



UNIVERSITATEA din BACĂU
FACULTATEA DE INGINERIE

Dr. ing. LUCIAN GAVRILĂ

FENOMENE DE TRANSFER

Vol. II

TRANSFER DE CĂLDURĂ ȘI DE MASĂ

**Editura ALMA MATER
Bacău 2000**

CUPRINS

4.	TRANSFERUL DE CĂLDURĂ	1
4.1.	NOȚIUNI INTRODUCTIVE	1
4.1.1.	Transferul de căldură și principiile termodinamicii	1
4.1.2.	Noțiuni fundamentale	3
4.1.3.	Mecanisme de transmitere a căldurii	4
4.1.4.	Conceptul de rezistență termică	6
4.2.	TRANSFER DE CĂLDURĂ PRIN CONDUCTIVITATE	6
4.2.1.	Ecuțiile diferențiale ale conductivității termice	6
4.2.2.	Distribuția temperaturilor într-un mediu imobil	9
4.2.3.	Coeficientul de conductivitate termică	10
4.2.3.1.	Conductivitatea termică a gazelor	11
4.2.3.2.	Conductivitatea termică a lichidelor	12
4.2.3.3.	Conductivitatea termică a materialelor solide	14
4.2.4.	Transfer termic conductiv în regim staționar	15
4.2.4.1.	Transfer termic prin pereți plani simpli	16
4.2.4.2.	Transfer termic prin pereți plani compuși	18
4.2.4.3.	Transfer termic prin pereți cilindrici simpli	19
4.2.4.4.	Transfer termic prin pereți cilindrici compuși	21
4.2.5.	Transfer termic conductiv în regim nestaționar	22
4.3.	TRANSFER DE CĂLDURĂ PRIN RADIAȚIE	23
4.3.1.	Noțiuni fundamentale	23
4.3.2.	Legile radiației termice	25
4.3.3.	Transfer termic radiant între corpuri solide	26
4.3.4.	Radiația gazelor și vaporilor	27
4.4.	TRANSFER DE CĂLDURĂ PRIN CONVECȚIE	28
4.4.1.	Stratul limită termic	28
4.4.2.	Coeficientul individual de transfer termic	29
4.4.3.	Ecuția diferențială a transferului termic convectiv	32
4.4.4.	Ecuții criteriale ale transferului termic convectiv	34
4.4.5.	Determinarea coeficienților individuali de transfer termic	36
4.4.5.1.	Transfer termic la curgerea prin conducte și canale	37
4.4.5.2.	Transfer termic la curgerea peste fascicule tubulare	40
4.4.5.3.	Transfer termic la curgerea pe suprafețe plane	42
4.4.5.4.	Transfer termic la amestecarea lichidelor cu agitatoare	43
4.4.5.5.	Transfer termic la fierberea lichidelor	44
4.4.5.6.	Transfer termic la condensarea vaporilor	47
4.4.5.7.	Valori orientative ale coeficienților individuali de transfer termic	58
4.5.	TRANSFERUL GLOBAL DE CĂLDURĂ	59
4.5.1.	Transfer global de căldură indirect între două fluide	61
4.5.1.1.	Transfer global de căldură la potențial termic constant	61

4.5.1.2.	Transfer global de căldură la potențial termic variabil	64
4.5.1.2.1.	Transfer termic la potențial variabil în regim staționar	67
4.5.1.2.2.	Transfer termic la potențial variabil în regim nestaționar	69
4.5.1.2.2.1.	Variația temperaturilor numai în timp	69
4.5.1.2.2.2.	Variația temperaturilor în timp și în spațiu	72
4.5.2.	Transfer global de căldură direct între două fluide	74
4.5.2.1.	Transfer termic direct fără schimbarea stării de agregare	75
4.5.2.2.	Transfer termic direct cu schimbarea stării de agregare	76
4.5.3.	Valori orientative ale coeficientului global de transfer termic	79
4.5.4.	Analiza coeficientului global de transfer termic	82
4.6.	BIBLIOGRAFIE RECOMANDATĂ PENTRU APROFUNDARE	86
5.	TRANSFERUL DE MASĂ	87
5.1.	NOȚIUNI INTRODUCTIVE	87
5.1.1.	Exprimarea compoziției fazelor	87
5.1.2.	Echilibrul între faze	90
5.1.2.1.	Legea fazelor a lui Gibbs	91
5.1.2.2.	Legea lui Raoult	93
5.1.2.3.	Legea lui Henry	97
5.1.2.4.	Legea de repartiție a lui Nernst	99
5.2.	MĂRIMI ȘI ECUAȚII FUNDAMENTALE ALE TRANSFERULUI DE MASĂ	100
5.2.1.	Flux masic, flux masic unitar	100
5.2.2.	Mecanisme de transfer de masă	101
5.2.3.	Difuziunea moleculară ordinară. Legea I a lui Fick	102
5.2.4.	Coeficientul de difuziune	103
5.2.4.1.	Coeficienți de difuziune în gaze	104
5.2.4.2.	Coeficienți de difuziune în lichide	108
5.2.4.3.	Coeficienți de difuziune în solide	111
5.2.5.	Difuziunea turbulentă	114
5.2.6.	Difuziunea convectivă. Ecuația diferențială a difuziunii	115
5.2.7.	Ecuații criteriale ale difuziunii	119
5.3.	DIFUZIUNEA ÎNTR-O SINGURĂ FAZĂ	125
5.3.1.	Difuziunea într-un amestec binar de gaze	125
5.3.2.	Procedee de separare bazate pe difuziunea într-o singură fază	126
5.3.2.1.	Difuziunea moleculară sub gradient termic	126
5.3.2.2.	Difuziunea moleculară sub gradient de presiune	127
5.3.2.3.	Difuziunea de masă	129
5.4.	DIFUZIUNEA ÎNTRE DOUĂ FAZE	130
5.4.1.	Mecanismul transferului de masă interfazic	132
5.4.1.1.	Teoria celor două filme	132
5.4.1.2.	Teoria reînnoirii suprafeței	133
5.4.1.3.	Teoria reînnoirii întâmplătoare a suprafeței	135
5.4.1.4.	Teoria film – penetrație	136
5.4.2.	Coeficienți individuali de transfer de masă	138

5.4.2.1.	Coeficienți individuali de transfer în coloane cu pereți udați	141
5.4.2.2.	Coeficienți individuali de transfer în coloane cu umplutură	142
5.4.2.3.	Coeficienți individuali de transfer în coloane cu talere	144
5.4.2.4.	Coeficienți individuali de transfer în coloane cu barbotare	147
5.4.2.5.	Coeficienți individuali de transfer în sisteme gaz – lichid prevăzute cu agitare mecanică	148
5.4.2.6.	Coeficienți individuali de transfer în sisteme gaz – solid	149
5.4.3.	Transferul global de masă	152
5.4.3.1.	Transfer global de masă la potențial constant	153
5.4.3.2.	Transfer global de masă la potențial variabil	156
5.4.3.3.	Calculul potențialului global mediu al transferului de masă	158
5.5.	DIMENSIONAREA TEHNOLOGICĂ A UTILAJELOR DE TRANSFER DE MASĂ	162
5.5.1.	Calculul diametrului coloanelor de transfer de masă	163
5.5.2.	Calculul înălțimii coloanelor de transfer de masă	163
5.5.2.1.	Calculul înălțimii coloanelor cu contact în trepte	164
5.5.2.2.	Calculul înălțimii coloanelor cu contact diferențial	166
5.5.2.2.1.	Calculul înălțimii din suprafața de transfer de masă	166
5.5.2.2.2.	Calculul înălțimii ca produs între înălțimea unității de transfer (IUT) și numărul unităților de transfer (NUT)	167
5.5.2.2.3.	Calculul înălțimii ca produs între numărul de trepte teoretice de contact (N_T) și înălțimea echivalentă a unei trepte teoretice de transfer (IETT)	168
5.6.	BIBLIOGRAFIE RECOMANDATĂ PENTRU APROFUNDARE	169
6.	ANALOGIA ÎNTRE TRANSFERUL DE IMPULS, CĂLDURĂ ȘI MASĂ	171
6.1.	TRANSFERUL SIMULTAN DE IMPULS, CĂLDURĂ ȘI MASĂ	171
6.2.	ELEMENTE COMUNE FENOMENELOR DE TRANSFER	173
6.3.	MECANISME DE TRANSFER	175
6.3.1.	Transfer prin mecanism radiant	175
6.3.2.	Transfer prin mecanism molecular	175
6.3.3.	Transfer prin mecanism convectiv	178
6.3.4.	Transfer interfazic	179
6.4.	TRANSFER MOLECULAR, CONVECTIV ȘI TURBULENT	179
6.5.	ANALOGIA FENOMENELOR DE TRANSFER	182
6.5.1.	Analogia Reynolds	182
6.5.2.	Analogia Prandtl – Taylor	184
6.5.3.	Analogia von Kármán	187
6.5.4.	Analogia Chilton – Colburn	188
6.6.	SISTEMATIZAREA CRITERIILOR DE SIMILITUDINE	189
6.7.	BIBLIOGRAFIE RECOMANDATĂ PENTRU APROFUNDARE	191
7.	BIBLIOGRAFIE GENERALĂ	193