GAZE

- GAZE: au c_p si α scazute $\rightarrow$ purtatori de caldura SLABI;
- Cedeaza caldura sensibila, temperatura lor scazand continuu
- **Exemple:**
 - o Gaze de ardere
 - o Aer cald



INCALZIREA CU GAZE

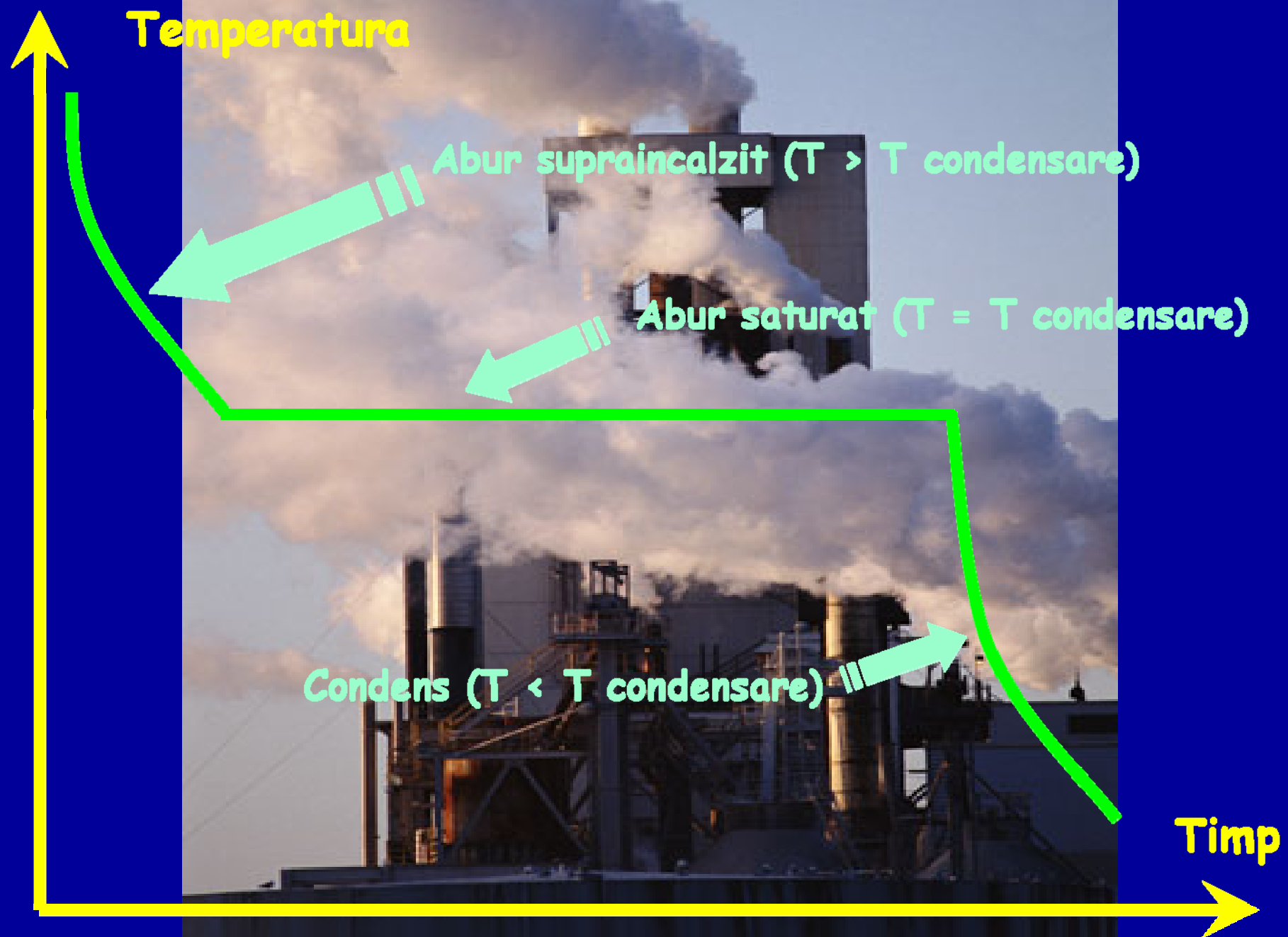
- Incalzirea cu GAZE DE ARDERE:
 - o Incalzire cu flacara directa
 - o Ardere la suprafata (fara flacara)
 - o Incalzire cu arzator scufundat
- Incalzirea cu AER CALD:
 - o Uscarea (aerul = agent termic + agent de transport al umiditatii vaporizate din produs)

INCALZIREA CU VAPORI

- AVANTAJE:

- o Caldura mare de condensare
- o Coeficient de transfer termic foarte ridicat
- o Temperatura constanta a agentului termic in timpul cedarii caldurii (condensarii)
- o Evitarea supraincalzirilor locale prin diferenta relativ mica intre T_{agent} si $T_{\text{material incalzit}}$

INCALZIREA CU ABUR



INCALZIREA CU ABUR

Avantaje

- Caldura ridicata de condensare ($\sim 2500 \text{ kJ/kg}$)
- Coeficient ridicat de transfer termic ($10000 - 15000 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$)
- Viscositate acceptabila ($8 \times 10^{-6} - 45 \times 10^{-6} \text{ Pa.s}$)
- Cost relativ redus
- Neinflamabil, nepoluant, netoxic
- Corozivitate scazuta
- Temp. maxima de incalzire: $\approx 200^{\circ}\text{C}$ (473 K)

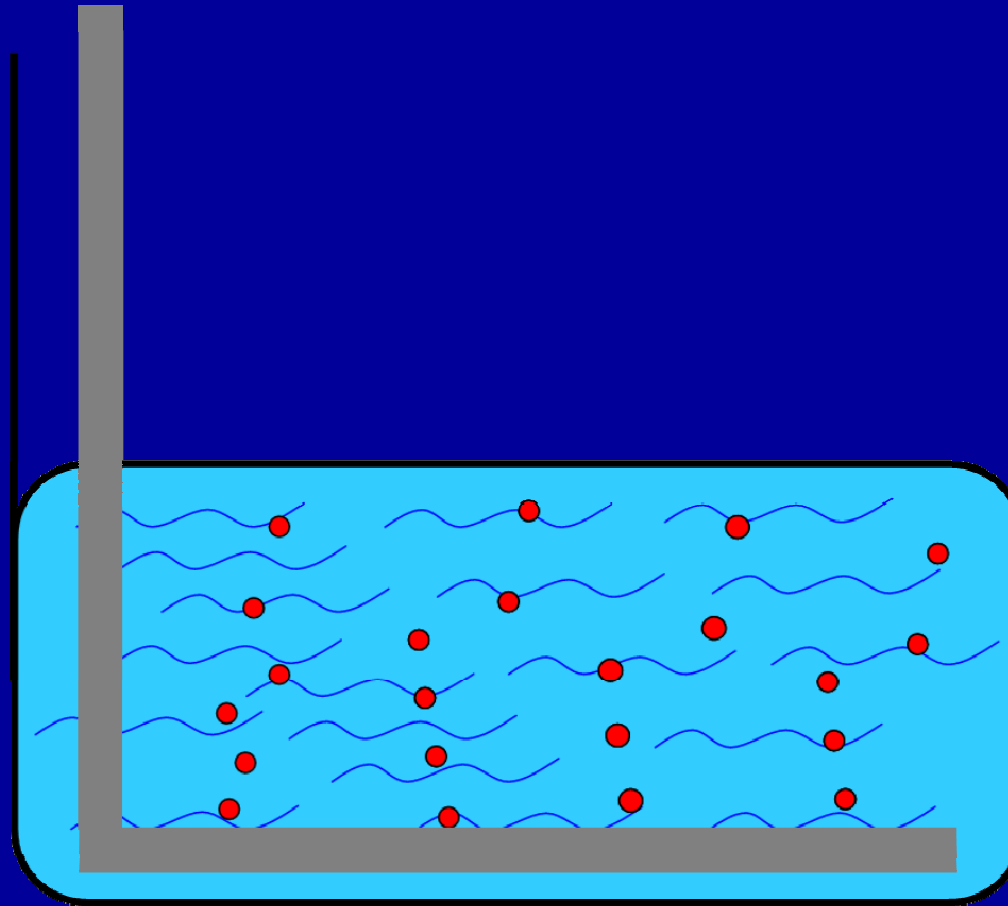
INCALZIREA CU ABUR

- o Se utilizeaza, de regula, **ABUR SATURAT**:
 - ✓ De joasa presiune (AJP): **0,3-0,6 MPa**
 - ✓ De medie presiune (AMP): **0,7-1,5 MPa**
 - ✓ De inalta presiune (AIP): **> 1,5 MPa**
- o **ABUR SUPRAINCALZIT** ($T > T_{\text{condensare}}$):
 - **USCAT** - nu contine picaturi de apa
 - **UMED** - contine picaturi de apa
- o **TITLUL ABURULUI**: cantitatea de apa lichida (kg) existenta in 1 m^3 de abur

MODALITATI de incalzire cu abur:

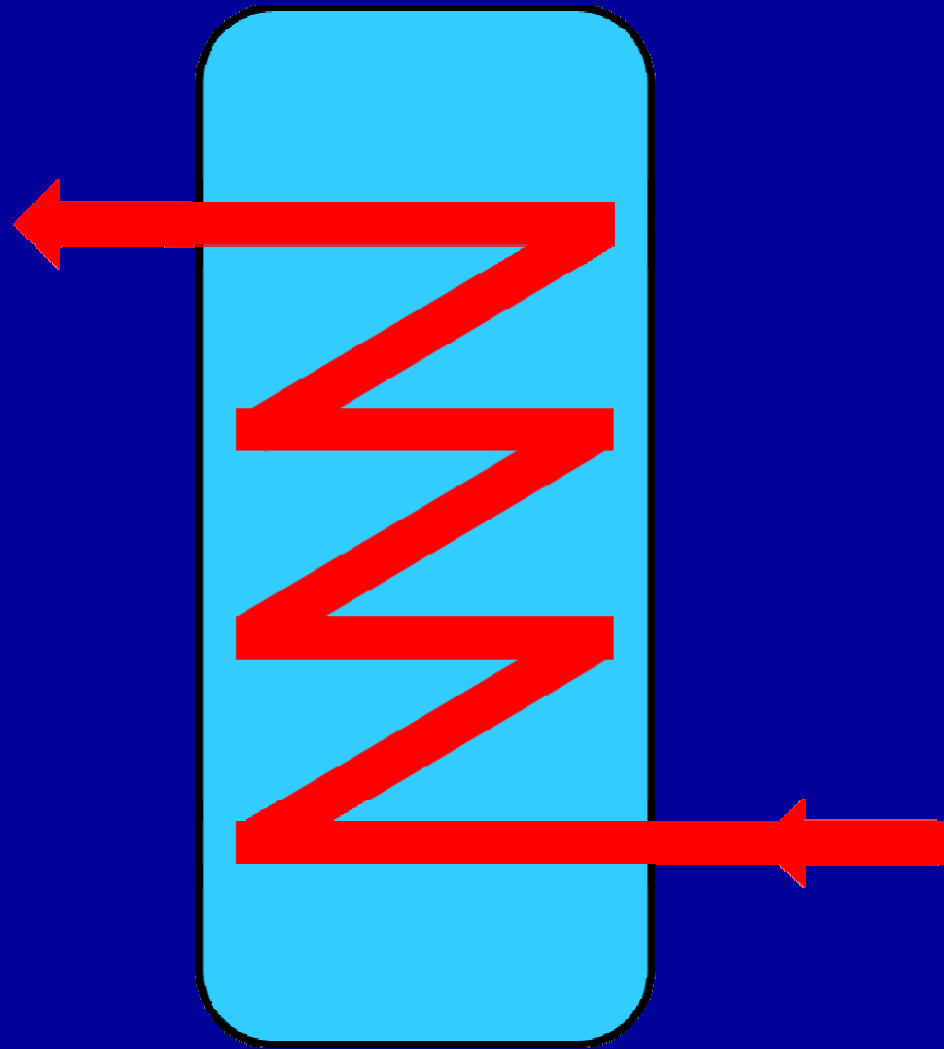
DIRECT

ABUR



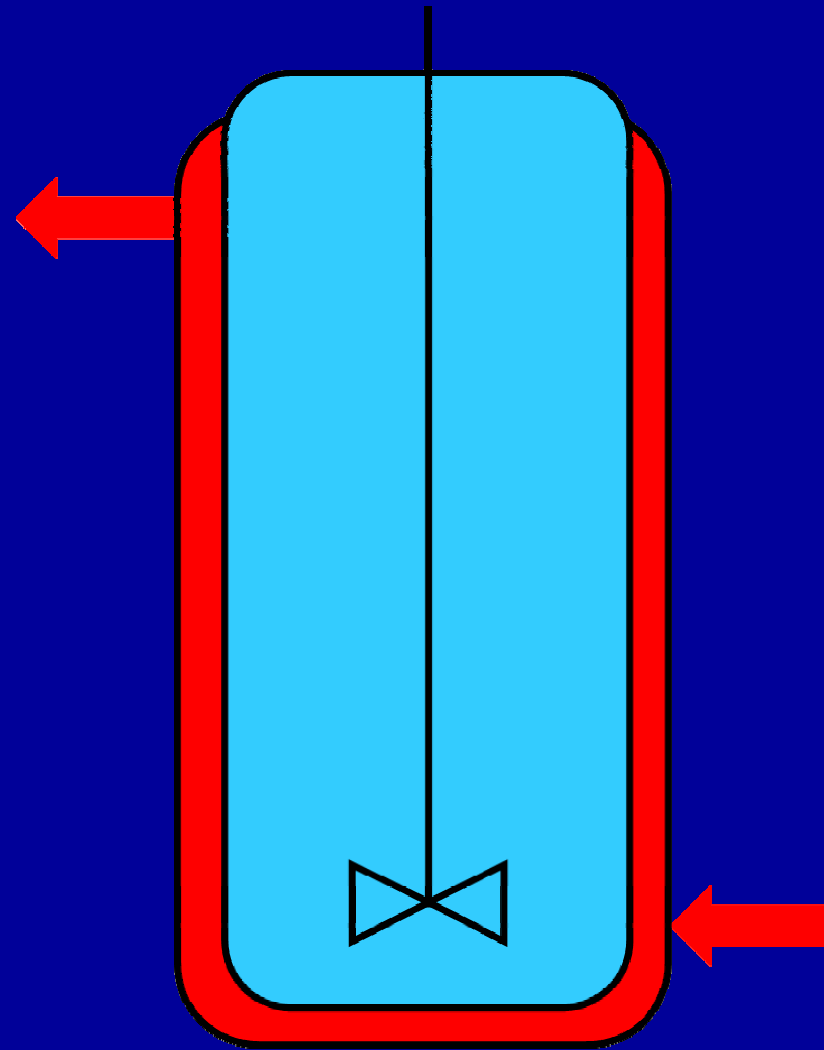
MODALITATI de incalzire cu abur:

PRIN SERPENTINE INTERIOARE



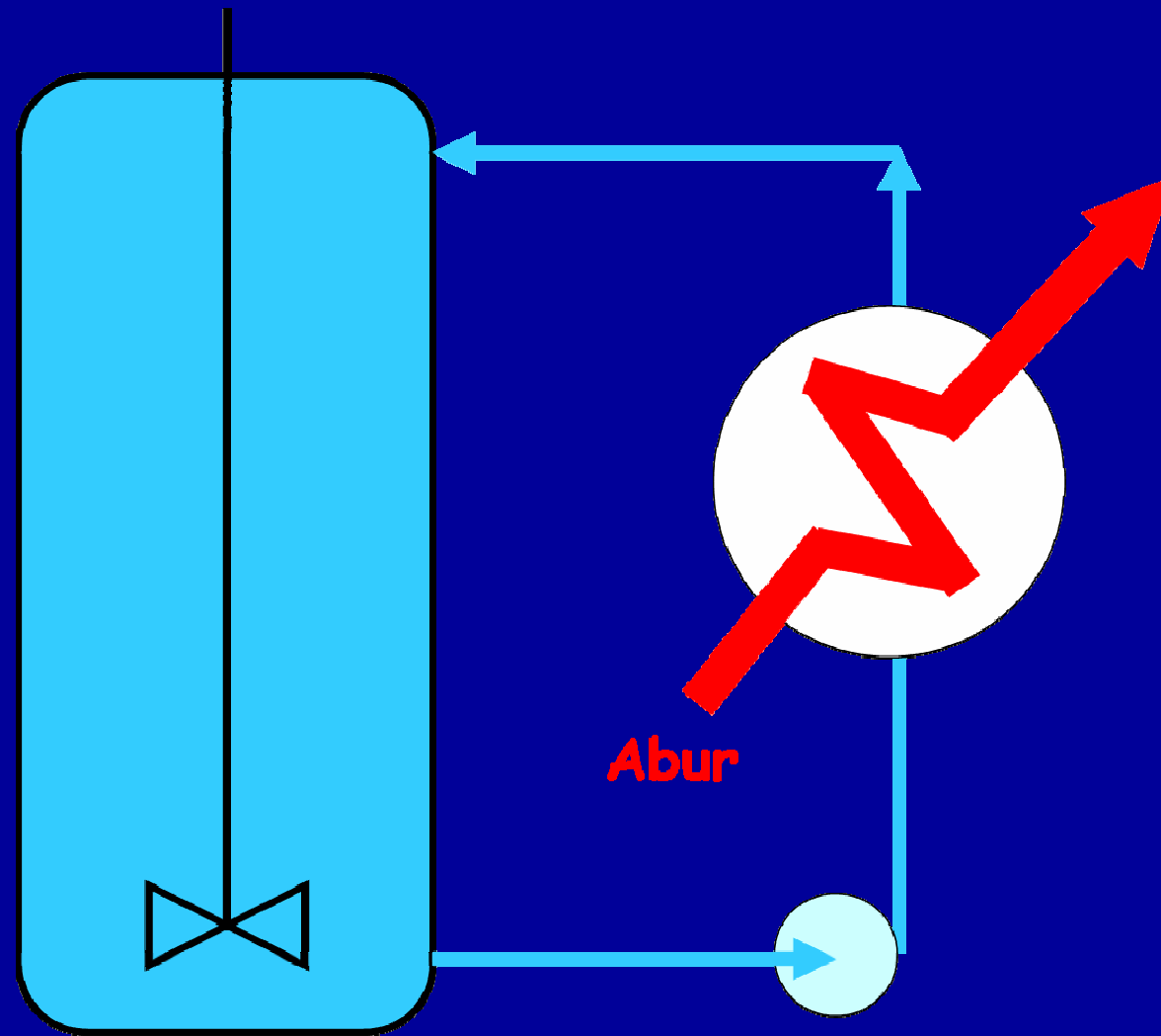
MODALITATI de incalzire cu abur:

PRIN MANTALE EXTERIOARE



MODALITATI de incalzire cu abur:

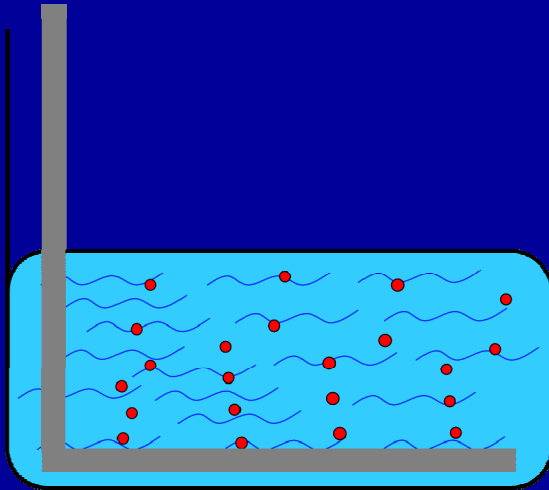
PRIN RECIRCULAREA FLUIDULUI IN SCHIMBATOARE DE CALDURA EXTERIOARE



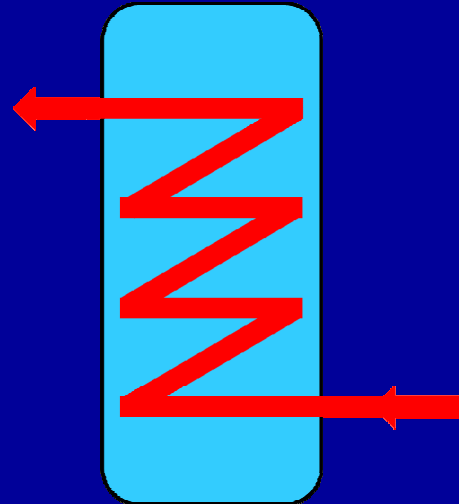
MODALITATI de incalzire cu abur

DIRECT

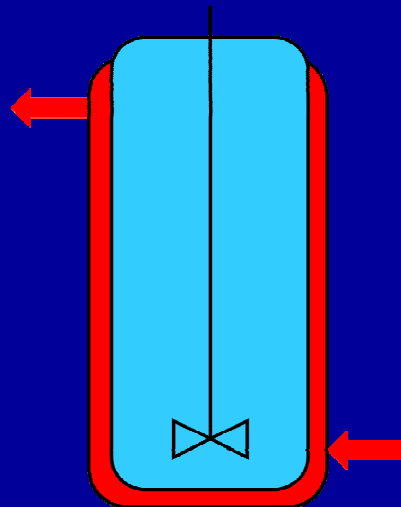
ABUR



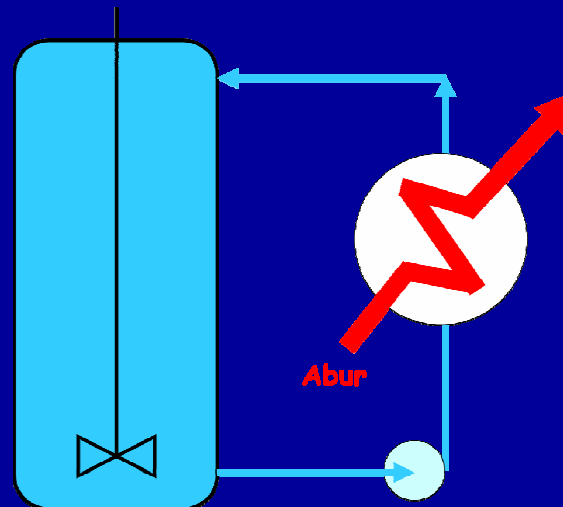
PRIN
SERPENTINE
INTERIOARE



PRIN
MANTALE
EXTERIOARE



PRIN
RECIRCULAREA
FLUIDULUI IN
SCHIMBATOARE
DE CALDURA
EXTERIOARE



INCALZIREA LA $T > 200\text{ }^{\circ}\text{C}$:

vapori organici mai puțin volatili decât apă

- o Caldura de vaporizare (ΔH_{vap}) **mare**
- o Conductivitate termică (λ) **mare**
- o Capacitate termică masică (c_p) **mare**
- o Stabilitate termică **mare**
- o Volatilitate **scazuta**
- o Viscositate dinamică (μ) **mica**
- o Punct de topire (T_{topire}) **mic**
- o Agresivitate chimică **mica**
- o Inflamabilitate **mica**
- o Toxicitate **mica**

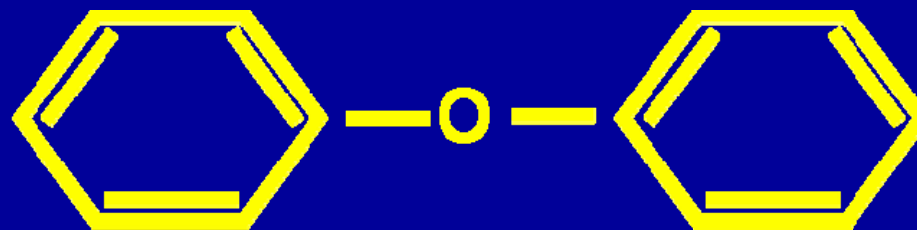
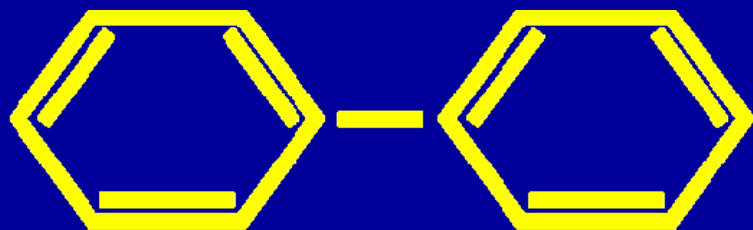
INCALZIREA LA $T > 200\text{ }^{\circ}\text{C}$:

vapori organici mai puțin volatili decât apă

- o Caldura de vaporizare (ΔH_{vap}) **mare**
- o Conductivitate termică (λ) **mare**
- o Capacitate termică masică (c_p) **mare**
- o Stabilitate termică **mare**
- o Volatilitate **scazuta**
- o Viscositate dinamică (μ) **mica**
- o Punct de topire (T_{topire}) **mic**
- o Agresivitate chimică **mica**
- o Inflamabilitate **mica**
- o Toxicitate **mica**

EXEMPLU: DIFIL

(26,5% difenil + 73,5% difenileter)

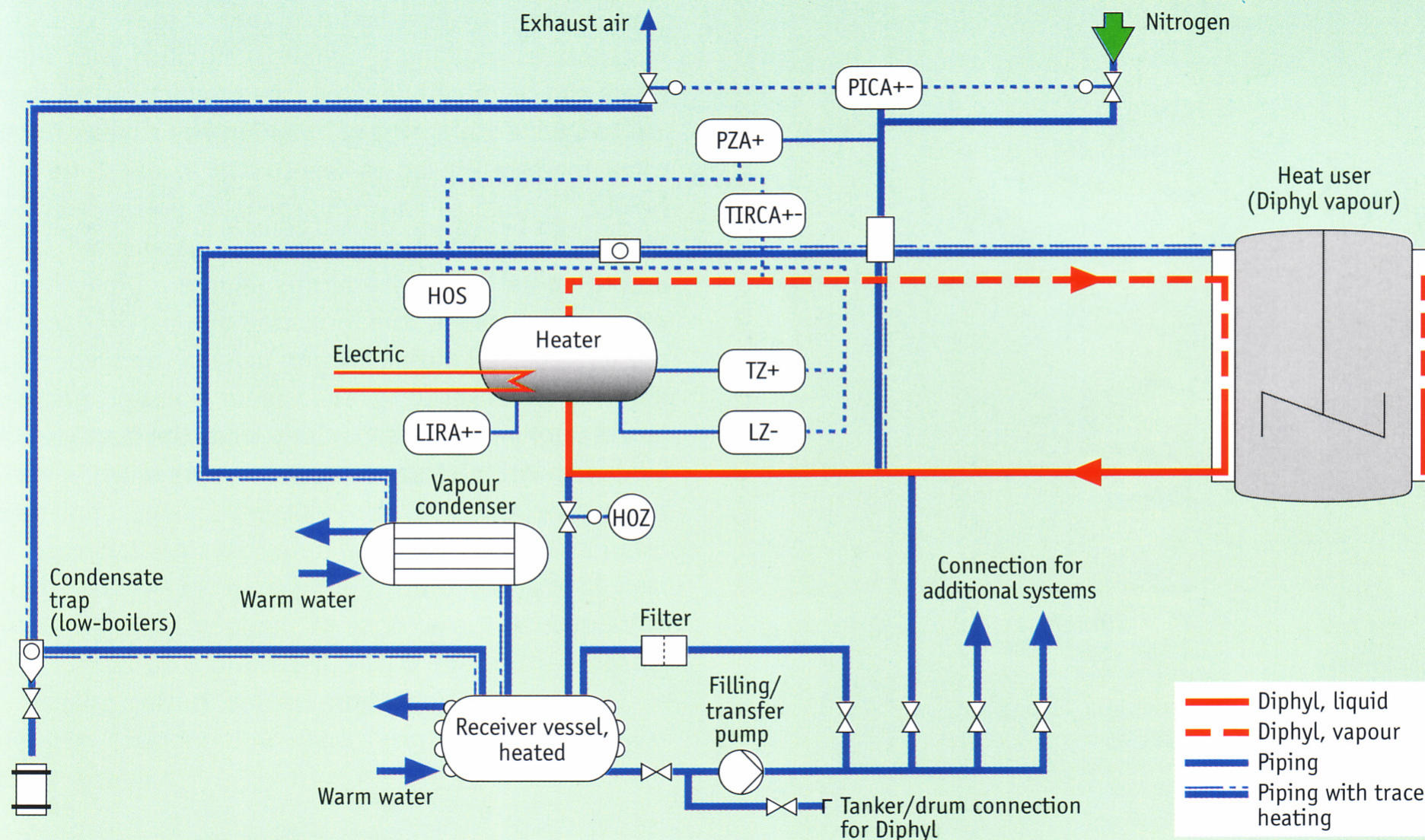


DIFIL versus APA (la T_{fierbere})

- o $T_{\text{top}} = 12,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- o $T_f = 255 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- o $\rho = 1062 \text{ kg.m}^{-3}$
- o $\Delta H_{\text{vap}} = 256 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- o $\lambda = 0,14 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- o $c_p = 2,14 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- o $\mu = 1,61 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$
- o $T_{\text{aprinde}} = 112 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- o $T_{\text{top}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- o $T_f = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- o $\rho = 998 \text{ kg.m}^{-3}$
- o $\Delta H_{\text{vap}} = 2257 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- o $\lambda = 0,59 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- o $c_p = 4,49 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- o $\mu = 0,19 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$
- o $T_{\text{aprinde}} = -$

SISTEM DE TRANSFER DE CALDURA CU VAPORI DE DIPHYL® IN CONDENSARE



EVACUAREA CONDENSATULUI

- **Scop:** evitarea innecarii suprafetei de incalzire;
- **Dispozitive utilizate:**
OALE DE CONDENS;
- **Principiu de functionare:** permite trecerea numai a **condensatului**, nu si a **vaporilor**

SEPARATOARE DE CONDENSAT (OALE DE CONDENS)

CONSTRUCTIE SI FUNCTIONARE

Bazata pe diferenta
intre valorile unor
marimi fizice aferente
aburului, respectiv
condensatului.

OALE DE CONDENS BAZATE PE DIFERENTA DE:

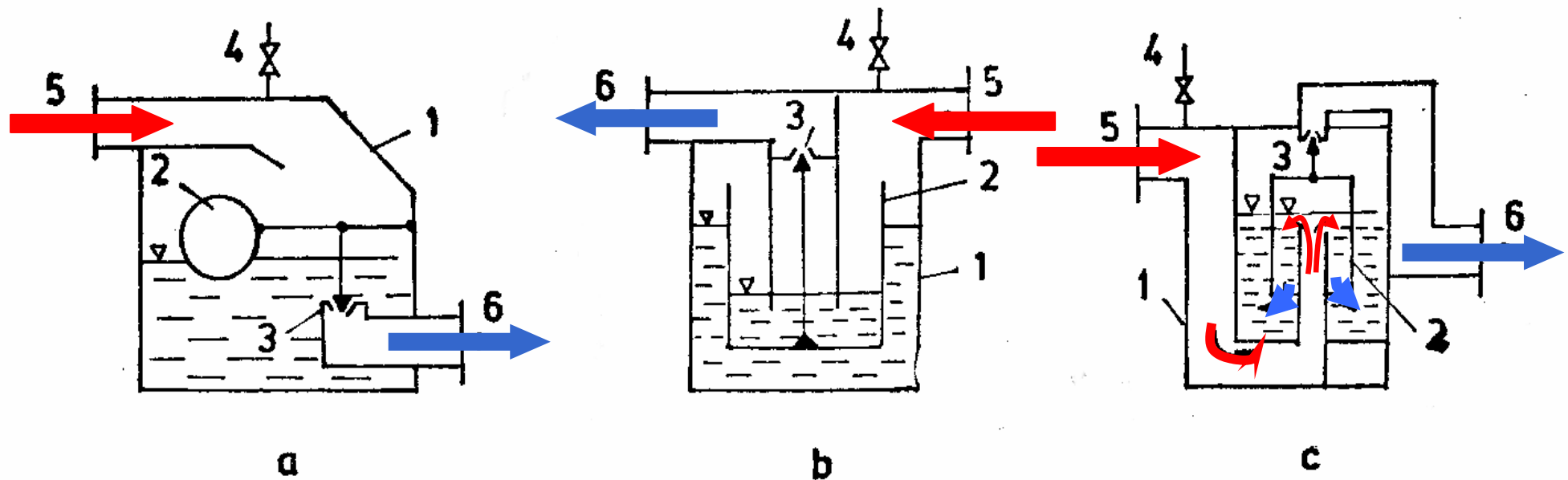
- o Densitate
- o Temperatura
- o Viteza (energie cinetica)
- o Volum specific

intre **ABUR** si **CONDENSAT**

OALE DE CONDENS CU PLUTITOR

- o $\rho_{\text{condensat}} > \rho_{\text{abur}}$ → condensat acumulat la partea inferioara a dispozitivului;
- o Evacuarea condensatului se face prin intermediul unui **FLOTOR (PLUTITOR)** care deschide/*inchide* orificiul de evacuare cand nivelul condensatului creste/*scade* peste/*sub* o anumita valoare.

OALE DE CONDENS CU PLUTITOR



Separatoare de condensat cu plutitor:

a — cu plutitor închis; *b* — cu vas plutitor deschis; *c* — cu cupă inversată. 1 — corpul separatorului; 2 — plutitor; 3 — ventil pentru evacuare condensat; 4 — ventil de aerisire; 5 — intrare amestec abur — condensat; 6 — evacuare condensat.

OALE DE CONDENS CU PLUTITOR

AU REZISTENTA FOARTE SCAZUTA LA:

- o Efecte produse de namol (colmatare);
- o Socuri hidraulice;
- o Scapari de abur.

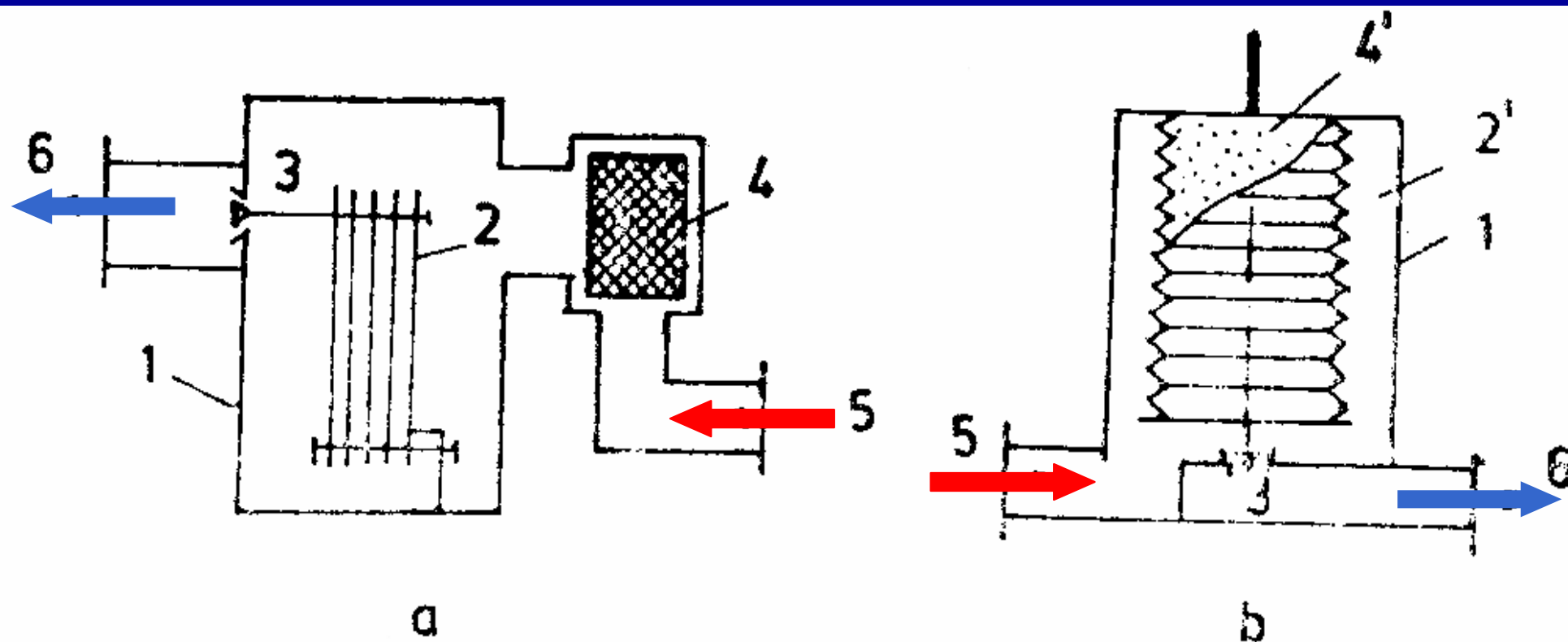
OALE DE CONDENS TERMOSTATICE

- o Se bazeaza pe **diferenta de temperatura** dintre abur si condensat;
- o **SE RECOMANDA** pentru debite reduse, cand traductoarele sunt putin afectate de schimbarile frecvente de temperatura;
- o **NU SE RECOMANDA** pentru aburul cu impuritati sau unde exista posibilitatea aparitiei socurilor hidraulice.

OALE DE CONDENS TERMOSTATICE

- o Se bazeaza pe **diferenta de temperatura** dintre abur si condensat;
- o **SE RECOMANDA** pentru debite reduse, cand traductoarele sunt putin afectate de schimbarile frecvente de temperatura;
- o **NU SE RECOMANDA** pentru aburul cu impuritati sau unde exista posibilitatea aparitiei socurilor hidraulice.

OALE DE CONDENS TERMOSTATICE

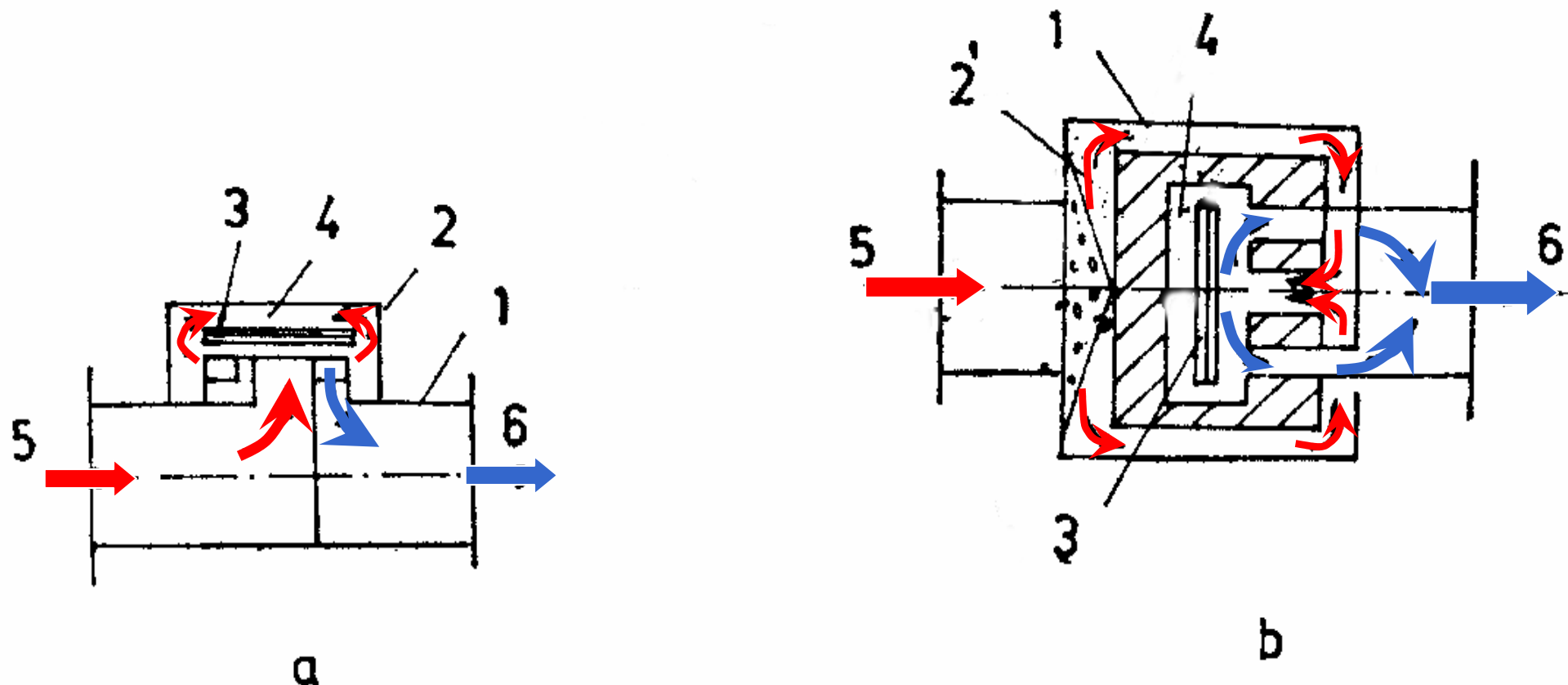


a — cu bimetale; *b* — cu burduf. 1 — corpul separatorului; 2 — pachet bimetal (fig. III.3.3, *a*); 2' — burduf metalic (fig. III.3.3, *b*); 3 — ventil pentru evacuarea condensatului; 4 — sită pentru reținerea impurităților (fig. III.3.3, *a*); 4' — lichid ușor volatil (fig. III.3.3, *b*); 5 — intrare amestec abur-condensat; 6 — evacuare condensat.

OALE DE CONDENS TERMODINAMICE

- o Se bazeaza pe principiul diferentei de energie cinetica dintre **ABUR** si **CONDENSAT**;
- o Au o singura piesa in miscare, **PLACA VENTIL** (tip **disc** sau tip **supapa**)

OALE DE CONDENS TERMODINAMICE CU PLACA VENTIL TIP DISC



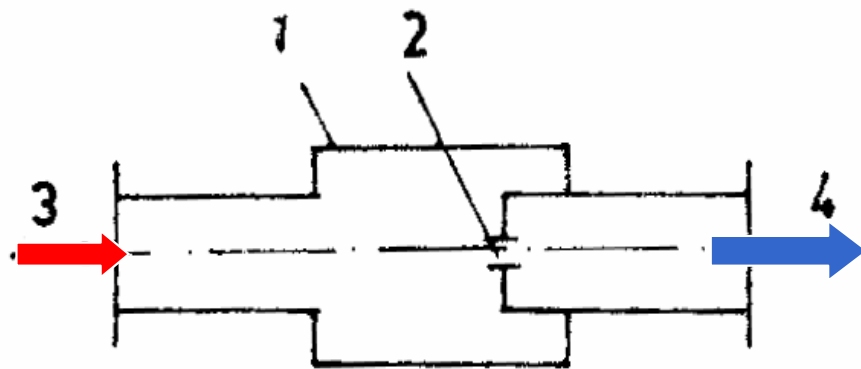
Separatoare termodinamice (cu disc):

a — cu acces direct; *b* — cu acces prin cameră de încălzire; 1 — corpul separatorului; 2 — capac (fig. III.3.4, *a*); 2' — cameră de încălzire (fig. III.3.4, *b*); 3 — placă ventil (disc); 4 — camera de control; 5 — intrare amestec abur — condensat; — 6 — evacuare condensat.

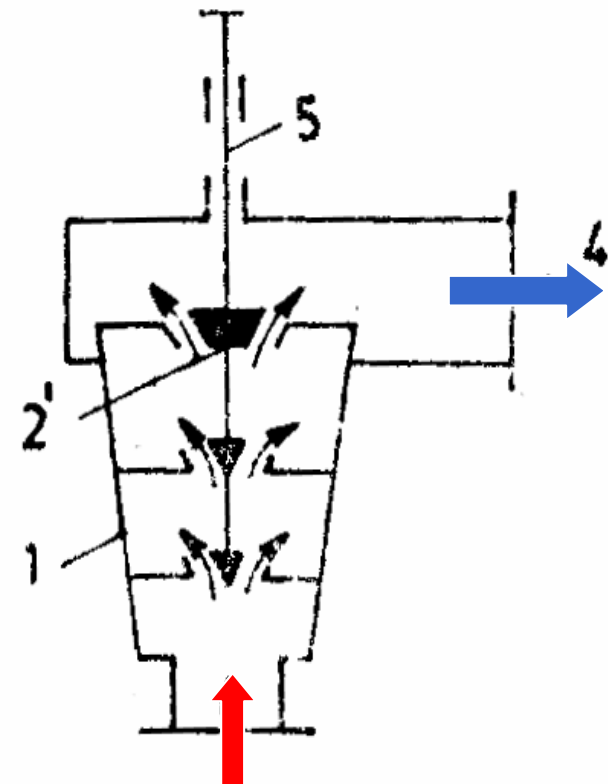
OALE DE CONDENS TERMODINAMICE CU PLACA VENTIL TIP DISC

- o Sunt simple si au dimensiuni reduse;
- o Evacueaza integral condensatul;
- o Au capacitate redusa de a face fata contrapresiunilor si incarcarilor cu aer la pornire;
- o Au rezistenta foarte scazuta la namol si la uzura;
- o Se monteaza numai in pozitie ORIZONTALA.

OALE DE CONDENS TERMODYNAMICE CU EVACUARE CONTINUA



a



b

Separatoare cu evacuare continuă

a — cu ajutor (duză); b — cu trepte de laminare 1 — corpul separatorului; 2 — duză (fig. III.3.5, a); 2' — ventila în trepte (fig. III.3.5, b); 3 — intrare amestec abur-condensat; 4 — evacuare condensat; 5 — dispozitiv de reglare manuală (fig. III 3.5, b).

OALE DE CONDENS TERMODINAMICE CU AJUTAJ (a)

- o Amestecul abur - condensat trece printr-un **ajutaj** (2);
- o Ajutajul (duza) permite trecerea preponderenta a condensatului, datorita **volumului specific mai redus** al acestuia decat cel al aburului.

OALE DE CONDENS TERMODINAMICE CU TREPTE DE LAMINARE (b)

- o Condensatul este trecut printr-o serie de **trepte de laminare**;
- o Prin **LAMINARE**, condensatul se transforma in **ABUR SECUNDAR**, care franeaza curgerea in continuare a condensatului;
- o **DEBITUL DE CONDENSAT** se regleaza prin variatia sectiunilor de trecere ale treptelor de laminare.

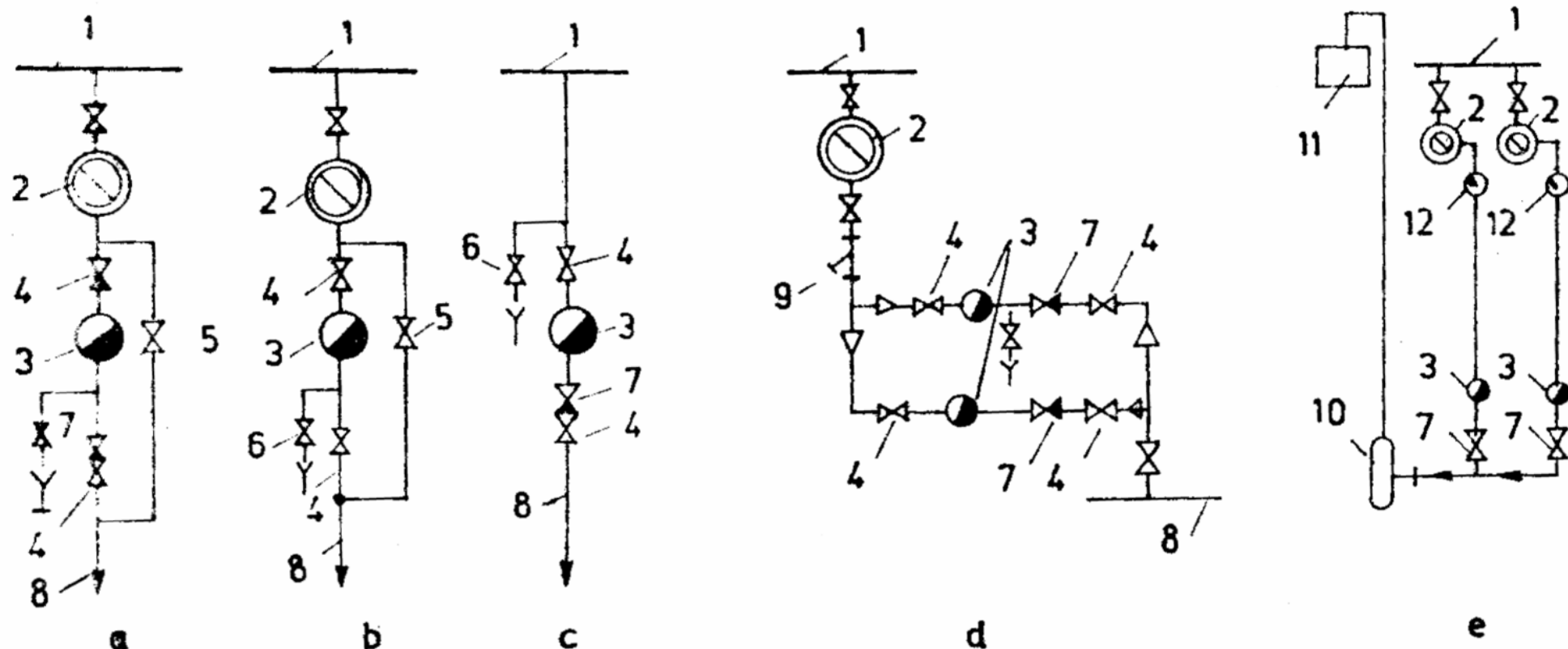
OALE DE CONDENS TERMODINAMICE CU EVACUARE CONTINUA

- o Nu contin piese in miscare = fiabilitate marita;
- o Pot fi utilizate pana la

$$P = 60 \text{ MPa}$$

$$T = 570 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

AMPLASAREA OALELOR DE CONDENS



Scheme de montare a separatoarelor de condensat:

— după receptorul de abur, cu evacuarea condensatului datorită presiunii aburului; *b* — idem, cu evacuarea liberă a condensatului; *c* — pe drenajul unei conducte de abur *d* — folosirea a două separatoare în paralel; *e* — montarea în circuite cu pericol de șocuri hidraulice;

1 — conductă de abur; 2 — receptor de abur; 3 — separator de condensat; 4 — robinete de izolare; 5 — robinet de ocolire (by-pass); 6 — robinet de descărcare; 7 — robinet de reținere; 8 — conductă de condensat; 9 — filtru de impurități; 10 — amortizor de șocuri hidraulice; 11 — rezervor; 12 — vaposcop (cu vizor).

INCALZIREA CU AGENTI TERMICI IN STARE LICHIDA

- o Sub forma de **BAI** (intermediar intre aparatul de incalzit si gazele de ardere de la un focar sau arzator)
 - Ex: bai de apa, de ulei, de glicerina
- o Circulatie in **CIRCUIT INCHIS** intre generatorul de caldura si aparatul de incalzit

AVANTAJELE INCALZIRII CU LICHIDE:

- o Volum specific **redus**
 - o Capacitate termica **mare**
- Circuite formate din conducte subtiri care pot suporta presiuni inalte

LICHIDE UTILIZATE IN CALITATE DE PURTATORI DE CALDURA:

- ☐ Apa calda
- ☐ Uleiurile minerale
- ☐ Lichidele organice
- ☐ Sarurile topite
- ☐ Metalele topite

INCALZIREA CU APA CALDA

- o La presiune atmosferica - **pana la 80 °C**;
- o **Intre 80 - 374 °C** - sub presiune;
- o Se utilizeaza aparate de incalzire prevazute cu serpentine **ingropate** sau **exterioare**.

INCALZIREA CU ULEIURI MINERALE

- o Temperatura maxima de utilizare: **300 °C**;
- o In **bai** sau **sisteme de circulatie**.

INCONVENIENTE:

- o Viscositate relativ mare;
- o Coeficient scazut de transfer de caldura ($\alpha < 580 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$);
- o Necesitatea unei circulatii neintrerupte pentru evitarea **supraincalzirilor locale** si a **descompunerii termice** a uleiului.

INCALZIREA CU LICHIDE ORGANICE

Pentru incalzirea la temperaturi cuprinse
intre 200 – 400 °C se utilizeaza:

- o Amestecuri de Difenil si Difenileter;
- o Amestecuri de Di- si Tri- Arileteri;
- o Terfenil partial hidrogenat;
- o Amestecuri de difeniletan si hidrocarburi aromatice alchilate;
- o Alchil (C_{14} – C_{20}) benzen;
- o Polidimetilsiloxan;

PROPRIETATILE LICHIDELOR ORGANICE

Proprietatea	DIFIL	AROCLOR	TETRAALIL SILICAT	APA
$T_{\text{fierbere}}, ^\circ\text{C}$	255	340	420 - 440	100
$T_{\text{maxima}}, ^\circ\text{C}$	370	300	315	374
$P \text{ la } T_{\text{max}}, \text{MPa}$	0,6	0,05	2,54	22,1
$T_{\text{topire}}, ^\circ\text{C}$	12,3	- 7	- 40	0
$\rho (20 ^\circ\text{C}), \text{kg.m}^{-3}$	1062	1440	1145	998
$\Delta H_{\text{vap}}, \text{kJ.kg}^{-1}$	256	-	147	2257
$\lambda (20 ^\circ\text{C}), \text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	0,14	0,10	0,13	0,59
$c_p (20 ^\circ\text{C}), \text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$	2,14	2,05	2,22	4,493
$\mu (150 ^\circ\text{C}), \text{mPa.s}$	1,61	1,5	3,92	0,19
$T_{\text{aprindere}}, ^\circ\text{C}$	112	195	277	-

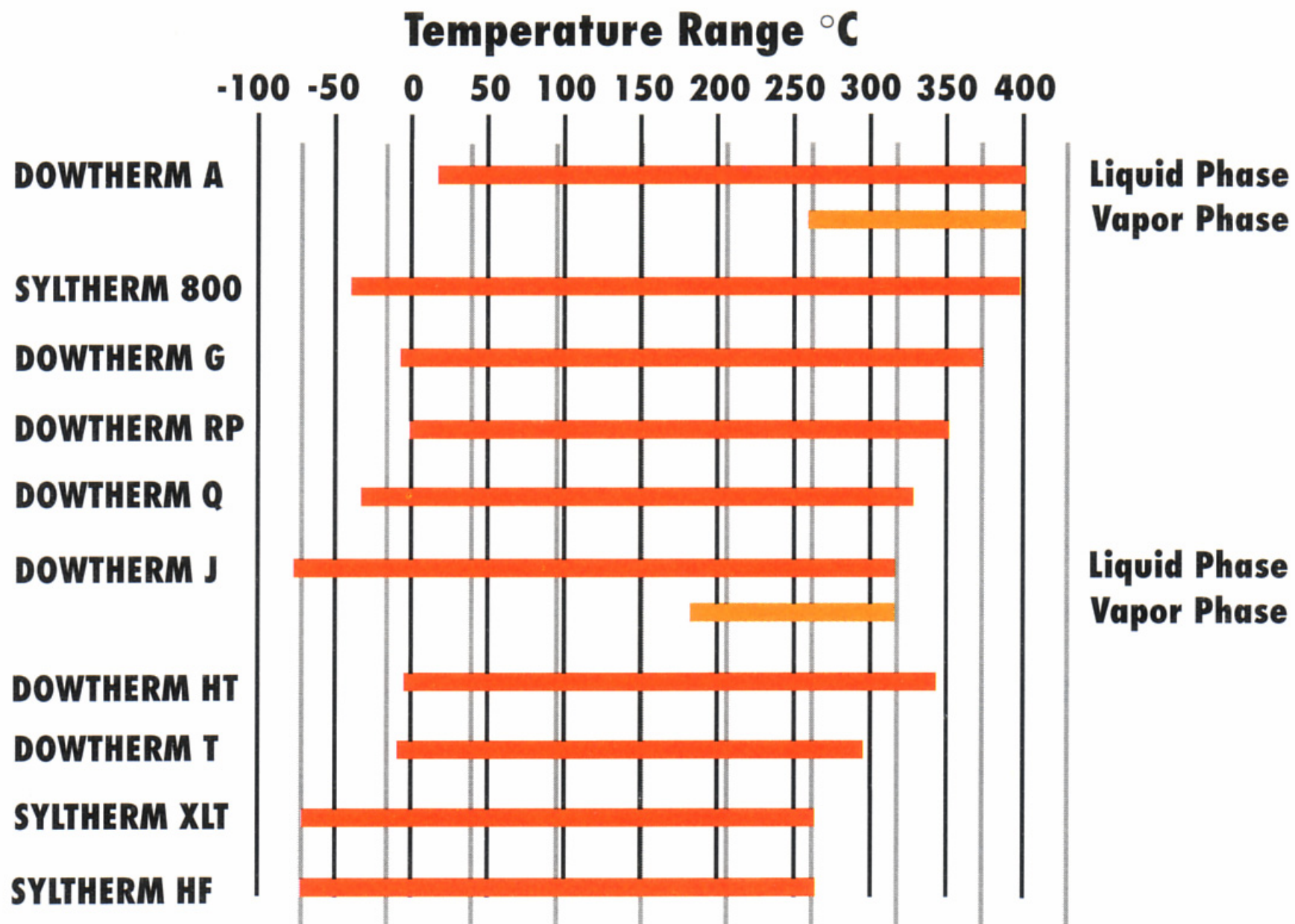
DOWTHERM ® & SYLTHERM ®

DOW CHEMICAL COMPANY, USA

- o **DOWTHERM A**: Amestec de Difenil si Difenileter;
- o **DOWTHERM G**: Amestec de Di- si Tri-Arileteri;
- o **DOWTHERM HT**: Terfenil partial hidrogenat;
- o **DOWTHERM Q**: Amestec de difeniletan si hidrocarburi aromatice alchilate;
- o **DOWTHERM T**: Alchil ($C_{14} - C_{20}$) benzen;
- o **SYLTHERM 800, SYLTHERM XLT, SYLTHERM HF**: Polidimetilsiloxan;

DOWTHERM® & SYLTHERM®

DOW CHEMICAL COMPANY, USA



DOWTHERM ® & SYLTHERM ®
DOW CHEMICAL COMPANY, USA



DOWTHERM RP Fluid

Partially Hydrogenated
Terphenyl Fluid

Dibenzyl Toluene Fluid

DOWTHERM® & SYLTHERM®

DOW CHEMICAL COMPANY, USA

Figure 1. Fluid Vapor Pressure Comparison

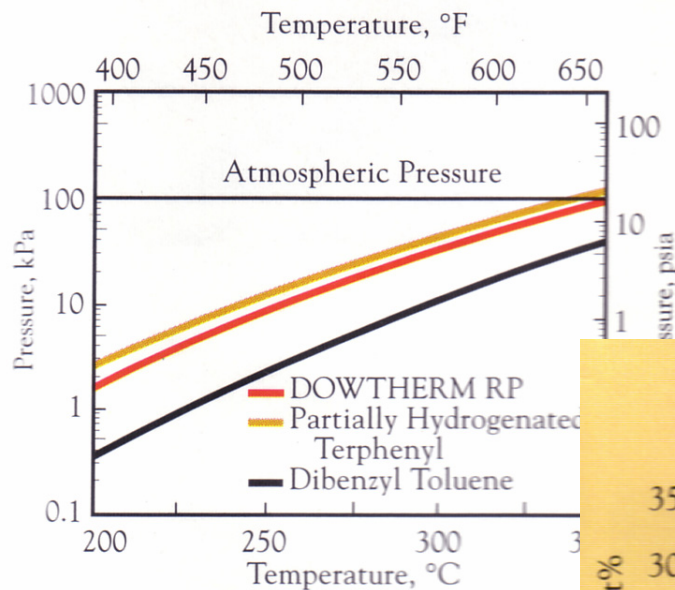


Figure 2. Degradation Rate of Three Low-Pressure Fluids

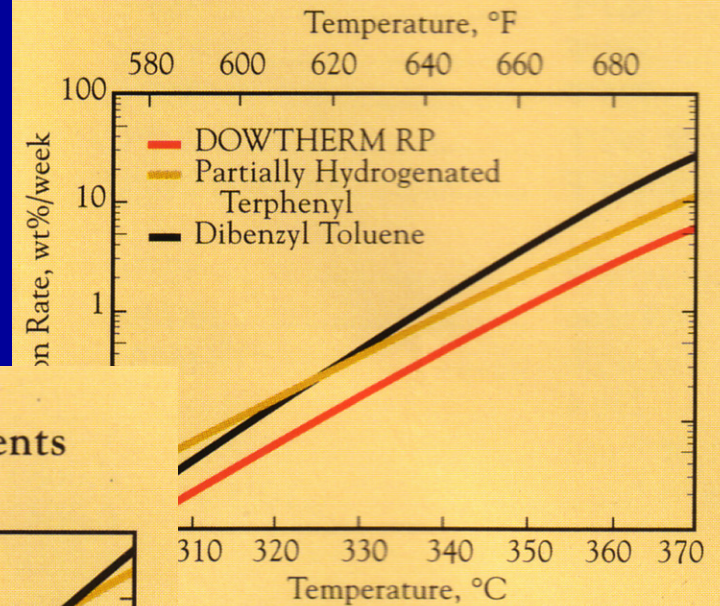
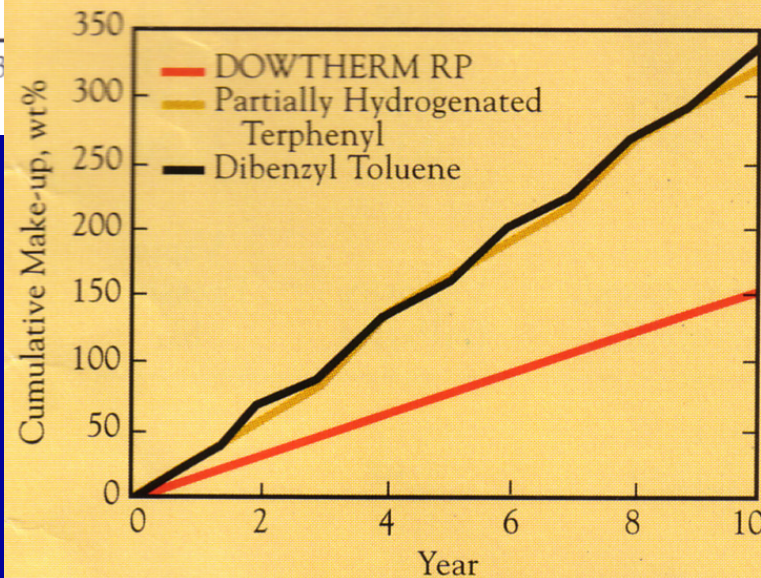


Figure 3. Cumulative Fluid Make-Up Requirements



DIPHYL®

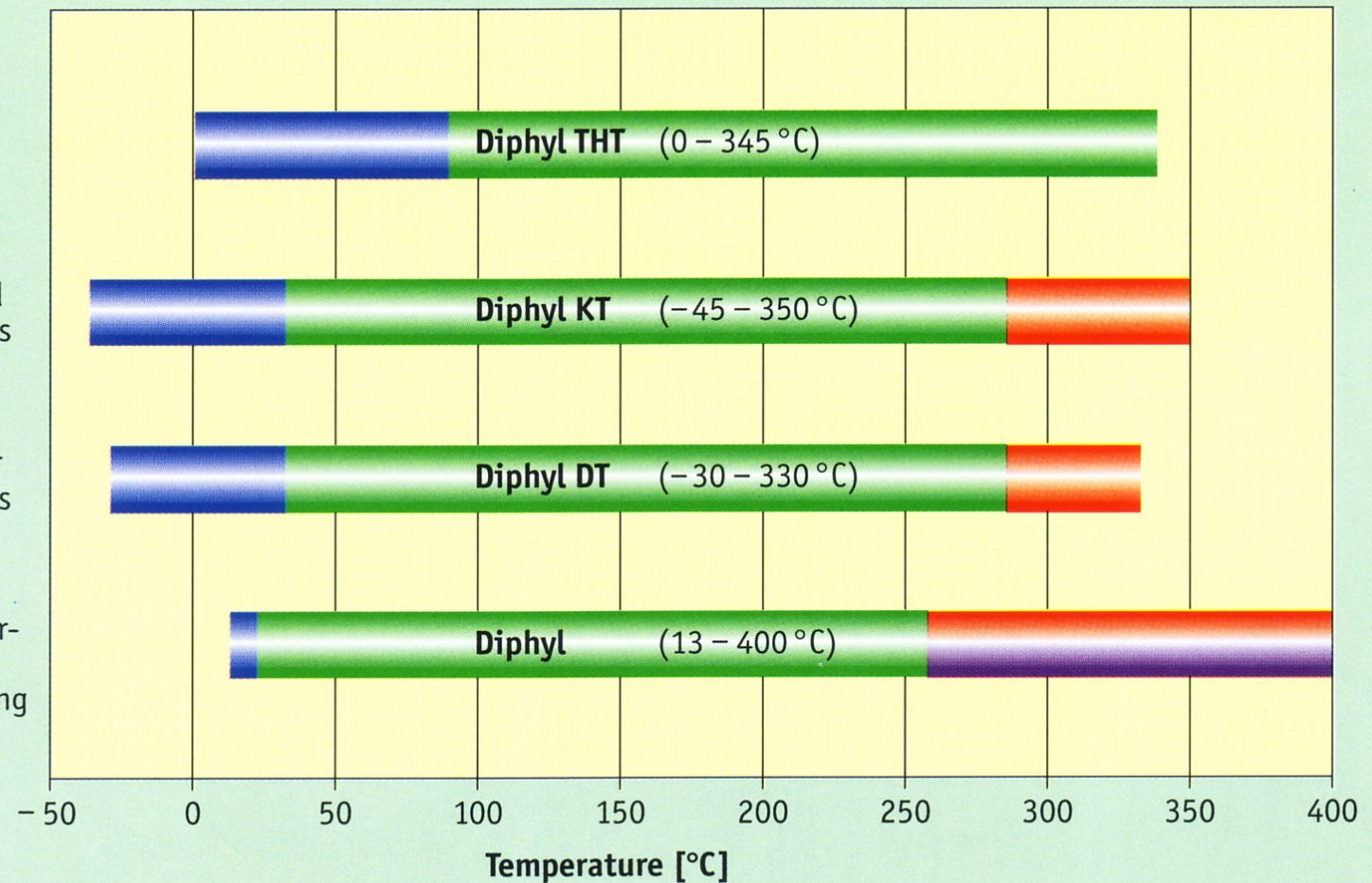


Partially hydrogenated
terphenyls for pressureless
applications

Benzyl toluenes for combined
heating and cooling processes

Ditolyl ethers, economical for
heating and cooling processes

Diphenyl oxide/biphenyl
eutectic mixture; high-temper-
ature heat transfer fluid for
liquid and vapour-phase heating



Filling and start-up



Liquid phase, pressureless



Liquid phase, pressurised

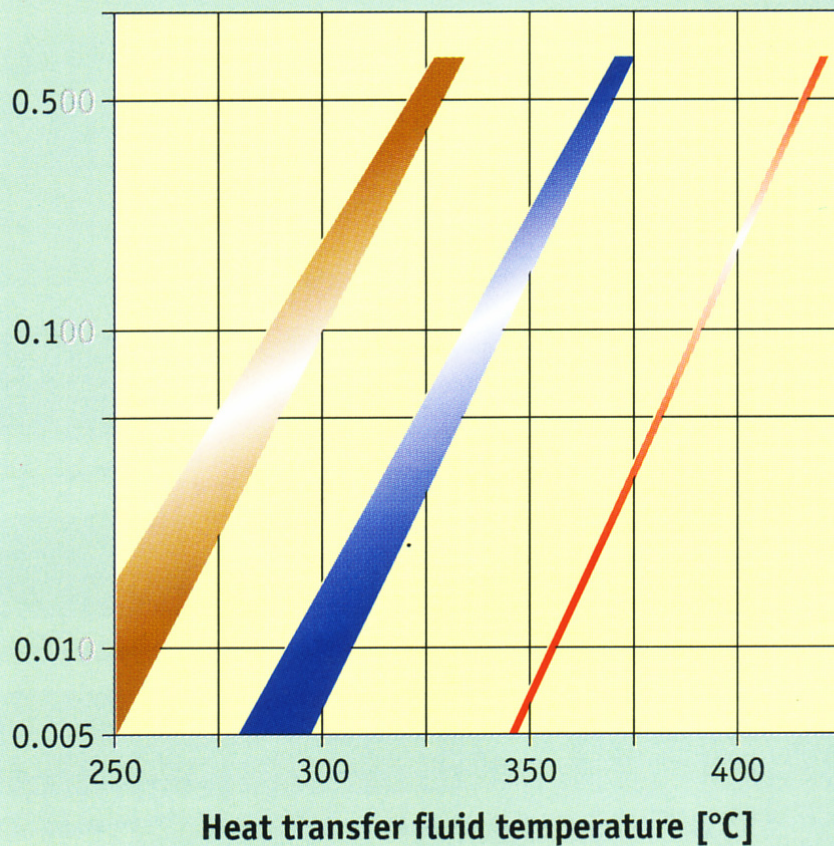


Vapour phase

DIPHYL®



Disproportionation rate
[%/day]



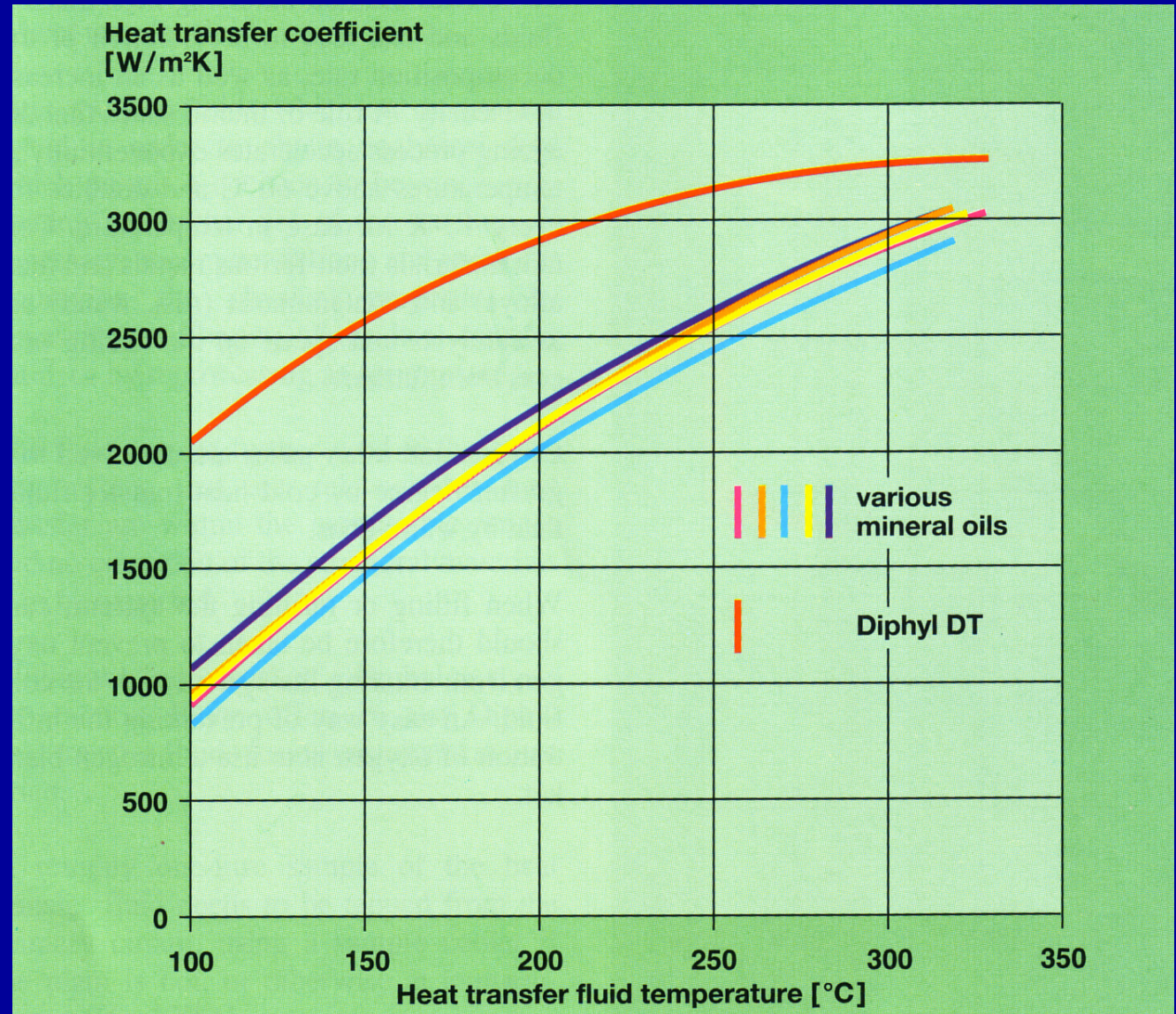
Mineral oils Synthetic heat transfer fluid Diphyl heat transfer fluid

DEGRADAREA TERMICA

DIPHYL®



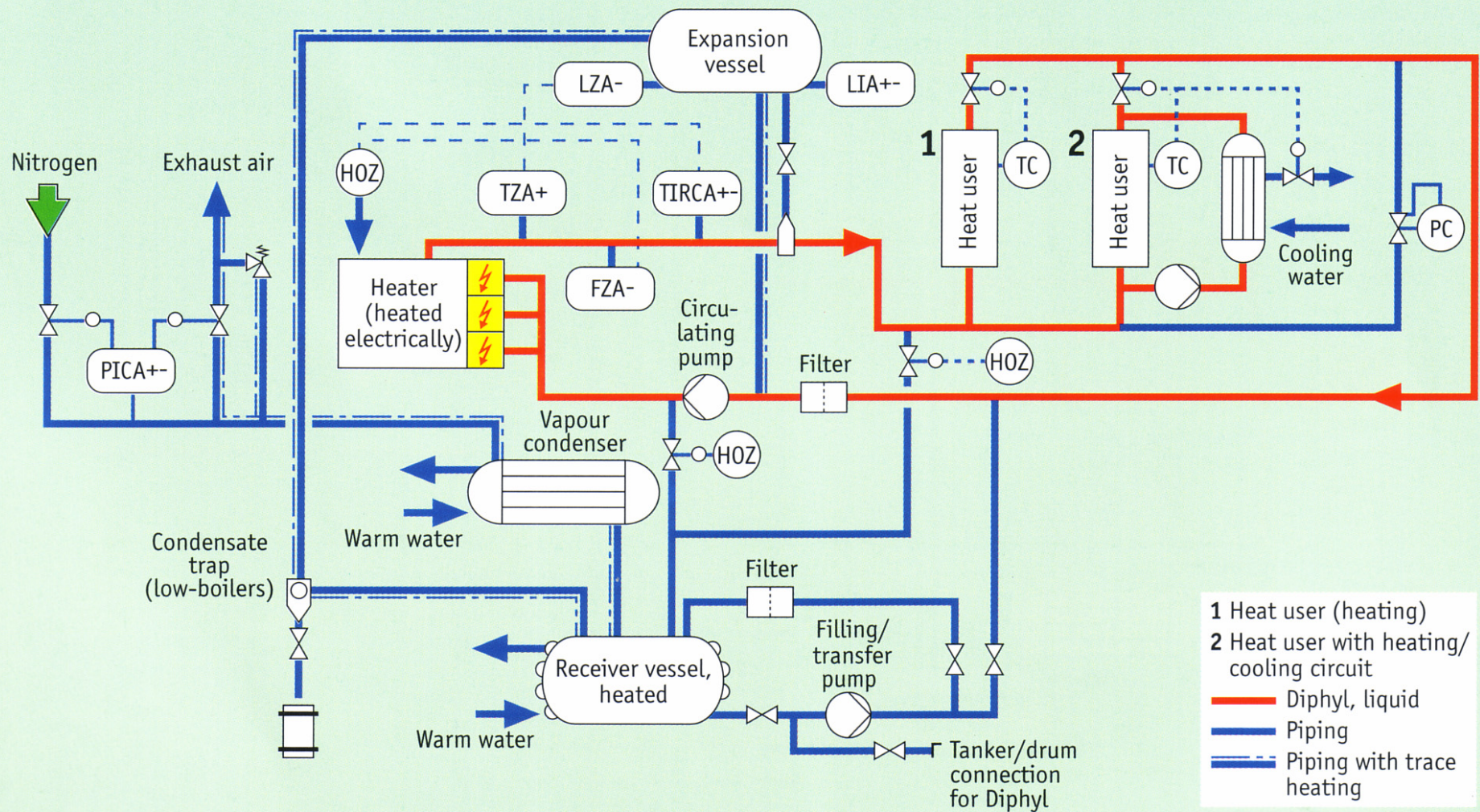
Valoarea
coeficientului
de transfer
termic



APLICATII DIPHYL®

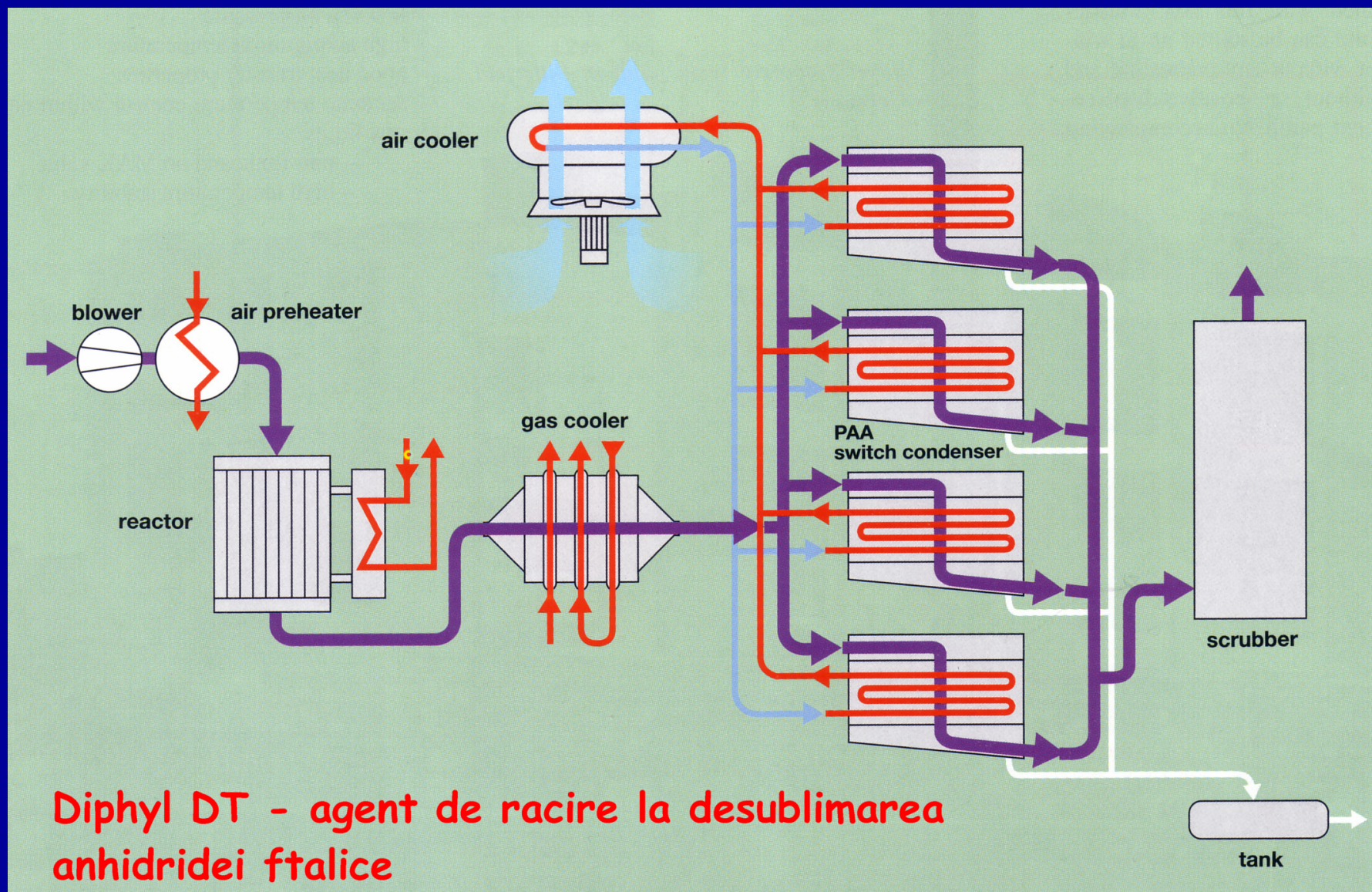


Instalatie de incalzire cu DIPHYL lichid - sistem cu circulatie fortata



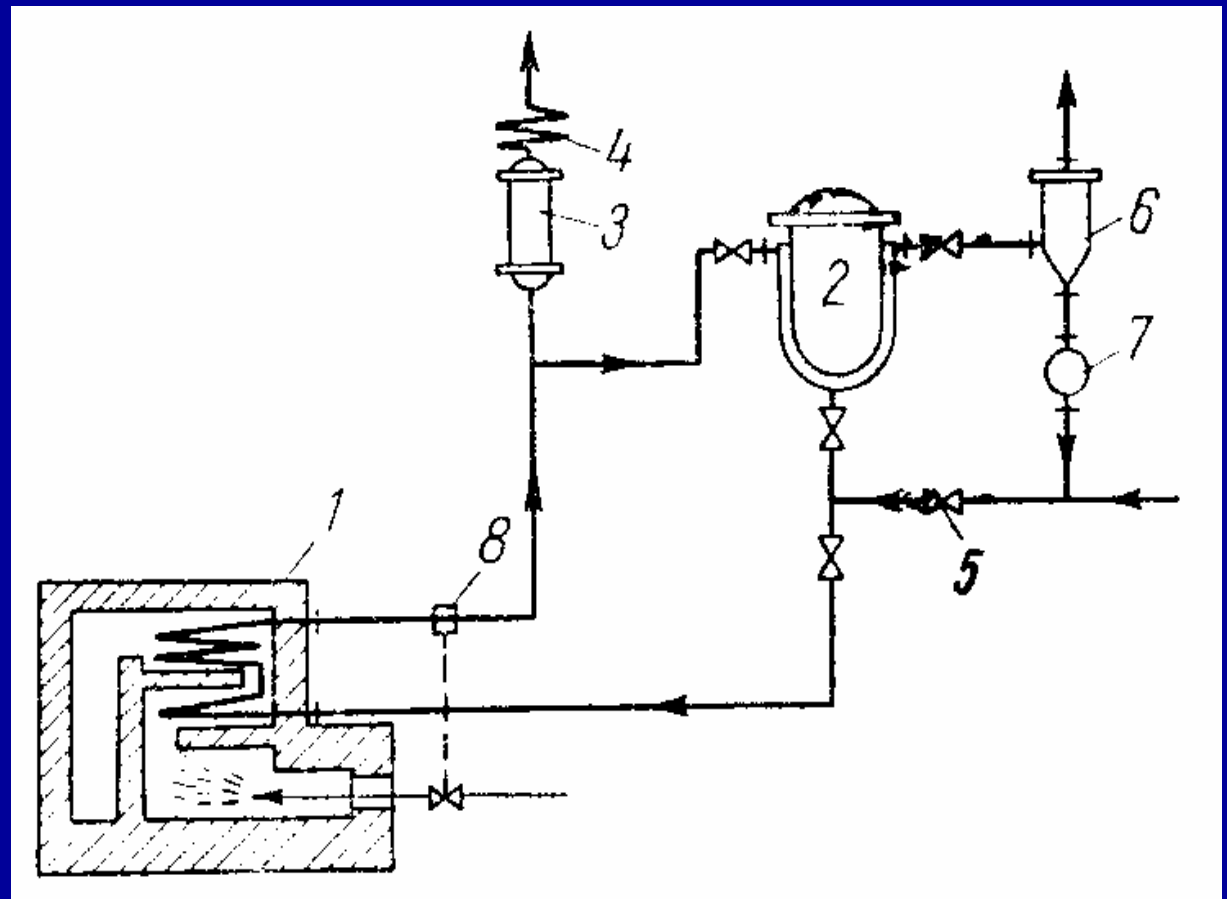
APLICATII DIPHYL®

Bayer



INSTALATIE DE INCALZIRE CU DIFIL LICHID

1. Generator de caldura
2. Aparat de incalzit
3. Rezervor de expandare
4. Racitor cu aer
5. Ventil reglare apa de racire
6. Separator
7. Vizor
8. Termoregulator



INCALZIREA CU SARURI TOPITE

- o Se utilizeaza sub forma de **BAI**, pentru temperaturi cuprinse intre **400** si **500 °C**
- o Se utilizeaza amestecuri **eutectice**,
binare sau **ternare** de azotati si azotiti:
- o 45% NaNO_2 + 55% KNO_3
- o 40% NaNO_2 + 7% NaNO_3 + 53% KNO_3

INCALZIREA CU SARURI TOPITE

DEZAVANTAJE:

- o Temperatura relativ ridicata de topire a amestecului de saruri;
- o Pericolul de explozie la contactul sarurilor topite cu substante organice.

INCALZIREA CU BAI DE METALE TOPITE

- o Se utilizeaza in mod cu totul exceptional in industria chimica;
- o Se folosesc BAI formate din amestecuri de Pb (P.T. 327°C) si Sb (P.T. 630°C);
- o Eutecticul - (87% Pb - 13% Sb) se topeste la 246°C .

INCALZIREA CU PURTATORI DE CALDURA SOLIZI

Exemplul clasic:

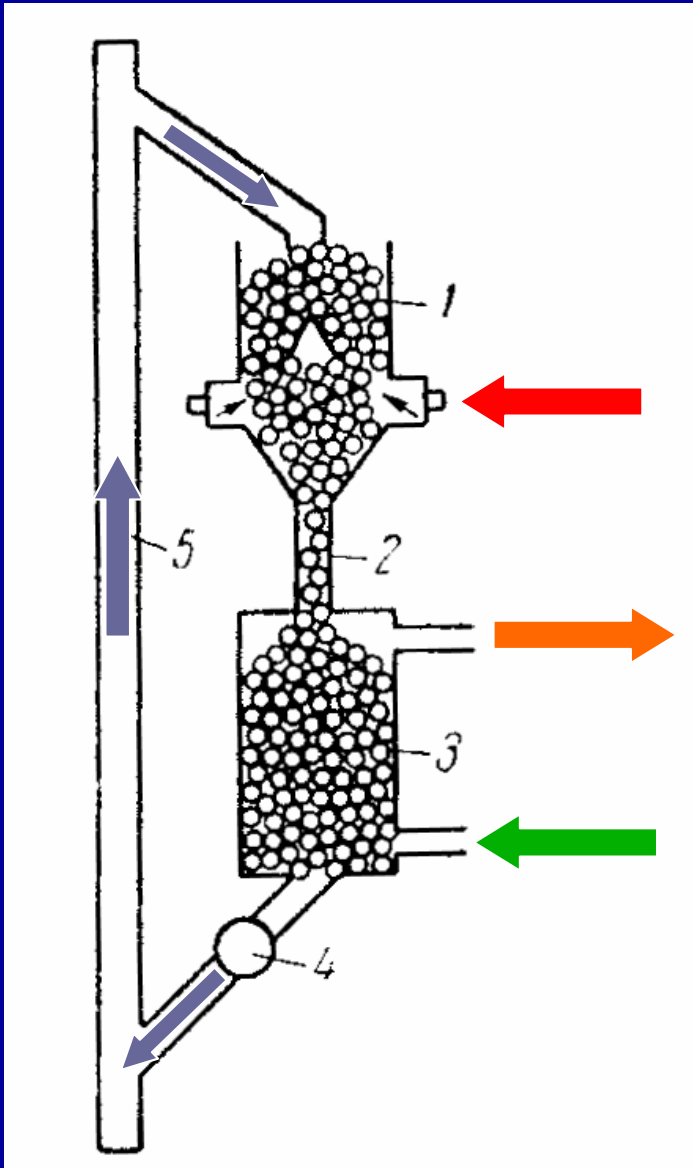
BAILE DE NISIP utilizate pentru incalzirea in laborator

Alte exemple:

- o Incalzirea cu bile in circulatie;
- o Incalzirea cu pulberi in strat fluidizat.

INCALZIREA CU BILE IN CIRCULATIE

(Procedeul TERMOFOR)



1. Generator de caldura;
2. Tub de separare;
3. Reactor;
4. Regulator de debit pentru bile;
5. Elevator pentru bile.

 **Gaze de ardere fierbinti**

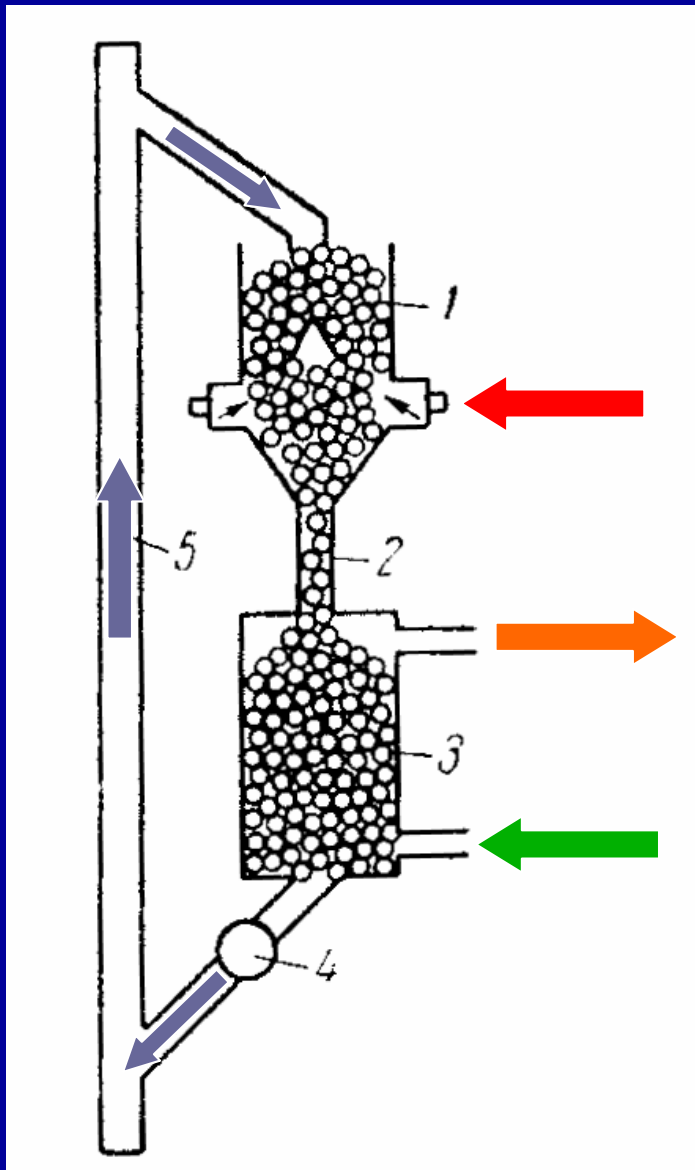
 **Gaze de proces calde**

 Gaze de proces reci

 **Bile in circulatie**

INCALZIREA CU BILE IN CIRCULATIE

(Procedeul TERMOFOR) - AVANTAJE



- o Incalzirea **DIRECTA** a spatiului de reactie;
- o Nu se introduc in reactor gaze care ar **DILUA** sau **IMPURIFICA** reactantii si/sau produsii;
- o Imbunatatirea transferului de caldura prin marirea tuturor factorilor ecuatiei:

$$Q = k \times A \times \Delta T$$

INCALZIREA CU PULBERI IN STRAT FLUIDIZAT

- o A se vedea "**FLUIDIZAREA**" - curs predat in Semestrul VI (anul III semestrul II);
- o **Bibliografie suplimentara:**
 -  E.A. Bratu - Oparatii unitare in ingineria chimica, vol. III, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1985;
 -  L. Esayan & M. Esayan - Fluidizarea, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1959.

INCALZIREA ELECTRICA

(Fara purtator de caldura material)



- o Prin rezistente electrice;
- o Prin curenți de inducție;
- o Dielectrica;
- o Prin arc electric.

INCALZIREA ELECTRICA (↑ & ↓)

- ↑ Reglarea precisa si usoara a energiei introduse si a temperaturii in spatiul de incalzit;
- ↑ Posibilitatea de a dezvolta caldura la locul dorit;
- ↑ Posibilitatea de a introduce o mare cantitate de energie termica intr-un spatiu restrans;
- ↑ Posibilitatea incalzirii directe fara impurificarea spatiului incalzit;
- ↑ Limitarea temperaturii maxime doar de izolarea termica si de refractaritatea sistemului incalzit;
- ↑ Posibilitatea incalzirii in vid sau la presiuni mari.
- ↓ **FACTOR LIMITATIV:** pretul ridicat al energiei electrice.

INCALZIREA PRIN REZISTENTE ELECTRICE

- o Trecerea curentului printr-o rezistentă electrică are drept efect **incalzirea** acesteia;
- o Cantitatea de căldură degajată:

$$Q = P \times \tau = U \times I \times \tau = R \times I^2 \times \tau \text{ [Jouli]}$$

- o P = puterea electrică (W);
- o U = tensiunea la borne (V);
- o I = intensitatea curentului (A);
- o R = rezistența electrică (Ω);
- o τ = timpul (s).

INCALZIREA PRIN REZISTENTE ELECTRICE

o Incalzire directa:

Rezistenta este chiar materialul care trebuie incalzit (**EX**: fabricarea carburii de siliciu, a electrografitului, topirea sticlei)

o Incalzire indirecta:

Rezistenta este formata din elemente incalzitoare care transmit caldura materialului de incalzit prin **radiatie, conductie, convection**.

INCALZIREA PRIN CURENTI DE INDUCTIE

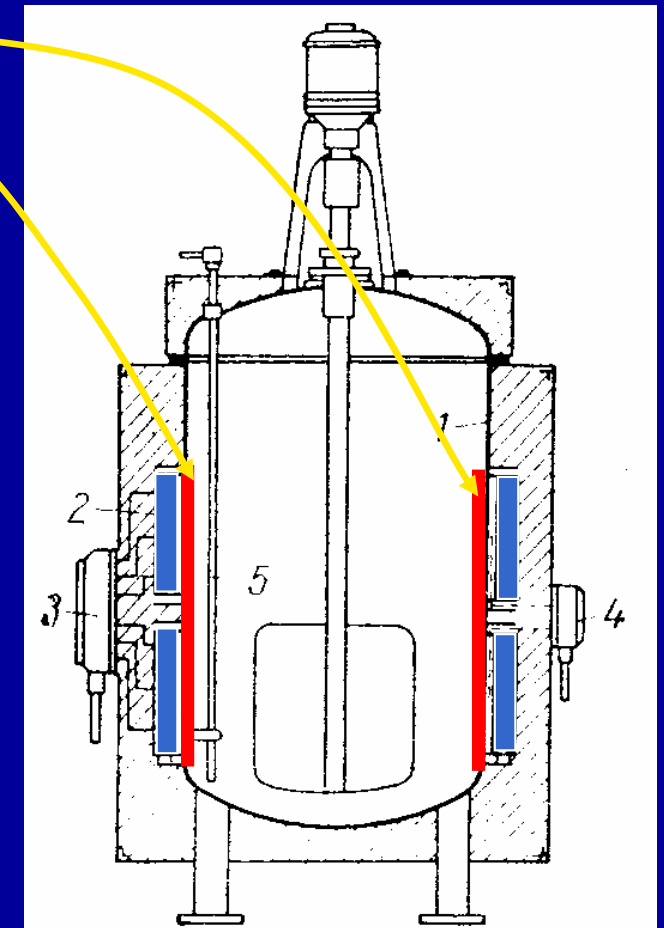
o Principiul transformatorului:

Curentul alternativ din spirele primarului produce un curent de inductie in spirele secundarului:

$$\frac{I_P}{I_S} = \frac{NS_S}{NS_P}$$

INCALZIREA PRIN CURENTI DE INDUCTIE

- o **SECUNDARUL** = spira unica = o portiune din peretele cilindric al reactorului;
- o Frecvente: **50 – 10⁶ Hz**
- o Temp. pana la **400 °C**
- o Solicitari superficiale pana la **30 W.cm⁻²**
- o **AVANTAJE:**
 - Transfer de caldura imbunatatit;
 - Incalzirea uniforma a materialului din recipient.



Reactor încălzit prin curenți de inducție cu frecvență normală:

1 — recipient; 2 — bobine primare; 3 — tablou de conectare a circuitelor; 4 — termoelement pentru temperatura peretelui; 5 — termometru pentru temperatura peretelui.

INCALZIREA DIELECTRICA

- o Se aplica numai materialelor **DIELECTRICE** (rau conductoare de electricitate);
- o Materialul de incalzit este introdus intre placile unui condensator alimentat cu curenți de inalta frecventa (**1 - 200 MHz**);
- o Incalzirea se datoreaza orientarii moleculelor in campul electric: schimbarea rapida a sensului deplasarii moleculelor este insotita de frecare, conducand la disiparea energiei termice (caldurii) in masa materialului.

INCALZIREA DIELECTRICA

- o Puterea electrica consumata:

$$P = 1,29 \times 10^{-10} \frac{A \cdot f \cdot U^2 \cdot \eta \cdot D}{1} \quad [\text{W}]$$

- o Caldura eliberata: $Q = P \times \tau \quad [\text{J}]$

- o P - puterea electrica, W;
- o A - aria suprafetei condensatorului, m^2 ;
- o f - frecventa curentului, Hz;
- o U - tensiunea la placile condensatorului, V;
- o D - constanta dielectrica a materialului incalzit (2÷6);
- o l - distanta dintre placile condensatorului, m;
- o η - coeficientul de pierderi (intre 0,02 ÷ 0,06);
- o Q -caldura eliberata, J;
- o τ - timpul, secunde.

INCALZIREA DIELECTRICA

AVANTAJE:

- o Rapiditatea incalzirii **uniforme** in toata masa materialului;
- o Incalzirea **selectiva** a diferitelor componente ale unui sistem eterogen, prin alegerea unei frecvente convenabile a curentului electric
(**Ex:** evaporarea unui solvent fara a mari sensibil temperatura solidului).

APLICATII:

- o Uscarea lemnului;
- o Lipirea furnirului de lemn;
- o Incalzirea materialelor plastice in timpul presarii;
- o Sudarea materialelor plastice si a sticlei;
- o Sterilizarea si dezinsectizarea produselor alimentare;
- o Coacerea painii;

INCALZIREA CU RADIATII INFRAROSII

- o **RADIATIILE INFRAROSII (IR)** – unde electromagnetice avand lungimi de unda $\lambda = 0,78 \div 330 \mu\text{m}$;
- o Pentru incalzire IR: $\lambda = 0,78 \div 20 \mu\text{m}$;
- o Eficienta maxima la **incalzire** si **uscare**: $\lambda = 1 \div 2 \mu\text{m}$;

INCALZIREA CU RADIATII INFRAROSII

SURSE DE RADIATII IR

SURSE LUMINOASE:

- o $\lambda = 0,76 \div 3 \mu\text{m}$;
- o Lampi cu filament incandescent de W la $2400 - 2500^\circ\text{C}$;
- o Puterea radianta specifica ($\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$) depinde de distanta dintre lampa si suprafata incalzita:

Distanta (cm)	Putere specifica ($\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)
10	0,58
15	0,45
20	0,30
30	0,17
40	0,11
60	0,04

INCALZIREA CU RADIATII INFRAROSII

SURSE DE RADIATII IR

SURSE NELUMINOASE

- o $\lambda = 3 \div 10 \mu\text{m}$;
- o Radiatoare incalzite electric (rezistente Cr-Ni);
- o Radianti cu gaz metan (arzatoare fara flacara);
- o Radiatoare incalzite cu abur;
- ↑ Puterea radianta specifica: de 10x > decat a lampilor cu filament incandescent;
- ↓ Inertia de incalzire mai mare decat a lampilor.

INCALZIREA CU RADIATII INFRAROSII

AVANTAJE & APLICATII

- o Incalzirea rapida a suprafetei corpului iradiat;
- o Randamente mari in folosirea energiei electrice si termice;
- o Dirijarea incalzirii catre portiunile care intereseaza din suprafata corpului incalzit;
- o Scurtarea duratei de uscare.
- o Uscarea suprafetelor vopsite;
- o Uscarea pieilor;
- o Uscarea granulelor.

INCALZIREA CU MICROUNDDE

MICROUNDDE:

- o Radiatii electromagnetice
- o $\nu = 300 \text{ MHz} \div 300 \text{ GHz}$
- o $\lambda = 1 \text{ m} \div 1 \text{ mm}$
- o Fac parte din domeniul undelor RADIO
- o Evidentiate experimental: 1885 Hertz

INCALZIREA CU MICROUNDDE

Frecvente
rezervate pentru
utilizarea
industrială a
microundelor

ν [MHz]	λ [cm]
915	32,8
2450	12,2
5800	5,2
24125	1,24

INCALZIREA CU MICROUNDDE

Microundele pot fi:

o Absorbite

o Transmise

o Reflectate

- Apa
- Proteine
- Glucide
- Lipide

- Aer
- Sticla
- Materiale plastice
- Portelan, ceramica
- Hartie
- Materiale metalice

PRODUSELE ALIMENTARE ABSORB ~ 50 % DIN ENERGIA MICROUNDDELOR

INCALZIREA CU MICROUNDDE

- o **Moleculele polare** din alimente (**apa, proteine, glucide**) se orienteaza in campul electric al microundelor;
 - o Modificarea sensului campului →
- modificarea orientarii moleculelor polare →
 - ciocniri si frecare moleculara →
 - degajare de energie termica →
 - incalzire in volum →
- difuzia caldurii de la interior la exterior

INCALZIREA CU MICROUNDDE

Factori de influenta

o Proprietatile produsului supus incalzirii

→ Proprietatile dielectrice

→ Proprietatile fizice si termice

o Proprietatile sursei de microunde

→ Frecventa

→ Puterea microundelor si viteza incalzirii

o Proprietatile ambalajului utilizat

→ Natura materialului

→ Forma si dimensiunile ambalajului

INCALZIREA CU MICROUNDE

Aplicatii in industria alimentara

o Decongelare si temperare

- carne, peste, pasari
- fructe
- unt

o Uscare, uscare sub vid, liofilizare

- paste fainase, ceapa, galbenus, snacks, chips
- suc de portocale, cereale
- carne, legume, fructe

o Coacere

- paine, gogosi, prajituri

INCALZIREA CU MICROUNDE

Aplicatii in industria alimentara

o Pasteurizare si sterilizare

- paine, iaurt, lapte, smantana
- produse ambalate in pungi
- condimente

o Prelucrare termica industrială

- costita, carnati
- sardine, pui
- cartofi

o Oparire

- porumb, cartofi, fructe

INCALZIREA CU MICROUNDE

Aplicatii in industria alimentara

o Prajire

→ nuci, boabe de cacao, boabe de cafea

o Topire

→ untura, seu

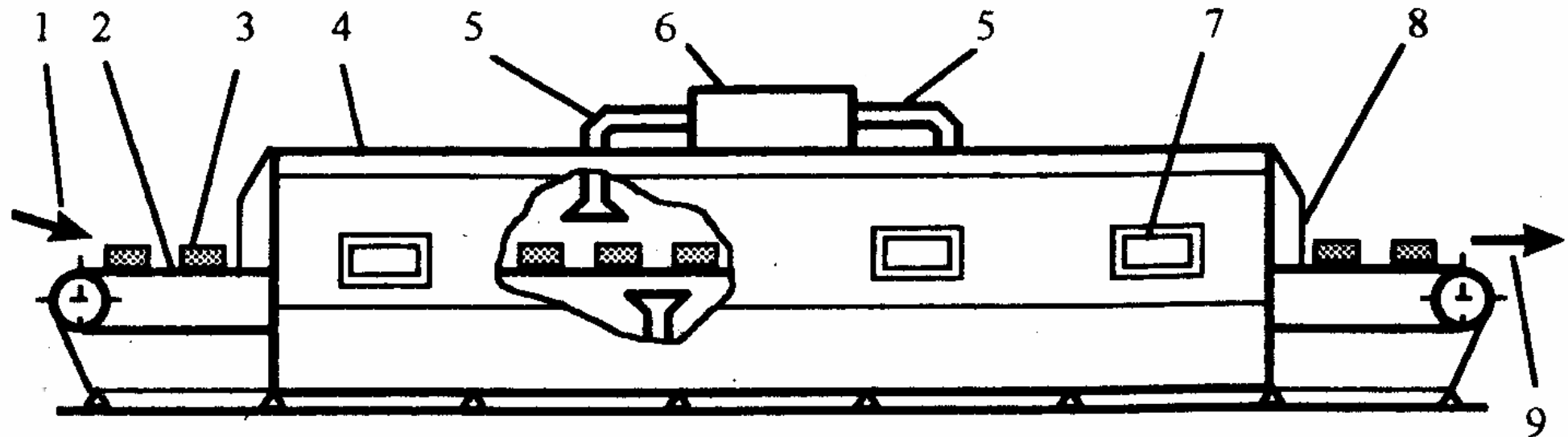
o Expandare

→ porumb de floricele

o Dezinsectie

→ cereale, faina

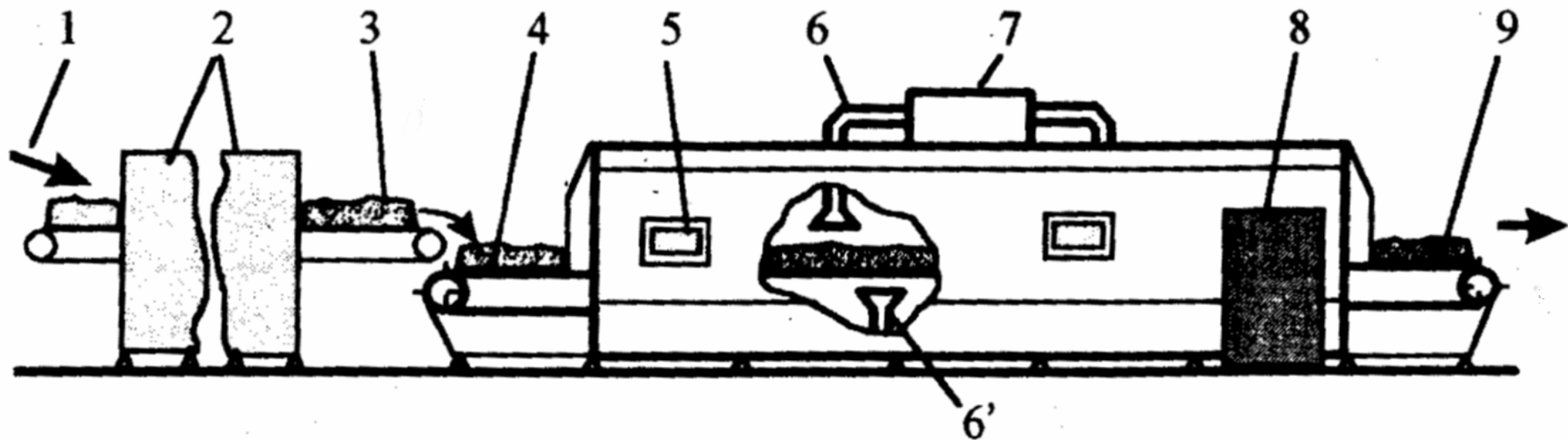
TEMPERAREA CU MICROUNDDE



Instalație continuă de temperare cu microunde

1 - alimentare; 2- bandă transportoare; 3 - produs supus temperaturii ambalat în cutii;
4 - carcasa tunelului cu microunde; 5 - ghid de unde; 6 - magnetron; 7 - guri de vizitare;
8 - sisteme de blocare a microundelor pentru a nu părăsi incinta cuptorului;
9 - descărcare produs temperat cu microunde

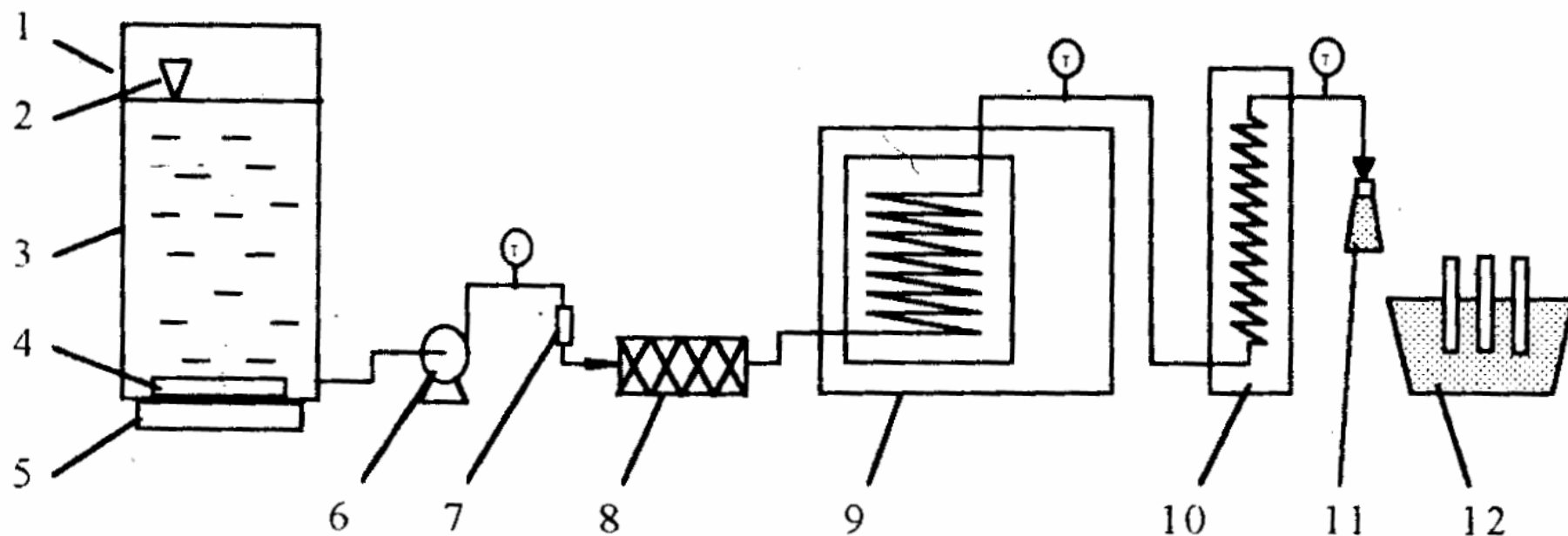
USCAREA CONTINUA CU MICROUNDDE A CARTOFILOR PRAJITI "CHIPS"



Instalație continuă de uscare cu microunde a cartofilor prăjiți "chips"

1 - alimentare cu cartofi tăiați; 2 - prăjitor (ruptură); 3 - strat de cartofi prăjiți;
4 - bandă transportoare din nylon perforat; 5 - gură de vizitare; 6, 6' - ghiduri de microunde; 7 - magnetron; 8 - instalație de condiționare aer; 9 - evacuare produs finit (cartofi prăjiți uscați).

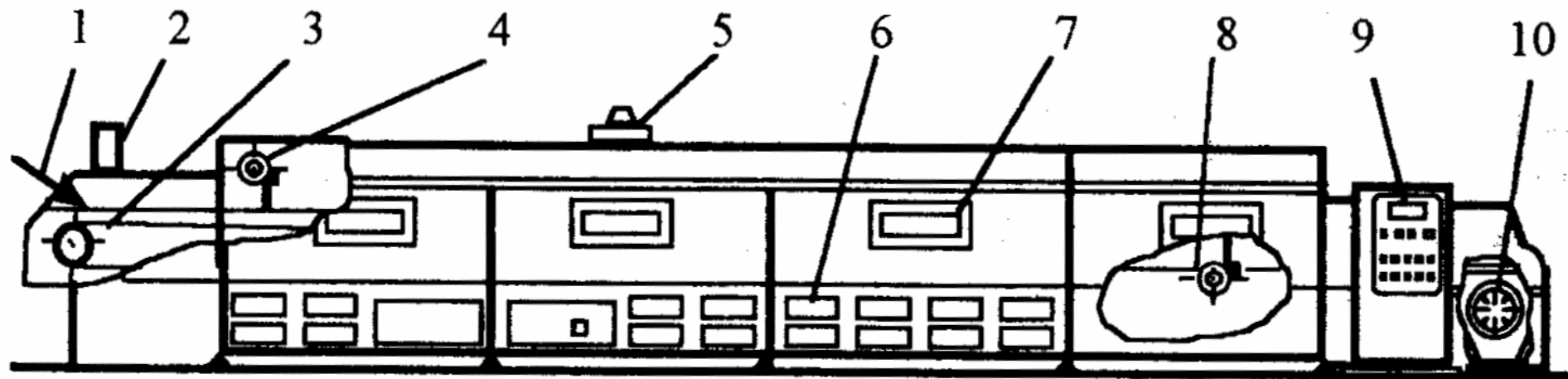
PASTEURIZAREA CONTINUA CU MICROUNDURI A SUCULUI DE MERE



Instalație experimentală cu microunde pentru pasteurizarea sucului de mere în flux continuu

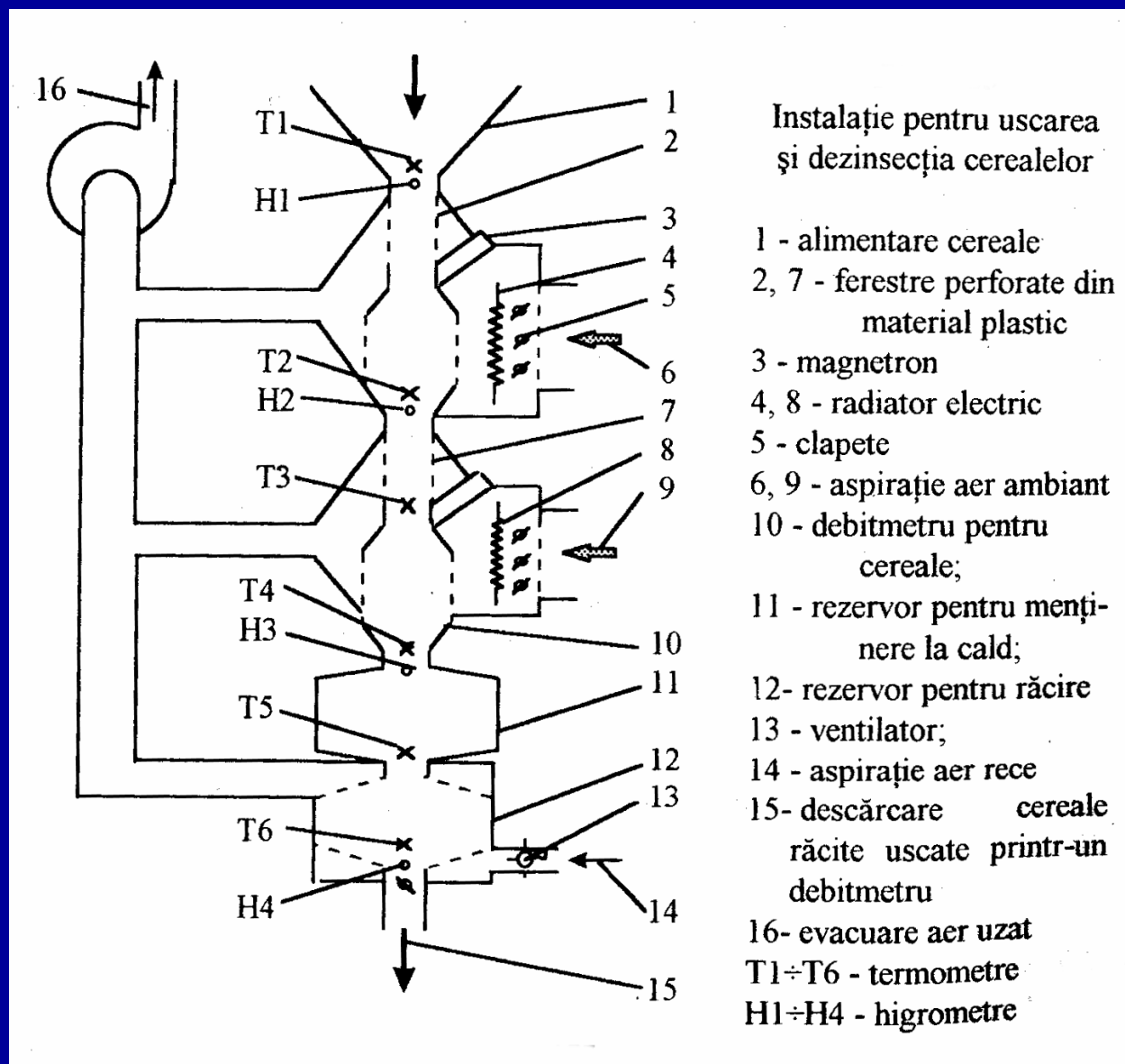
1 - rezervor; 2 - indicator de nivel; 3 - lichid (suc de mere); 4 - magnet; 5 - agitator; 6 - pompă 7 - debimetru; 8 - amestecător static; 9 - cuptor cu microunde modificat; 10 - zonă de menținere izolată termic; 11 - vas colector; 12 - baie de gheață cu eprubete cu eșantioane; T - termometru.

PASTEURIZAREA CONTINUA A PASTELOR DE TIP "TORTELLINI"



Instalație de pasteurizare a pastelor de tip tortellini (după Miglioli et al., 1987) 1- alimentare cu produs; 2 - sistem de acționare; 3 - bandă transportoare din teflon; 4,8 - magnetroane amplasate deasupra și dedesubtul benzii cu produs; 5 - grup de răcire a magnetroanelor; 6 - alimentare magnetroane; 7 - guri de vizitare; 9 - panou de comandă și control; 10 - sistem de încălzire și recirculare a aerului

USCAREA SI DEZINSECTIA CEREALELOR FOLOSIND MICROUND



VA
MULTUMESC
PENTRU
ATENTIE

